

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ: ОБЗОР ПОДХОДОВ И РЕШЕНИЙ

Щекин В.И., Романов М.П.

«МИРЭА - Российский технологический университет», 119454, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, 78, e-mail: m_romanov@mirea.ru

В статье проведен обзор различных подходов к определению комплексного развития территорий и классификация эффектов от их использования. Проанализирован опыт использования интеллектуальных информационных систем как основного инструмента планирования и реализации проектов комплексного развития территорий. Рассмотрены практики использования интеллектуальных информационных систем, включая геоинформационные и экспертные системы, системы поддержки принятия решений. Проведен анализ практик и тенденций использования искусственного интеллекта для решения задач комплексного развития территорий. Оценка социально-экономической эффективности мероприятий комплексного развития городских территорий является важным этапом планирования и реализации проектов. Это позволяет определить, насколько эти мероприятия будут полезны и выгодны для города и его жителей. Используемые методики оценки имеют ряд недостатков, связанных с недостаточной полнотой и достоверностью исходной информации, а также с недостаточным учетом взаимных причинно-следственных связей. Использование специальных методик позволяет провести более объективную и качественную оценку развития территории, а также оценить эффективность инвестиций и принимаемых решений. Это важно как для государственных органов, так и для бизнес-структур, которые участвуют в развитии территории. Интеллектуальные информационные системы играют важную роль в развитии городов и территорий, предоставляя возможности анализа, прогнозирования и принятия решений на основе различных данных и методов. При анализе данных, учитываются взаимосвязи и зависимости между различными факторами развития территории, а также учитываются вероятности и риски. Проведен сравнительный анализ интеллектуальных информационных систем, применяемых в мире. Каждая из этих систем имеет свои особенности и функциональные возможности, которые могут быть полезными при планировании комплексного развития территорий в зависимости от поставленных задач. Но систем, которые закрывали бы полностью управленческий и экономический процесс в градостроительстве, на данный момент нет. Рассмотрены их преимущества и недостатки. В заключении сделаны выводы о перспективах использования интеллектуальных информационных систем для принятия управленческих решений, обеспечивающих комплексное развитие территорий.

Ключевые слова: комплексное развитие территорий, методики расчета эффектов КРТ, многокритериальный анализ, автоматизированное принятие решений, геоинформационные системы, экспертные системы, интеллектуальные системы поддержки принятия решений, системы с использованием искусственного интеллекта, автоматизированный градостроитель LUCGAN, CLUVAE, IHPlanner, BIMTeam, Самолет D10, ГИС-платформа на основе FPGA, XKool Design Cloud.

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS FOR SOLVING PROBLEMS OF TERRITORIES INTEGRATED DEVELOPMENT: APPROACHES AND SOLUTIONS REVIEW

Shchekin V.I., Romanov M.P.

«MIREA - Russian Technological University», 119454, Moscow, 78 Vernadsky Avenue, Russia, e-mail: m_romanov@mirea.ru

The article provides a review of various approaches to defining integrated territorial development and classification of the effects of their use. The experience of using intelligent information systems as the main tool for planning and implementing integrated territorial development projects is analyzed. The practices of using intelligent information systems, including geographic information and expert systems, and decision support systems are considered. An analysis of practices and trends in the use of artificial intelligence to solve integrated territorial development problems was carried out. Evaluation of the socio-economic efficiency of integrated urban development activities is an important stage in project planning and implementation. This allows us to determine

how useful and beneficial these activities will be for the city and its residents. The evaluation methods used have a number of shortcomings related to the insufficient completeness and reliability of the initial information, as well as insufficient consideration of mutual cause-and-effect relationships. The use of special methods allows for a more objective and high-quality assessment of the development of the territory, as well as an assessment of the effectiveness of investments and decisions made. This is important for both government agencies and business structures that participate in the development of the territory. Intelligent information systems play an important role in the development of cities and territories, providing opportunities for analysis, forecasting and decision-making based on various data and methods. When analyzing data, the relationships and dependencies between various factors of territorial development are taken into account, as well as probabilities and risks. A comparative analysis of intelligent information systems used in the world was carried out. Each of these systems has its own characteristics and capabilities, which may be important when planning the integrated development of territories depending on the tasks set. But there are currently no systems that would completely cover the management and economic processes in urban development. Their advantages and disadvantages are considered. In conclusion the prospects for using intelligent information systems for making management decisions that ensure the integrated development of territories.

Keywords: Integrated development of territories, methods for calculating the effects of CRT, multi-criteria analysis, automated decision making, geographic information systems, expert systems, intelligent decision support systems, systems using artificial intelligence, automated urban planner LUCGAN, CLUVAE, IHPlanner, BIMTeam, Airplane D10, GIS platform FPGA based, XKool Design Cloud.

Введение

Под понятием комплексного развития территорий принято считать совокупность мероприятий, ориентированных на сбалансированное и устойчивое управление конкретной локацией, охватывающее её архитектурно-стилистический облик, формирование комфортных жилищных условий граждан, развитие транспортной, социальной, инженерной инфраструктуры, проведение работ по благоустройству и прочих изменений, направленных на развитие городской среды за счет привлечения внебюджетных источников [1].

В наше время комплексное развитие территорий становится все более актуальной темой в научном сообществе. В реферативной базе данных “Scopus” было опубликовано большое количество статей по ключевым словам: “Territorial planning” (территориальное планирование), “Sustainable development” (Устойчивое развитие), “Landscape planning” (Ландшафтное планирование), “City planning” (городское планирование) (Рисунок 1) [2]. Актуальность данной темы обусловлена сложной сетью взаимосвязей при решении проблем управления территориями, включая градостроительство, социальную, инженерную и транспортную инфраструктуры городов.

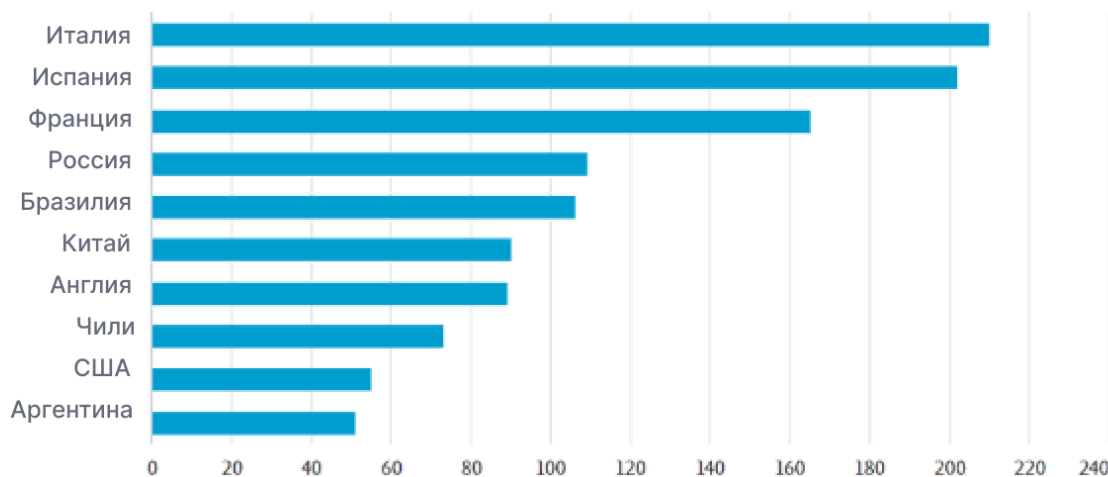


Рисунок 1 - График основных публикаций по странам

Интеллектуальные информационные системы (ИИС) стали неотъемлемой частью процесса комплексного развития территорий, позволяя автоматизировать и оптимизировать ряд задач, связанных с анализом и прогнозированием социально-экономического развития регионов.

В настоящее время специализированные ИИС широко используются в градостроительстве, управлении городской инфраструктурой, планировании и реализации проектов комплексного развития территорий. Однако, несмотря на значительный прогресс в данной области, до сих пор существует ряд нерешенных проблем и вопросов, связанных с выбором наиболее эффективных подходов и решений при использовании ИИС в планировании комплексного развития территорий. Многие из существующих информационных моделей

регионального пространственного развития представляют собой разрозненный набор систем не отвечающий требованиям времени, запросам общества и нуждающийся в совершенствовании [3].

Целью данной статьи является обзор различных подходов и решений, используемых при применении ИИС в планировании комплексного развития территорий. В статье рассмотрены основные типы ИИС, их функциональные возможности, а также представлены примеры успешной реализации данных систем в практике градостроительства и управления территориями.

Таким образом, данная работа призвана обобщить и систематизировать накопленные знания и опыт в области использования ИИС при планировании комплексного развития территорий, а также способствовать дальнейшему развитию и совершенствованию данного направления.

1. Эффекты комплексного развития территории: понятие, классификация

1.1. Понятие комплексного развития территории

Понятие устойчивого развития эволюционирует, охватывает многие дисциплины и науки, на рубеже веков оно стало самостоятельной междисциплинарной областью знания об устойчивом развитии. В наше время комплексное развитие территорий (КРТ) является одним из ключевых элементов стратегий для достижения устойчивого социально-экономического развития [4]. Оно предполагает не только решение конкретных задач, но и сбалансированное удовлетворение потребностей и интересов различных слоев общества [4].

При подготовке статьи были проанализированы различные подходы авторов к пониманию комплексного развития для получения более полного и разностороннего представления о данном понятии. Ниже представлены несколько определений, предложенных авторами.

В работе [5] авторы подробно описывают территориальное планирование как инструмент управления территорией, ориентированный на достижение устойчивого развития территорий. Оно учитывает различные факторы, такие как экономические, социальные, экологические и инфраструктурные, и служит основой для принятия решений об использовании земли и пространства.

Также в работах экспертов комплексное развитие территории понимается как системный подход и стратегическое планирование, направленное на активизацию инвестиционной деятельности, улучшение инфраструктуры, повышение уровня социального благополучия, сохранение экологической устойчивости и повышение конкурентоспособности территорий [6]. Оно включает в себя разработку и реализацию комплекса мероприятий, охватывающих различные сферы жизни и деятельности населения.

Например, в работе [7] ученые разработали свой план территориальной координации, в котором охвачены разные сферы жизни, излагаются предложения местных органов власти по развитию территории провинции и, в частности, предоставляются руководящие принципы и поддержка местным субъектам (включая общины, частный сектор и муниципалитеты) для правильного планирования и использования земель.

Провинция Потенца, расположенная в Италии, обладает полномочиями по территориальной координации более чем 100 муниципалитетов и в основном характеризуется всеми основными природными рисками, потенциальное воздействие которых на сообщество в случае стихийных бедствий очень велико. По этой причине важный раздел плана территориальной координации посвящен оценке рисков/управлению ими и мероприятиям по смягчению последствий стихийных бедствий в качестве важных действий, которые необходимо предпринять.

Инновационным аспектом этой работы, является внедрение политики “жизнестойкости сообществ” в территориальное планирование путем введения директив и рекомендаций по снижению рисков, которые будут применяться к местному и городскому планированию и стратегическим действиям с целью вовлечения местных субъектов, частного сектора и самого сообщества в процесс жизнестойкости процессы внедрения.

Понятие комплексного развития территорий можно проследить соответствие с ESG-принципами (Environmental, Social, Governance), которые основаны на защите окружающей среды, создание благоприятных социальных условий, добросовестном отношении с сотрудниками и клиентами и надлежащем корпоративном управлении [8, 9].

Например, с 2023 года в РФ компании, создающие продукцию из переработанных отходов, смогут получать субсидии от государства. Другой пример — новая концепция строительства многоквартирных домов по «зелёному» стандарту. С 1 ноября 2022 года новостройки с «зелёным» сертификатом могут участвовать в льготных ипотечных программах.

Можно сделать вывод, что существующие понятия затрагивают развитие экологических, экономических, инфраструктурных и социальных аспектов жизни, которые можно обобщить в виде четырехполюсной схемы на рисунке 2, определяющей возможные стартовые подходы к реализации КРТ [6].



Рисунок 2 - Четырехполюсная модель устойчивости

Во многих странах комплексное развитие закреплено на законодательном уровне, т.е. гарантировано устойчивое социально-экономическое развитие на всех этапах - от муниципального до федерального.

Например, основной системой планирования и развития территорий в США является зонирование территорий. Зонирование неразрывно и напрямую взаимосвязано с территориальным планированием (землеустройством). Законы и постановления о зонировании распространяются только на земельные участки, находящиеся в частной собственности.

В США действует Закон «О федеральном землепользовании», который регулирует учет и идентификацию, а также планирование землепользования земель, находящихся в федеральной собственности. Этим занимаются соответствующие министерства [52].

Федеральное правительство Германии, определяет основные принципы территориального планирования в соответствии с Федеральным законом о региональном планировании (Bundes Raumordnung S Gesetz, RoG). Закон устанавливает общие принципы территориального планирования без прямых пространственных привязок. Он определяет правовые рамки в области территориального планирования, предоставляя федеральным землям Германии свободу действий в этом вопросе. На муниципальном уровне территориальное планирование обеспечивается двумя документами: планом развития земли (Flächennutzungsplan), который содержит информацию по основным видам землепользования, и детальным планом по использованию земель (Bebauungsplan), имеющим обязательную юридическую силу. Содержание такого плана определено в Строительном кодексе Германии. В большинстве случаев в данные планы интегрированы нормы по охране природы и окружающей среды [52].

В РФ по стандарту комплексного развития территорий, разработанному Минстроем России и ДОМ.РФ выделены следующие основные принципы комплексного развития территории [9]:

- Функциональное разнообразие. Создание районов с развитым стрит-ритейлом, совмещающих жилые, офисные и сервисные функции;
- Безопасность и здоровье. Уменьшение трафика, высокое качество воздуха и возможность проводить досуг в общественных пространствах круглый год;
- Компактная и плотная застройка. Учитывает человеческий масштаб в зданиях средней этажности и открытых пространствах;
- Комфорт перемещений. Разнообразие маршрутов и баланс всех видов перемещений, эффективность общественного транспорта
- Гибкость и автономность. Вариативность использования зданий и земельных участков за счет конструктивных планировочных решений;

– Комфортное жилье. Разнообразные планировки и типы жилой среды, качественные места общего пользования как стимул для жильцов совместно управлять домом и территорией;

1.2. Классификация эффектов комплексного развития территории

Выше было показано многообразие подходов, инструментов, применяемых авторами в разных странах для комплексного развития территорий. Это позволяет говорить о применимости различных практик для достижения требуемых эффектов от применения подхода КРТ. Проведенный анализ позволяет классифицировать эффекты в зависимости от реализации различных практик в рамках подхода КРТ, которые представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 - Классификация эффектов комплексного развития территорий

Экономические эффекты КРТ связаны с увеличением объема инвестиций, созданием новых рабочих мест, повышением уровня экономической активности и улучшением инфраструктуры. Они могут быть измерены с помощью показателей, таких как валовой региональный продукт, объем привлеченных инвестиций, уровень безработицы и другие макроэкономические показатели [10].

Например, в работе [53] рассмотрены основные понятия механизма комплексного развития территорий, его виды, процедуры принятия и реализации решений, а социально-экономическая эффективность инвестиционно-строительных проектов при механизме комплексного развития территорий на примере Красноярского края.

В рамках одного из проектов, МКПР «Ильичево-Синеворск», реализуемого в Шушенском районе в период с 2017 по 2023 годы, было планировано строительство комплекса по выращиванию зерновых культур (инвестор ЗАО «Сибирь-1») и фермы по разведению крупного рогатого скота и производству сырого молока (инвестор К(Ф)Х Зубарева Н.В.). Из краевого бюджета на инфраструктурное развитие территории выделено 251,6 млн. рублей и 4478,2 млн. рублей частных инвестиций. Прогнозируемый экономический эффект от реализации проекта включает:

- Производство 133 тонн молока в сутки;
- Дополнительный грузооборот в объеме 205 тонн в сутки;
- Создание 555 новых рабочих мест и обеспечение жильем для 77 семей;
- Инфраструктурное развитие территории, включая ремонт дорог, капитальный ремонт образовательных учреждений и детских садов. [53]

Социальные эффекты КРТ связаны с улучшением качества жизни населения, доступностью социальных услуг (образование, здравоохранение, культура), развитием социальной инфраструктуры и повышением уровня социальной защищенности. Они могут быть измерены с помощью показателей, таких как уровень образования, продолжительность жизни, доступность социального обслуживания и другие социальные показатели [10].

Аналогично в работе [53] рассмотрены и социальные эффекты от планируемых проектов. Например, проект МКПР «Маринино», Курагинский район (период реализации 2019-2021 гг.). Проект – развитие ЗАО «Марининское». Инфраструктура – строительство культурноспортивного комплекса. Объем инвестиций – 522,9 млн. руб. Прогнозируемый социально-экономический эффект:

- оздоровление населения;

– мобилизация культурной жизни территории; стабилизация кадрового потенциала ЗАО «Марининское».
[53]

Экологические эффекты КРТ связаны с охраной окружающей среды и рациональным использованием природных ресурсов. Они включают такие аспекты, как снижение уровня загрязнения воздуха и воды, сохранение и восстановление биоразнообразия, энергосбережение и другие экологические показатели [11].

Например, работа [12] посвящена территориальному планированию сельских строителей и их адаптации к изменению климата в провинции Малага, Испания. Исследование включает оценку текущего состояния сельской застройки, ее воздействия на окружающую среду, исследование уязвимости этих застроек к изменению климата и предложения по их адаптации. Авторы рассматривают возможные планировочные меры для создания более устойчивых сельских поселений в свете грядущих изменений климата.

Авторы в работе [13] сосредоточились на оценке состояния сохранения почв в национальном масштабе в Португалии и интеграции моделей эрозии почвы с различными типами землепользования. В документе представлена концепция нейтральности деградации земель (LDN), также работа включает в себя методологию картирования эрозии почвы для определения территорий, требующих принятия мер по сохранению или восстановлению для достижения LDN. В исследовании определяют различные сценарии защиты почвенного покрова и оценивают распространение мер по сохранению и восстановлению почв по всей Португалии. Авторами представлена комплексная методология на основе ГИС для определения приоритетов действий по ландшафтному планированию и согласования с целями LDN. Результаты показывают, что значительная часть Португалии требует тщательного планирования и инициатив управления для достижения LDN с целью избежать, уменьшить или обратить вспять деградацию земель и обеспечить безопасность почв.

Технические эффекты КРТ включают в себя развитие инфраструктуры (транспорт, энергетика, связь), увеличение энергетической эффективности, внедрение инновационных технологий, создание новых рабочих мест и т.д. [14].

Например, в работе [53] рассмотрен проект МКПР «Городок», Минусинский район. Проект – модернизация мельничного комплекса ООО «Мельник», обновление парка сельскохозяйственной техники ООО «Ноябрь-Агро». Инфраструктура – ремонт улично-дорожной сети, строительство очистных сооружений.

Прогнозируемый технический эффект:

- сокращение времени доставки сырья и продукции;
- модернизация механизма обработки зерна;
- снижение стоимости услуг на откачку септиков в 2,4 раза.

2. Методики расчета эффектов комплексного развития территории.

Оценка социально-экономической эффективности мероприятий комплексного развития городских территорий является важным этапом планирования и реализации проектов. Это позволяет определить, насколько эти мероприятия будут полезны и выгодны для города и его жителей.

При этом предполагается построение экономико-математических моделей, способных прогнозировать показатели коммерческой и бюджетной эффективности для частных и государственных участников проекта [15]. Ниже представлены два основных вида методик расчета эффектов КРТ.

Квантитативные методики расчета – это методики, базирующиеся на использовании количественных показателей и статистических данных для анализа и оценки различных параметров и процессов. Подразумевают расчет экономического эффекта с помощью показателей, таких как прирост валового регионального продукта, прирост объема инвестиций, сокращение безработицы и другие экономические показатели. Для измерения социальных эффектов используются показатели уровня образования, продолжительности жизни, доступности социальных услуг и другие социальные показатели. Для измерения экологических эффектов применяются показатели загрязнения воды и воздуха, сохранение биоразнообразия и другие экологические показатели [16].

Качественные методики расчета – это методики, основанные на использовании качественных показателей и экспертных оценок для анализа и оценки различных параметров и процессов. Включают анализ социального воздействия, учет общественного мнения, оценку уровня удовлетворенности жителей развиваемой территории и другие качественные подходы. С помощью различных методов исследования, таких как опросы, интервью, фокус-группы, можно получить качественные данные, позволяющие оценить влияние программ развития на жизнь и благополучие населения [17].

Ниже приведены методики оценки эффектов КРТ:

Методика оценки экономических эффектов:

К наиболее известным методам оценки экономического потенциала относят:

- статистический метод,
- структурный подход,
- системный подход,
- воспроизводственный подход,
- интегральный подход,
- подход, основанный через оценку конкурентоспособности регионов,
- доходный подход.[18]

Одним из значимых недостатков существующих подходов к оценке экономического потенциала регионов является недостаточный учет различных факторов: как количественных, так и качественных. С другой стороны, бесспорно и то, что невозможно собрать абсолютно все данные, необходимые для анализа. В то же время известные методы и подходы не всегда нацелены на учет неполных данных, а также взаимовлияние факторов, которые в некоторых случаях имеют как положительное влияние, так и отрицательное влияние на функционирование сложной системы, к которым также относится экономика региона [18].

Методика оценки социальных эффектов:

- Оценка уровня безработицы;
- Методика оценки качества жизни на муниципальном уровне [19].

Недостатками методик являются сложность измерения социальных эффектов, таких как улучшение качества жизни, удовлетворенность населения или социокультурное развитие, а также субъективность: многие параметры, используемые для оценки социальных эффектов, подразумевают субъективные оценки и предположения. Это может привести к возникновению различных точек зрения и неполной объективности в оценке эффектов [19].

Методика оценки экологических эффектов:

- оценка экологической безопасности реализуемых на территориях муниципалитетов проектов;
- качество окружающей среды [19].

Можно выделить следующие недостатки подходов к оценке эколого-экономической эффективности проектов:

- низкий уровень информативности получаемых результатов о реальной экологической эффективности инвестиционного проекта;

- расчет экологических показателей производится только в стоимостном выражении, что снижает объективность оценки;
- сложности учета экстерналий и влияния внешних факторов на реализацию проекта и его экологическую эффективность [20].

Для комплексного развития территорий необходимо общая система оценки. Авторы в работе [21] рассматривают устойчивое развитие региона дельты реки Янцзы в Китае, уделяя внимание окружающей среде, экономике и удовлетворения общества. Результаты показали, что уровень устойчивого развития региона постепенно повышался с 2000 года. Третьичная промышленность и услуги по регулированию экосистем оказали положительное воздействие, в то время как плотность населения имела отрицательное влияние.

Исследование также выявило важность политики экокомпенсации для достижения устойчивого развития. Подчеркивается необходимость комплексной системы оценки и согласования ключевых факторов для успешного регионального развития. В заключении отмечается, что реализация политики экокомпенсации может способствовать скоординированному развитию региона.

Использование специальных методик позволяет провести более объективную и качественную оценку развития территории, а также оценить эффективность инвестиций и принимаемых решений. Это важно как для государственных органов, так и для бизнес-структур, которые участвуют в развитии территории. Однако, следует отметить, что необходимо учитывать особенности и специфику каждой территории, а также доступность данных для проведения расчетов, что не всегда является возможным для существующих методик.

3. Использование интеллектуальных информационных систем при планировании комплексного развития территорий

Интеллектуальные информационные системы (ИИС) играют важную роль в развитии городов и территорий, предоставляя возможности анализа, прогнозирования и принятия решений на основе различных данных и методов. При анализе данных, ИИС учитывают взаимосвязи и зависимости между различными факторами развития территории, а также учитывают вероятности и риски [43].

Для решения задач КРТ помимо прочих можно выделить следующие типы применяемых ИИС:

- Геоинформационные системы;
- Экспертные системы;

- системы поддержки принятия решений.

Анализ работ показывает четкий тренд использования технологий машинного обучения для решения задач КРТ.

3.1 Геоинформационные системы

Одним из основных подходов к использованию ИИС при планировании комплексного развития территорий является геоинформационный подход. Геоинформационные системы (ГИС) объединяют в себе возможности картографии, географической информации и аналитических инструментов, позволяя анализировать пространственные данные и связи между ними. Геоинформационный метод обеспечивает территориальную модель в городской среде, которая помогает в региональном планировании и процессе принятия решений [22]. ГИС широко используются в градостроительстве, управлении городской инфраструктурой, планировании и реализации проектов комплексного развития территорий [23].

Считается, что использование подхода на основе ГИС может позволять учитывать климатические особенности для рекомендаций по землепользованию [24].

Традиционно карты градостроительного регулирования создаются операторами-картографами с помощью инструментальных ГИС. В ходе работы [50] были разработаны методика и программное обеспечение, позволяющее автоматизировать подготовку карт градостроительного регулирования территории муниципальных образований. Благодаря этому заметно снижается потребность в трудовых ресурсах, стоимость разработки карты также может заметно снизиться. Кроме того, снижается количество ошибок, вызванных человеческим фактором.

Также в статье [25] говорится о применении геоинформационных систем в планировании ландшафта. Наиболее подробный анализ визуализации ландшафта основан на ГИС-инструменте для сохранения, управления и планирования городских ландшафтов для исторических мест и значимых природных объектов.

В рамках итальянского пилотного проекта было решено интегрировать систему анализа визуализации на основе ГИС в планирование сохранения культурного наследия. Решение было внедрено в различных областях в рамках работ по ландшафтному планированию, предложенных Фондом развития науки в Пьемонте.

Недостатки подхода:

- большая зависимость работы ГИС от точности исходных географических данных;
- требования больших вычислительных ресурсов;
- необходимость взаимосвязи разных источников данных (аэрофото съемка, кадастровая информация, объекты инфраструктуры) в одной комплексной модели [51].

3.2 Экспертные системы

Экспертные системы могут быть полезными для анализа и оценки социально-экономических эффектов программ комплексного развития территорий [26].

Недостатки:

- Ограниченность экспертных знаний и опыта специалистов, на основе которых строятся экспертные системы.
- Необходимость постоянного обновления и актуализации экспертных знаний и правил.
- Возможность ошибок и неправильных решений при использовании экспертных систем в сложных и нестандартных ситуациях [27].

3.3 Системы поддержки принятия решений

Интеллектуальные системы поддержки принятия решений (СППР) – это системы, которые используют формализованные правила и логические операции для принятия решений в сложных ситуациях. СППР могут быть полезными для автоматической оценки и выбора стратегических программ комплексного развития территорий [6].

Метод моделирования и симуляции является одним из основных инструментов интеллектуальных информационных систем поддержки принятия решений [41]. В контексте программ комплексного развития территорий, моделирование и симуляция позволяют оценить потенциальные социально-экономические эффекты различных вариантов развития и выбрать наилучший вариант с точки зрения достижения стратегических целей. Симуляционное моделирование способно учитывать динамические взаимодействия, проводить эксперименты без реальных затрат, однако, может быть времязатратным и требовать больших вычислительных ресурсов для сложных градостроительных задач [42].

Недостатки СППР:

- Многие интеллектуальные методы анализа данных требуют большого количества данных для анализа.

– Классические методы поддержки принятия решений в большинстве своем хоть и разработаны довольно давно и получили широкое распространение, но не имеют под собой четкого математического обоснования [39].

3.4 Машинное обучение в КРТ

В ИИС комплексного развития территорий активно используется машинное обучение, оно позволяет анализировать большие объемы данных о территории, такие как: данные о населении, экономике, инфраструктуре и т.д., и извлекать из них полезную информацию. Это помогает принимать более обоснованные решения при планировании развития территорий.

Следует отметить, что искусственный интеллект выступает здесь как инструмент способный решать задачу из класса задач машинного обучения. После определения задачи исследователям необходимо определить подход к формированию обучающих данных, выбрать модель машинного обучения (МО) и метод ее обучения.

На этапе формирования обучающих данных должен быть собран и размечен датасет (в случае задачи обучения с учителем и без учителя), либо выделен агент и среда (в случае задачи обучения с подкреплением).

Выбор архитектуры модели машинного обучения зависит от поставленной задачи. Например, авторы провели оценку 38 моделей машинного обучения для городского планирования землепользования в Баварии, Германия [34]. Обычно используемые алгоритмы классификации землепользования включают методы сверточных нейронных сетей, которые использовались для обнаружения изменений в землепользовании.

Приведем наиболее применимые методы машинного обучения:

– Метод опорных векторов (SVM) - используется для классификации изображений, например для данных дистанционного зондирования и городских ландшафтов. Также SVM применялся для классификации землепользования с использованием изображений с высоким разрешением, а анализ чувствительности подчеркивает эффективность метода. Эффективность алгоритмов МО при классификации земного покрова и землепользования была изучена с использованием данных Sentinel-2, что дает представление о точности и эффективности этих алгоритмов [34].

– С помощью алгоритма «Случайный лес» (Random Forest) объединяются пространственные показатели и проводится анализ текстур для картирования городского землепользования, предлагая детальное представление о городских пространствах.

– Методы глубокого обучения (Deep learning) могут применяться к гиперспектральным и мультиспектральным данным наблюдения Земли для задач землепользования и классификации поверхности земли, что обеспечивает более детальное понимание городской и природной среды.

На этапе выбора метода обучения модели нужно учитывать связь типа задачи и модели машинного обучения, например подход генеративно-состязательных сетей (GAN): используются для моделирования процессов урбанизации, отражая разнообразие городских форм по всему миру.

Эволюционные алгоритмы могут быть использованы для оптимизации расположения зданий в городской среде с учетом различных критериев, таких как визуальный облик, доступность и эффективность использования земли. Алгоритм может оперативно изменять расположение и параметры зданий, чтобы достичь наилучших результатов.

Проведенный обзор работ позволяет провести классификацию задач, где используются методы машинного обучения для градостроительного проектирования:

– Планирование застройки территории: примером такого проекта является создание городского плана с использованием эволюционного алгоритма для обучения модели [29]. С 2004 по 2018 годы авторы [32] применили метод глубокого обучения для территориального планирования и прогнозирования землепользования регионов на ежеквартальной основе. Для этой цели использовался алгоритм глубокого классификатора на основе сверточной нейронной сети (CNN), который классифицировал землепользование на десять отдельных классов. Полученные прогнозы, вместе с вычислением индекса застройки (BUI) и процентных изменений, предоставляют ценные инструменты для городских планировщиков.

– Планирование городских районов: эволюционные алгоритмы могут помочь в части динамической оценки и оптимизирования мероприятий при планировании городских районов, учитывая потребности сообщества, экологические требования и состояние инфраструктуры [30].

– Планирование транспортной инфраструктуры, уличной сети и пешеходных маршрутов: можно оптимизировать проектирование дорог, транспортных узлов или систем общественного транспорта в городской среде. Алгоритмы учитывают потоки движения, пропускную способность, экономические и экологические факторы, чтобы определить оптимальное распределение инфраструктуры [31].

– Размещение зеленых зон и парков, сельский и городской ландшафтный дизайн: модели глубокого обучения могут помочь определить оптимальное размещение зеленых зон и парков, а также спланировать туризм

в городской и сельской среде. Глубокое обучение применено к стратегиям дизайна сельского ландшафта [33]. Модели машинного обучения, предложенные авторами статьи, помогают планировать туризм в сельской местности, учитывая основные мотивы туризма и смягчая противоречия между производством, жизнью и экологией. Также для проектирования современного городского ландшафтного дизайна использовался метод кластеризации k-means для определения типов растительности. Модель тестировалась на обзорных изображениях из разных городов. Результаты показали эффективность модели при создании ландшафтного дизайна в городской среде [35].

– Планирование пожарной безопасности: методы машинного обучения могут помочь в вычислении вероятности возникновения пожара. В работе [37] изучается влияние человеческой деятельности и растительного покрова на возникновение пожаров при территориальном планировании в условиях пожароопасности. При этом для оценки вероятности возникновения пожара используется метод машинного обучения RUSBoost. Результаты этого исследования важны для управления рисками возникновения пожаров и подчеркивают необходимость использования моделей и инструментов для информирования и разработки профилактической политики, направленной на минимизацию риска пожара и адаптацию к новым условиям.

– Планирование городского благоустройства: Алгоритмы учитывают удобство, эстетику, доступность для разных возрастных групп и функциональность для создания комфортной городской среды, включая размещение скамеек, освещения, городских садов и декоративных элементов. [31].

Подводя итог, можно сказать, что интеграция машинного обучения в городское планирование открывает многообещающие возможности для улучшения процесса планирования, предоставляет инструменты для более эффективного принятия решений и содействия устойчивому развитию территорий.

Например, в работе [40] рассматривается система геопространственного искусственного интеллекта. Цель этой статьи - обосновать необходимость переосмысления техноцентрического понятия "умного города" и повысить значимость городского планирования в дискурсе "умного города". Главный аргумент заключается в том, что умный город мог бы использовать синергию между городским планированием и тремя научно-техническими областями, включая большие данные, геоинформационные системы, а также науку о данных, которые в совокупности составляют развивающуюся область, известную как геопространственный искусственный интеллект (Geo-AI), для достижения четырех всеобъемлющих социальных целей:

- повысить эффективность городских служб и функций;
- улучшить качество жизни всех городских жителей;
- решить насущные социальные, экологические и экономические проблемы, которые могут угрожать городским системам на различных уровнях;
- вносить вклад в производство пространственных данных, информации и знаний о динамике развития человека и городов.

Недостатки:

- Потребность в большом количестве данных для обучения. Нейронные сети требуют огромного объема информации для правильного обучения и достижения высокой точности [38].
- Возможность ошибок и неправильного прогнозирования. МО может давать неправильные результаты, особенно если данные, на которых обучалась модель, не отражают реальную ситуацию или количества предоставленных модели данных недостаточно для их обобщения моделью машинного обучения;
- Ограниченность области решаемых задач, т.е. применимость одной модели к конкретному типу входных данных.
- Необходимость дорогой вычислительной инфраструктуры

В основном используются системы, в которых применяются разные подходы.

4. Обзор существующих интеллектуальных систем

Обзор работ позволяет выделить ИИС применяемые в планировании комплексного развития территорий в разных странах. Каждая из систем имеет свои особенности и функциональные возможности, которые могут быть полезными для принятия решений при разработке и реализации программ комплексного развития территорий.

Ниже рассмотрены фреймворки для автоматизации городского планирования, с применением машинного обучения:

- Автоматизированная система городского планирования LUCGAN [44]

Система предназначена для решения проблем, связанных с планированием землепользования в городских условиях. Она позволяет генерировать эффективные конфигурации землепользования, учитывая ограничения окружения. Ключевые идеи, предложенные авторами, включают разработку нового подхода к представлению плана землепользования, который позволяет моделировать сложные пространственные отношения в городских

средах и проведение оценки эффективности предложенного подхода с помощью экспериментов и визуализаций с использованием реальных данных. Хотя оценка эффективности является сложной задачей, авторы демонстрируют ценность своего метода с помощью различных аспектов, таких как количественные метрики и качественный анализ.

В основе работы системы лежит генеративно-состязательная сеть (GAN), с помощью которой генерируются наиболее подходящие по контексту окружения (характеристикам и особенностям окружения, в котором происходит планирование) конфигурации землепользования [44].

Система LUCGAN продемонстрировала способность генерировать конфигурации землепользования на основе характеристик окружения, но ей не хватает способности учитывать требования планирования, установленные экспертами. Из-за отсутствия контроля над процессом генерации модель с трудом улавливает человеко-ориентированные критерии, необходимые для создания конфигураций землепользования, соответствующих рекомендациям экспертов [44].

– Фреймворк для автоматизации городского планирования CLUVAE [44]

CLUVAE - программный фреймворк, основанный на глубокой устойчивой генеративной модели, предназначенный для автоматизации городского планирования. Он принимает на вход текстовую информацию от пользователя и параметры окружающей территории (характеристики и особенности окружения, в котором происходит планирование), на выходе выдает конфигурации землепользования. Эти особенности дают экспертам больший контроль над процессом генерации и позволяют получать высококачественные варианты конфигураций землепользования, отражающие их потребности.

Недостатком фреймворка является нестабильная производительность модели. CLUVAE не учитывает влияние различных городских планов на географические области. Эти проблемы требуют дальнейших исследований и разработок для улучшения производительности и устойчивости модели.

– INPlanner - система автоматизированного городского планирования, основанная на глубоком иерархическом генеративном подходе, имитирует традиционный рабочий процесс городского планирования через два генеративных этапа: первоначальный черновой эскиз городского плана, за которым следует процесс уточнения, дающий детальные результаты [44].

Такая конфигурация позволяет системе полностью учитывать пространственные иерархии в рамках городского планирования. Функционализированный модуль, предназначенный для тщательного понимания и интеграции инструкций человека и факторов окружающей среды, гарантирует, что INPlanner понимает требования к планированию, необходимые для создания оптимальных конфигураций землепользования.

Реальные требования к планированию, предъявляемые экспертами, значительно сложнее, чем те, которые в настоящее время решает INPlanner, который основан на извлечении ключевой информации из естественного языка. Метрики оценки, используемые для автоматизированного городского планирования, слишком упрощены и ориентированы в первую очередь на сходство распределения.

Далее проведен анализ некоторых ИИС проектирования от застройщиков.

- BIMTeam — ИТ-экосистема для проектирования, состоящая из 6 модулей [45], позволяющих проводить проектирование зданий, реализуя 3D геометрию. Наличие информации и базы данных в BIMTeam открывает большие возможности при автоматизации процесса проектирования.
- Robot R2 - автоматизация девелоперских и предпроектных процессов. Данный модуль предназначен для генерации мастер-планов, планировочных решений, создания колористических решений и анализа видов из окон и отклонений по результатам сканирования.
- Family Manager - BIM-стандарт и библиотека семейств, включающая в себя каталог актуальных семейств и материалов в САПР, проверку актуальности семейств и материалов в проекте, сервис создания и обработки заявок, настройку стандартов и контроль их соблюдения, связь семейств с внешней номенклатурой;
- BIM Tools для автоматизации проектирования в BIM и инженерных расчётов, состоит из множества инструментов для Revit и Civil 3D, приложения для доставки обновлений и публичного фреймворка разработки;
- BIM Inspector - проверка моделей на соответствие BIM и продуктовым стандартам. Модуль состоит из панели запуска и отображения результатов проверок в Revit, настройки правил проверки, раздела для запуска проверок в фоновом режиме.
- BIM CheckUP - комплексная проверка моделей на наличие геометрических коллизий, имеет возможность массовой конвертации моделей в фоновом режиме, запуска преднастроенных проверок в Navisworks, просмотра и обработки коллизий в Revit.

- BIM Data Service - централизованное хранение BIM-данных о моделях и их элементах, включает API для получения данных другими системами.

В системе отсутствует возможность учета социальных и экономических соображений при разработке конфигураций землепользования, также в системе не извлекаются уроки из крупномасштабных разрозненных наборов данных.

- Самолет D10

Модульная цифровая экосистема Самолет D10 - платформа IT-продуктов для управления и автоматизации всего строительного цикла. С помощью системы ГК Самолет прогнозирует риски, автоматизирует управление процессами [46].

В представленной системе реализованы такие инновации как кросс-функциональное взаимодействие, ИИ-прогнозирование, оптимизация генпланов и графиков, анализ больших данных в строительстве.

На все этапы процесса застройки в системе представлены модули. Ниже указано название этапа и функциональность модулей:

- Поиск площадки - приоритизация районов для девелопмента исходя из баланса спроса, предложения и прогнозной экономики. Система анализа и планирования поставок материалов на строительные площадки.
- Градостроительное планирование - сервис генеративного дизайна застройки, система для формирования договоров и отслеживания их статусов.
- Проектирование - система управления проектированием, Система электронного оформления пропуска на строительную площадку с тестированием ОТиПБ.
- Закупка - система прогноза закупочных цен.
- Строительство - система контроля сроков всего девелоперского цикла, система контроля качества строительства, расчет приоритетов строительно-монтажных работ на будущую неделю/месяц исходя из целей по прогрессу и ключевых вех.
- Эксплуатация - система автоматического формирования смет, 3D фотостатус отделки в квартире до передачи ключей.

В “Самолет D10” реализован программный продукт по каждой стадии девелоперского цикла. В системе осуществляется огромное количество интеграций и отсутствуют требования к единой базе данных, из-за чего некоторые программные решения не работают в рамках рынка. В системе рассчитываются внутренние эффекты, касающиеся продукта и прибыли компании, но не реализована возможность расчета внешних эффектов, таких как количество рабочих мест, подсчет налогов на прибыль и имущество, и аналогичных ключевых эффектов.

- XKool Design Cloud

XKool Design Cloud, облачный универсальный продукт для архитектурного проектирования. В системе реализовано 359 пользовательских требований, эти функции были интегрированы в шесть этапов проектирования XKool:

- Исследование / импорт данных и анализ.
- Создание квалифицированного дизайнера с помощью искусственного интеллекта.
- Интеллектуальное редактирование в облаке.
- Соответствие схем требованиям и проверка качества в режиме реального времени.
- Синхронная совместная работа с несколькими сторонами над результатами проектирования.
- Экспорт многоформатных файлов и применение их на различных масштабах и этапах. Обновление в основном включает три модуля: MasterPlanner, BuildingCreator и ColorMaster [47].

На начальном этапе разработки недвижимости, модуль MasterPlanner фокусируется на получении оптимальных решений для планирования зон и зданий в масштабе участка в условиях большой рабочей нагрузки и многообразия возможностей концептуального планирования участка:

- Информатизация условий землепользования. Загрузка САПР: онлайн-чтение и распознавание чертежей, быстрое преобразование в информационную модель в облаке.
- Многомерный анализ участка. Визуализация данных об окружающей среде: просмотр нескольких типов данных и анализ окружающей среды для получения всестороннего представления об участке и оказания помощи в быстром первоначальном определении стоимости земли.
- Интеллектуальная оценка количества зданий. Автоматический расчет: установите параметры типа здания и рассчитайте соответствие типа здания целевому показателю в соответствии с условиями участка. Вывод стратегических схем: предоставляет различные стратегии оценки, такие как максимальная величина прибыли, минимальный тип здания, коэффициент распределения жилья по ближайшим целевым типам и т.д.

- Генерация планировочного решения. Общая планировка: в автоматическом режиме, в соответствии с показателями землепользования, результатом оценки и настройкой стратегии генерации, одним щелчком мыши генерируется предварительное решение по планировке здания для выбранного участка. “Lightning sketch”: полуавтоматический режим, в соответствии с объемом земельного участка и целевым типом здания, указанным архитектором, решение по планировке здания генерируется с помощью быстрой обратной связи.
- Интеллектуальное редактирование. Вспомогательное редактирование: повышение эффективности редактирования макета здания с помощью перемещения по направлению, линейки интервалов и привязки. Координация САПР: САПР + плагины, синхронизация в один клик между локальной и облачной системами.
- Обзор в режиме реального времени. Обратная связь по индикаторам в режиме реального времени: редактирование схем и обратная связь по индикаторам в режиме реального времени делают корректировки дизайна более целенаправленными. Дневное освещение и проверка дизайнерских кодов: дневное освещение и проверка дизайн-кода в режиме реального времени помогают улучшить качество дизайна.
- Ввод и вывод. Загружаемые в нескольких форматах выходные данные: 2D-чертеж CAD, файлы моделей DAE / OBJ / IFC, которые поддерживают редактирование без потерь в программном обеспечении 3D-моделирования и BIM, планировка жилья, анализ дневного света, таблицы экономических и технических индексов, проект производственных работ. Получение и совместное использование схем: поддерживает получение межпроектных схем, реализует онлайн-асинхронную совместную работу и управление проектами; незарегистрированные пользователи могут напрямую просматривать общие схемы с помощью QR-кода или адреса ссылки.
- Совместное управление в облаке. Онлайн-управление проектами: предоставляет облачные инструменты цифрового управления, связывая весь бизнес-процесс проекта. Управление библиотекой продуктов стандартного жилья и типов зданий: автоматически определяет характеристики продуктов для жилья и добавляет ярлыки для поддержки эффективных приложений поиска. Гибкий контроль разрешений и быстрое обновление продуктов для жилья. Размещение комментариев в схемах: поддерживает добавление комментариев к определенным местам в схеме для повышения эффективности взаимодействия с проектом. [47]

Система не извлекает уроки из крупномасштабных разрозненных наборов данных, отсутствует возможность настройки стандартов и контроля их соблюдения. Также не реализована возможность расчета внешних эффектов.

Ниже представлена сравнительная таблица функциональности, рассмотренных систем.

Таблица 1 - сравнительный анализ функциональности систем

	Моделирование сложных пространственных взаимосвязей	Учет социальных и экономических соотношений при разработке конфигураций землепользования	Извлечение уроков из крупномасштабных разнородных наборов данных	Генерация высококачественной конфигурации землепользования	Учет требований планирования	Настройка стандартов и контроль их соблюдения	Система контроля сроков и качества девелоперского цикла	Онлайн-чтение и распознавание чертежей
LUCGAN	+	+	+	+	-	-	-	-
CLUVAE	-	+	+	+	+	-	-	-
HPPlanner	+	+	+	+	+	-	-	-

BIMTeam	+	-	-	+	+	+	+	-
Самолет D10	-	+	+	+	-	+	+	-
XKool Design Cloud	+	+	-	+	+	-	-	+

Заключение

Обзор подходов к определению комплексного развития территорий показал практическую необходимость связи системного подхода и разработки концептуальных и математических моделей на основе экономических, инфраструктурных, социальных и экологических аспектов жизни. Практическое применение такого подхода стало возможным с развитием искусственного интеллекта и информационных технологий. Кратный рост источников информации демонстрирует разнообразие гипотез при реализации цифровых решений для КРТ.

В целом накопленные в мире данные позволили классифицировать основные эффекты от реализации стратегии комплексного развития территорий.

Анализ кейсов разных стран по планированию и управлению проектами комплексного развития территорий позволил сделать вывод о разработке и использовании различных интеллектуальных информационных систем как основного инструмента планирования и реализации проектов по КРТ с использованием искусственного интеллекта.

В работе проведена классификация применимости различных моделей и алгоритмов машинного обучения для решения типовых задач в рамках подхода КРТ, что обеспечивает обоснованный выбор принимаемых решений.

Сравнительный анализ функционала нескольких ИИС различного типа, фреймворков для автоматизации городского планирования и системы, используемые застройщиками для проектирования, позволяет осознанно их использовать.

Список источников

1. Попкова А. А., Конев Ю. М., Канюков М. В. Комплексное развитие территорий: современное состояние и проблемы реализации //Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. – 2023. – Т. 16. – №. 2. – С. 38-53.
2. Scopus Database / [Электронный ресурс] //: [сайт]. — URL: <https://www.scopus.com/home.uri> (дата обращения: 18.02.2024).
3. Карпик А. П., Мусихин И. А., Ветошкин Д. Н. Интеллектуальные информационные модели территорий как эффективный инструмент пространственного и экономического развития //Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2021. – Т. 26. – №. 2. – С. 155-163.
4. Jovovic R. et al. The concept of sustainable regional development–institutional aspects, policies and prospects //Journal of International Studies. – 2017. – Т. 10. – №. 1.
5. Silvina M. Manrique Native forests in agricultural landscapes: An option for sustainability / Silvina M. Manrique // Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability. — 2022. — С. 353-375. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128229767000119>.
6. Ali-Toudert F. et al. Comprehensive assessment method for sustainable urban development (CAMSUD)-a new multi-criteria system for planning, evaluation and decision-making //Progress in Planning. – 2020. – Т. 140. – С. 100430.
7. Attolico A. Building resilience through territorial planning: the experience of Province of Potenza //Procedia Economics and Finance. – 2014. – Т. 18. – С. 528-535.
8. «ESG-принципы: что это такое и зачем компаниям их соблюдать» [Электронный ресурс]. URL: trends.rbc.ru (дата обращения: 26.06.2024)
9. «Дом РФ. Стандарт комплексного развития территорий» / Дом РФ, Strelka КБ. — Москва, 2019. — URL: [дом.рф](https://dom.rf.ru) (дата обращения 20.03.2021).
10. Zhang W. The Impact of the Platform Economy on Urban–Rural Integration Development: Evidence from China //Land. – 2023. – Т. 12. – №. 7. – С. 1417.

11. Jian Y., Yang Y., Xu J. The Impact and Mechanism of the Increased Integration of Urban Agglomerations on the Eco-Efficiency of Cities in the Region—Taking the Chengdu–Chongqing Urban Agglomeration in China as an Example //Land. – 2023. – Т. 12. – №. 3. – С. 684.
12. Crespo A. et al. Territorial planning of rustic land constructions and their adaptation to climate change in the province of Málaga, Spain //Land Use Policy. – 2023. – Т. 129. – С. 106644.
13. Pena S. B. et al. Water erosion aspects of land degradation neutrality to landscape planning tools at national scale //Geoderma. – 2020. – Т. 363. – С. 114093.
14. Borodina M. et al. State Regulation of Digital Technologies for Sustainable Development and Territorial Planning //International Journal of Sustainable Development & Planning. – 2023. – Т. 18. – №. 5.
15. Oklander M. et al. Methods of Calculating the Integrated Indicator for Assessing the Socio-Economic Development of the Territory: A Marketing Approach //International Conference on Business and Technology. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – С. 379-391.
16. Eraydın A. Changing importance of quantitative methods in regional development and planning //A| Z ITU Journal of the Faculty of Architecture. – 2011. – Т. 8. – №. 02. – С. 4-16.
17. Falco E., Kleinhans R. Digital participatory platforms for co-production in urban development: A systematic review //International Journal of E-Planning Research (IJEPR). – 2018. – Т. 7. – №. 3. – С. 52-79.
18. Дабиев Д. Ф. О методологии оценки экономического потенциала регионов //Фундаментальные исследования. – 2019. – №. 12-2. – С. 258-262.
19. Строев П. В., Пивоварова О. В. Совершенствование оценки эффективности и мониторинга функционирования территорий опережающего социально-экономического развития //Вопросы инновационной экономики. – 2020. – Т. 10. – №. 4. – С. 2037-2054.
20. Караева А. П., Магарил Е. Р. Преимущества и недостатки основных подходов к оценке эколого-экономической эффективности инвестиционных проектов в энергетике //Система управления экологической безопасностью.—Екатеринбург, 2021. – 2021. – С. 20-24.
21. Ni R., Wang F., Yu J. Spatiotemporal changes in sustainable development and its driving force in the Yangtze River Delta region, China //Journal of Cleaner Production. – 2022. – Т. 379. – С. 134751.
22. Hang H., Rahman A. Characterization of thermal environment over heterogeneous surface of National Capital Region (NCR), India using LANDSAT-8 sensor for regional planning studies [Текст] / Hang H., Rahman A. // Urban Climate. — 2018. — Vol. 24(1). — С. 1-18. — Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/325500759_Characterization_of_thermal_environment_over_heterogeneous_surface_of_National_Capital_Region_NCR_India_using_LANDSAT-8_sensor_for_regional_planning_studies.
23. Ковалева О.А. Геоинформационные системы в муниципальном управлении [Электронный ресурс]. URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018030907> (дата обращения: 09.01.2025)
24. Hebbert M. Climatology for city planning in historical perspective //Urban climate. – 2014. – Т. 10. – С. 204-215.
25. Bai X. RETRACTED: Virtual garden landscape planning based on FPGA and GIS platform [Текст] / Bai X. // Microprocessors and Microsystems. — 2020. — Vol. 79. — С. 1-5. — Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103314>.
26. Civil Services India [Электронный ресурс]. URL: civilserviceindia.com (дата обращения: 01.07.2024).
27. Бояркина А. К., Ермолаева В. В. Экспертные системы //Молодой ученый. – 2016. – №. 11. – С. 286-289.
28. Вольнсков В. Э. Эволюция как стратегия проектирования и дизайна в нелинейной архитектуре //Жилищное строительство. – 2011. – №. 10. – С. 2-6.
29. Paio A., Turkienicz B. An urban grammar study: a geometric method for generating planimetric proportional and symmetrical systems //Nexus Network Journal. – 2011. – Т. 13. – С. 151-169.
30. Lima F. T., Kos J. R., Paraizo R. C. Algorithmic approach toward Transit-Oriented Development neighborhoods:(Para) metric tools for evaluating and proposing rapid transit-based districts //International journal of architectural computing. – 2016. – Т. 14. – №. 2. – С. 131-146.
31. Моттаева А. Б. Планирование и моделирование региональной транспортной инфраструктуры // Вестник Государственного университета просвещения. Серия: Экономика. 2020. №3. с.101-108, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-i-modelirovanie-regionalnoy-transportnoy-infrastruktury>.
32. Omeiza D. Efficient machine learning for large-scale urban land-use forecasting in Sub-Saharan Africa //arXiv preprint arXiv:1908.00340. – 2019.
33. Liu Y., Leng X. Rural landscape design strategy based on deep learning model //Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. – 2024. – Т. 9. – №. 1.

34. Chaturvedi V., de Vries W. T. Machine learning algorithms for urban land use planning: A review //Urban Science. – 2021. – Т. 5. – №. 3. – С. 68.
35. Liu D. Application of modern urban landscape design based on machine learning model to generate plant landscaping //Scientific Programming. – 2022. – Т. 2022. – №. 1. – С. 1610427.
36. Albert A. et al. Modeling urbanization patterns with generative adversarial networks //IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – IEEE, 2018. – С. 2095-2098.
37. Carrasco J. et al. Exploring the multidimensional effects of human activity and land cover on fire occurrence for territorial planning //Journal of environmental management. – 2021. – Т. 297. – С. 113428.
38. Ильин И. В. Анализ недостатков искусственных нейронных сетей и методов их минимизации //Научно-практические исследования. – 2017. – №. 7. – С. 65-70.
39. Узденёва, Т. А. Некоторые проблемы систем поддержки принятия решений / Т. А. Узденёва. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2010. — № 5 (16). — Т. 1. — С. 103-106. — URL: <https://moluch.ru/archive/16/1574/> (дата обращения: 10.01.2025).
40. Mortaheb R., Jankowski P. Smart city re-imagined: City planning and GeoAI in the age of big data //Journal of Urban Management. – 2023. – Т. 12. – №. 1. – С. 4-15.
41. Федорова М. С., Певная М. В. Метод виртуального моделирования в изучении городских пространств и социального участия: определение возможностей и ограничений // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2020. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-virtualnogo-modelirovaniya-v-izuchenii-gorodskih-prostranstv-i-sotsialnogo-uchastiya-opredelenie-vozmozhnostey-i-ogranicheniy> (дата обращения: 10.01.2025).
42. Кашарин Д. Д. Использование имитационного моделирования при формировании территориальных планов в градостроительстве //информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений. – 2020. – С. 45-49.
43. Lomborg S., Kaun A., Scott Hansen S. Automated decision making: Toward a people centred approach //Sociology Compass. – 2023. – Т. 17. – №. 8. – С. e13097.
44. Wang D., Lu C. T., Fu Y. Towards automated urban planning: When generative and chatgpt-like ai meets urban planning. arXiv 2023 //arXiv preprint arXiv:2304.03892.
45. BIMТeаmа [Электронный ресурс]. URL: <https://bimteam.ru/> (дата обращения: 09.01.2025)
46. D10 [Электронный ресурс]. URL: <https://10d-smlt.samoletgroup.ru/> (дата обращения: 09.01.2025)
47. Solution Generation, Cloud-based Editing, Automatic Drawing... the Junior AI Assistant for Architects! [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/974602/solution-generation-cloud-based-editing-automatic-drawing-the-junior-ai-assistant-for-architects> (дата обращения: 09.01.2025)
48. Phillips-Wren G. Intelligent decision support systems //Multicriteria decision aid and artificial intelligence: links, theory and applications. – 2013. – С. 25-44.
49. Оценка экономической эффективности городского развития: как измерить успех мероприятий комплексного развития городских территорий / [Электронный ресурс] // Научные Статьи.Ру : [сайт]. — URL: <https://nauchniestati.ru/spravka/ocenka-ekonomicheskoy-effektivnosti-meropriyatij-kompleksnogo-razvitiya-gorodskih-territorij/#author> (дата обращения: 20.02.2024).
50. Shiriaev D., Blokhin O., Rychkov A. Development of Methods and Software for Automated Preparation of Maps of Urban-Planning Regulation of the Territory of Municipalities / Shiriaev D., Blokhin O., Rychkov A. [Электронный ресурс] // CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org) : [сайт]. — URL: <https://ceur-ws.org/> (дата обращения: 20.02.2024).
51. Геоинформационные системы (ГИС). Основные определения, достоинства и недостатки. / [Электронный ресурс] // Elcomrevue : [сайт]. — URL: <https://elcomrevue.ru/blog/geoinform-system/geoinformatsionnyie-sistemyi-gis-osnovnyie-opredeleniya-dostoinstva-i-nedostatki> (дата обращения: 20.02.2024).
52. Сутягин М. Д. Системы планирования и развития территорий на примере зарубежных стран / Сутягин М. Д. // Актуальные проблемы российского права. — 2021. — № 9. — С. 161-168.
53. Киль Е. А., Филиппов А. Г., Татаринцев Н. И. Социально-экономическая эффективность инвестиционно-строительных проектов при механизме комплексного развития территорий на примере Красноярского края / Киль Е. А., Филиппов А. Г., Татаринцев Н. И. // Экономика строительства. — 2022. — № 10. — С. 80-88.

References

1. Popkova A. A., Konev Yu. M., Kanyukov M. V. Integrated development of territories: current state and problems of implementation //News of higher educational institutions. Sociology. Economy. Politicians. – 2023. - Vol. 16. – No. 2. - pp. 38-53.
2. Scopus Database / [Electronic resource]//: [website]. - URL: <https://www.scopus.com/home.uri> (date of access: 02/18/2024).
3. Karpik A. P., Musikhin I. A., Vetoshkin D. N. intelligent information models of territories as an effective tool for spatial and economic development //Bulletin of SSUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies). – 2021. - Vol. 26. – No. 2. - pp. 155-163.
4. Jovovich R. et al. The concept of sustainable regional development—institutional aspects, policies and prospects //Journal of International Studies, 2017, vol. 10, No. 1.
5. Silvina M. Manrique Native forests in agricultural landscapes: An option for sustainability / Silvina M. Manrique // Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability. - 2022. - pp. 353-375. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128229767000119>.
6. Ali-Toudert F. et al. Comprehensive assessment method for sustainable urban development (CAMSUD)-a new multi-criteria system for planning, evaluation and decision-making //Progress in Planning. - 2020. - Vol. 140. - P. 100-430.
7. Attolico A. Building resilience through territorial planning: the experience of Province of Potenza //Procedural Economics and Finance. – 2014. - Vol. 18. - pp. 528-535.
8. "ESG principles: what they are and why companies comply with them" [Electronic resource]. URL: trends.rbc.ru (date of reference: 26.06.2024)
9. "Dom. RF. The standard of integrated territorial development" / Dom RF, Strelka Design Bureau. - Moscow, 2019. - URL: [dom.Russian Federation](https://dom.russianfederation.ru) (accessed 03/20/2021).
10. Zhang W. The Impact of the Platform Economy on Urban–Rural Integration Development: Evidence from China //Land. – 2023. - Vol. 12. – No. 7. - p. 1417.
11. Jian Y., Yang Y., Xu J. The Impact and Mechanism of the Increased Integration of Urban Agglomerations on the Eco-Efficiency of Cities in the Region—Taking the Chengdu–Chongqing Urban Agglomeration in China as an Example //Land. – 2023. - Vol. 12. – No. 3. - p. 684.
12. Crespo A. et al. Territorial planning of rustic land constructions and their adaptation to climate change in the province of Málaga, Spain //Land Use Policy. – 2023. - Vol. 129. - p. 106644.
13. Pena S. B. et al. Water erosion aspects of land degradation neutrality to landscape planning tools at national scale //Geoderma. – 2020. - Vol. 363. - p. 114093.
14. Borodina M. et al. State Regulation of Digital Technologies for Sustainable Development and Territorial Planning //International Journal of Sustainable Development & Planning. – 2023. - Vol. 18. – No. 5.
15. Oklander M. et al. Methods of Calculating the Integrated Indicator for Assessing the Socio-Economic Development of the Territory: A Marketing Approach //International Conference on Business and Technology. – Cham : Springer International Publishing, 2022. - pp. 379-391.
16. Eraydın A. Changing importance of quantitative methods in regional development and planning //A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture. – 2011. - Vol. 8. – No. 02. - pp. 4-16.
17. Falco E., Kleinhans R. Digital participatory platforms for co-production in urban development: A systematic review //International Journal of E-Planning Research (IJEPR). – 2018. – Vol. 7. – No. 3. - pp. 52-79.
18. Dabiev D. F. on the methodology of assessing the economic potential of regions //Fundamental research. – 2019. – No. 12-2. - pp. 258-262.
19. Stroev P. V., Pivovarova O. V. Improving the assessment of the effectiveness and monitoring of the functioning of territories of advanced socio-economic development //Issues of innovative economics. – 2020. - Vol. 10. – No. 4. - pp. 2037-2054.
20. Karaeva A. P., magari E. R. advantages and disadvantages of the main approaches to assessing the ecological and economic efficiency of investment projects in the energy sector //environmental safety management system.-Yekaterinburg, 2021. – 2021. - pp. 20-24.
21. Ni R., Wang F., Yu J. Spatiotemporal changes in sustainable development and its driving force in the Yangtze River Delta region, China //Journal of Cleaner Production. – 2022. - Vol. 379. - P. 134751.
22. Hang H., Rahman A. characteristics of the thermal environment over the heterogeneous surface of the National Capital Region (NCR), India using LANDSAT-8 sensor for regional Planning studies [Text] / Hang H., Rahman A. // urban climate. — 2018. — Vol. 24(1). - pp. 1-18. — Mode of access:

- https://www.researchgate.net/publication/325500759_Characterization_of_thermal_environment_over_heterogeneous_surface_of_National_Capital_Region_NCR_India_using_LANDSAT-8_sensor_for_regional_planning_studies.
23. Kovaleva O. A. Geoinformation systems in municipal management [Electronic resource]. URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018030907> (accessed: 01/09/2025)
 24. Hebbert M. Climatology for city planning in historical perspective //Urban climate. – 2014. - Vol. 10. - pp. 204-215.
 25. BAI X. RETRACTED: Virtual Garden Landscape planning based on FPGA and GIS platform [text] / BAI X. // Microprocessors and Microsystems. — 2020. — Vol. 79. - pp. 1-5. — Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103314>.
 26. Civil Services India [Electronic resource]. URL: civildserviceindia.com (date of reference: 07/01/2024).
 27. Boyarkina A. K., Odolaeva V. V. expert systems // A young scientist. – 2016. – No. 11. - pp. 286-289.
 28. Volynskov V. E. evolution as a design strategy and design in nonlinear architecture //housing construction. – 2011. – №. 10. - Pp. 2-6.
 29. Paio A., Turkienicz B. An urban grammar study: a geometric method for generating planimetric proportional and symmetrical systems //Nexus Network Journal. – 2011. - Vol. 13. - pp. 151-169.
 30. Lima F. T., Kos J. R., Paraizo R. C. Algorithmic approach towards Transit-Oriented Development of neighborhoods:(Para) metric tools for evaluating and proposing rapid transit-based districts //International journal of architectural computing. – 2016. - Vol. 14. – No. 2. - pp. 131-146.
 31. Mottaeva A. B. planning and modeling of regional transport infrastructure // Bulletin of the State University of Education. Series: Economics. 2020. No. 3. pp. 101-108, <https://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-i-modelirovanie-regionalnoy-transportnoy-infrastruktury>.
 32. Omeiza D. Efficient machine learning for large-scale urban land-use forecasting in Sub-Saharan Africa //arXiv preprint arXiv:1908.00340. – 2019.
 33. Liu Y., Leng X. Rural landscape design strategy based on deep learning model //Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. – 2024. – Vol. 9. – No. 1.
 34. Chaturvedi V., de Vries W. T. Machine learning algorithms for urban land use planning: A review //Urban Science. – 2021. – Vol. 5. – No. 3. - P. 68.
 35. Liu D. Application of modern urban landscape design based on machine learning model to generate plant landscaping //Scientific Programming. – 2022. - T. 2022. – No. 1. - pp. 1610-427.
 36. Albert A. et al. Modeling urbanization patterns with generative adversarial networks //IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – IEEE, 2018. - pp. 2095-2098.
 37. Carrasco J. et al. Exploring the multidimensional effects of human activity and land cover on fire occurrence for territorial planning //Journal of environmental management. – 2021. - Vol. 297. - pp. 113428.
 38. Ilyin I. V. analysis of the disadvantages of artificial neural networks and methods of their minimization // scientific and practical research. - 2017. – No. 7. - pp. 65-70.
 39. Uzdeneva, T. A. Some problems of decision support systems / T. A. Uzdeneva. - Text : unenlightened // Young scientist. — 2010. — № 5 (16). — Vol. 1. pp. 103-106. - URL: <https://moluch.ru/archive/16/1574/> (accessed: 01/10/2025).
 40. Mortaheb R., Jankowski P. Smart city re-imagined: City planning and GeoAI in the age of big data //Journal of Urban Management. – 2023. - Vol. 12. – No. 1. - pp. 4-15.
 41. Fedorova M. S., Pevnaya M. V. the method of virtual modeling in the study of urban space and social participation: defining opportunities and limitations // Bulletin of PNRPU. Socio-economic sciences. 2020. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-virtualnogo-modelirovaniya-v-izuchenii-gorodskih-prostranstv-i-sotsialnogo-uchastiya-opredelenie-vozmozhnostey-i-ogranicheniy> (date of request: 10.01.2025).
 42. Kasharin D. D. The use of simulation modeling in the formation of territorial plans in urban planning // Information technologies in the study of operated buildings and structures. 2020. - pp. 45-49.
 43. Lomborg S., Kaun A., Scott Hansen S. Automated decision making: Towards a people centered approach //Sociology Compass. – 2023. - Vol. 17. – No. 8. – pp. e13097.
 44. Wang D., Lu C. T., Fu Y. Towards automated urban planning: When generative and chatgpt-like ai meets urban planning. arXiv 2023//arXiv preprint arXiv:2304.03892.
 45. Vimteama [Electronic resource]. URL: <https://bimteam.ru/> (date of access: 09.01.2025)
 46. D10 [Electronic resource]. URL: <https://10d-smlt.samoletgroup.ru/> (accessed: 01/09/2025)
 47. Solution Generation, Cloud-based Editing, Automatic Drawing... the Junior AI Assistant for Architects! [electronic resource]. URL: <https://www.archdaily.com/974602/solution-generation-cloud-based-editing-Automatic-drawing-The-Junior-AI-Assistant-for-Architects> (accessed: 01/09/2025)

48. Phillips-Wren G. Intelligent decision support systems // Multicriteria decision aid and artificial intelligence: links, theory and applications. – 2013. - pp. 25-44.
49. Assessing the economic efficiency of urban development: how to measure the success of integrated urban development activities / [Electronic resource] // Scientific Articles.Ru: [site]. - URL: <https://nauchniestati.ru/spravka/oczenka-ekonomicheskoy-effektivnosti-meropriyatij-kompleksnogo-razvitiya-gorodskih-territorij/#author> (accessed: 20.02.2024).
50. Shiriaev D., Blokhin O., Rychkov A. Development of Methods and Software for Automated Preparation of Maps of Urban-Planning Regulation of the Territory of Municipalities / Shiriaev D., Blokhin O., Rychkov A. [Electronic resource] // CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org): [site]. — URL: <https://ceur-ws.org/> (date of access: 20.02.2024).
51. Geographic information systems (GIS). Basic definitions, advantages and disadvantages. / [Electronic resource] // Elcomrevue: [site]. — URL: <https://elcomrevue.ru/blog/geoinform-system/geoinformatsionnyie-sistemyi-gis-osnovnyie-opredeleniya-dostoinstva-i-nedostatki> (date of access: 20.02.2024).
52. Sutyagin M. D. Territorial planning and development systems using the example of foreign countries / Sutyagin M. D. // Actual problems of Russian law. — 2021. — No. 9. — P. 161-168.
53. Kil E. A., Filippov A. G., Tatarintsev N. I. Socio-economic efficiency of investment and construction projects under the mechanism of integrated development of territories using the example of the Krasnoyarsk Territory / Kil E. A., Filippov A. G., Tatarintsev N. I. // Construction Economics. - 2022. - No. 10. - P. 80-88.