

## Системное управление и инженерное моделирование городских экологических проектов: кейс-анализ пяти мегаполисов

*Н. Махмуди*

*Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН)*

**Аннотация:** Интенсивная урбанизация в развивающихся странах, в частности в Иране и Турции, обострила экологические вызовы, требующие внедрения системных и инженерно-обоснованных стратегий управления проектами устойчивого развития. В настоящем исследовании представлен структурированный подход к инженерному моделированию и управлению городскими экологическими проектами на примере пяти мегаполисов: Тегерана, Мешхеда, Исфахана, Шираза и Стамбула. Особое внимание уделено социально-экономическим эффектам реализации устойчивых инициатив, включая создание рабочих мест, снижение затрат и повышение качества городской среды. Успешный опыт Стамбула в интеграции систем переработки отходов в энергию и переходе на электрический общественный транспорт сопоставляется с менее эффективными и разрозненными практиками в иранских городах. На основе проведенного анализа разработаны стратегические рекомендации, направленные на развитие межрегионального сотрудничества и формирование согласованных рамок устойчивого развития для органов управления и городских планировщиков.

**Ключевые слова:** Устойчивое развитие, управление экологическими проектами, социально-экономические эффекты, возобновляемая энергия, циркулярная экономика, переработка отходов в энергию, городская инфраструктура, Тегеран, Мешхед, Исфахан, Шираз, Стамбул

### Введение

Быстрое развитие городов в развивающихся странах сопровождается необходимостью совмещения экономического роста с экологической устойчивостью. Такие мегаполисы, как Тегеран, Мешхед, Исфахан, Шираз и Стамбул, сталкиваются с комплексными проблемами, связанными с загрязнением окружающей среды, неэффективным управлением отходами и ограниченностью природных ресурсов. Как подчеркивается в последних отчетах (Международное энергетическое агентство, 2023) и (Европейское агентство по окружающей среде, 2023), устойчивое развитие возможно только при наличии интегрированной стратегии, направленной на модернизацию инфраструктуры, сокращение выбросов и рациональное использование ресурсов [1,2].

На глобальном уровне примеры Копенгагена и Сингапура демонстрируют успехи в интеграции экологических и экономических целей. В регионе Стамбул выделяется проектами по преобразованию отходов в энергию [3] и электрификации транспорта [4], что позволило сократить выбросы парниковых газов на 35 % (Всемирный банк, 2023; Программа развития ООН, 2023). В Иране, несмотря на наличие пилотных инициатив — например, солнечные станции в Тегеране и биоэнергетика в Мешхеде, — их масштаб остаётся ограниченным из-за отсутствия национальной координации (Международное агентство по возобновляемой энергии, 2023). Города Исфахан и Шираз также сталкиваются с барьерами при внедрении водных и ирригационных технологий [5,6]. Цель настоящего исследования заключается в оценке социально-экономических эффектов экологических инициатив в указанных городах и разработке адаптируемой методологии управления устойчивыми городскими проектами. Работа предоставляет практические рекомендации для масштабируемых решений, основанных на данных и применимых в контексте развивающихся стран.

## **2. Выводы из примеров устойчивого развития**

### **2.1. Преобразующий потенциал интегрированного управления отходами**

Последние исследования подчеркивают социально-экономические преимущества комплексных систем управления отходами. В Стамбуле инициатива по преобразованию отходов в энергию [7] позволила сократить зависимость от полигонов на 60 %, одновременно создав сотни «зеленых» рабочих мест и внося вклад в местное производство энергии (Организация экономического сотрудничества и развития, 2023). В отличие от этого, в Тегеране реализуются пилотные проекты по переработке отходов [8] в меньших масштабах, однако отсутствие развитой инфраструктуры сортировки и логистическая неэффективность значительно снижают их

---

результативность (Международное агентство по возобновляемой энергии, 2023). Масштабирование этих инициатив требует согласованной политики и инвестиций в интеллектуальные технологии сортировки отходов.

## **2.2. Возобновляемая энергия как двигатель экономического роста**

Переход к возобновляемым источникам энергии оказывает ощутимое влияние на экономику городов, таких как Мешхед и Стамбул. Например, проекты биоэнергетики в Мешхеде позволили сократить объемы муниципальных отходов на 25 %, способствуя формированию модели циклической экономики, соответствующей глобальным стандартам устойчивого развития [9]. Аналогично, сектор солнечной энергетики в Стамбуле вырос на 40 %, что улучшило энергетическую безопасность и снизило долгосрочные эксплуатационные расходы города [10]. Эти данные подтверждают, что инвестиции в решения в области возобновляемой энергии одновременно способствуют экономической стабильности и устойчивости окружающей среды.

## **2.3. Роль общественного участия и управления**

Эффективность программ устойчивого развития тесно связана с прозрачностью управления и вовлечением граждан. В Стамбуле участие общественности в городском планировании обеспечило широкую поддержку экологических инициатив [11], что укрепило соблюдение политик и снизило сопротивление со стороны заинтересованных сторон (United Nations, 2022). В то же время иранские города сталкиваются с фрагментированной системой управления, в которой экологическая политика часто не увязана с приоритетами муниципалитетов. Создание инклюзивных механизмов принятия решений и повышение прозрачности на всех этапах реализации проектов могут устранить эти разрывы [12].

## **2.4. Сравнительный глобальный взгляд на устойчивое развитие городов**

---

Города, такие как Барселона и Сингапур, продемонстрировали, что согласование муниципальной и национальной политики имеет решающее значение для успешной реализации проектов в сфере устойчивого развития. Их успехи подчеркивают важность политической согласованности — направления, требующего целевых улучшений в иранских городах [13,14].

### **3. 3. Методология**

#### **3.1. Разработка аналитической модели**

Настоящее исследование основано на смешанном методологическом подходе, объединяющем как качественные, так и количественные методы с целью всесторонней оценки стратегий управления устойчивым развитием. Предлагаемая аналитическая модель включает следующие ключевые компоненты: Идентификация и вовлечение заинтересованных сторон: Картирование ключевых акторов, включая муниципальные органы, частные предприятия, экологические организации и местные сообщества, с целью оценки их участия в инициативах устойчивого развития.

Оценка воздействия и эффективности: Анализ социально-экономических показателей, таких как создание рабочих мест, экономическая эффективность и улучшение качества жизни с применением стандартизированных метрик оценки устойчивости. Сравнительный бенчмаркинг: Сопоставление эффективности практик устойчивого развития в иранских городах с устоявшимися моделями Стамбула, с акцентом на интеграцию технологий переработки отходов в энергию, использование возобновляемых источников энергии и системы рециркуляции воды.

#### **3.2. Методы сбора данных**

Для обеспечения достоверности результатов использован систематический подход к триангуляции данных, включающий как

---

первичные, так и вторичные источники: Первичные данные: Структурированные интервью с городскими планировщиками, экологами, муниципальными чиновниками и разработчиками экологической политики. Распространение анкет среди ключевых заинтересованных сторон для сбора мнений об эффективности действующих программ устойчивого развития. Вторичные данные: Государственные отчёты муниципалитетов Ирана и Турции, международных организаций (ОЭСР, ПРООН, МЭА) и индексы устойчивости. Рецензируемые научные публикации и отраслевые доклады, оценивающие политику в области устойчивого развития и технологические инновации.

### **3.3. Выбор городов для анализа кейс-стади**

Для обеспечения репрезентативности результатов выбраны различные типы городских контекстов:

- Тегеран и Мешхед: Индустриальные центры с высоким уровнем энергопотребления и значительным объемом отходов.
- Исфахан и Шираз: Города с экономикой, основанной на сельском хозяйстве и туризме, сталкивающиеся с проблемами дефицита воды и охраны экосистем.
- Стамбул: Региональный эталон, демонстрирующий высокую степень интеграции устойчивых решений, особенно в области возобновляемой энергетики, переработки отходов в энергию и электрифицированного общественного транспорта.

## **4. Социально-экономические последствия проектов устойчивого развития окружающей среды**

### **4.1. Создание рабочих мест и динамика рынка труда**

Муниципальные инициативы, направленные на обеспечение экологической устойчивости, играют значительную роль в формировании занятости как на стадии строительства, так и на этапе эксплуатации инфраструктуры. На «рис.1». представлено распределение созданных рабочих мест в пяти исследуемых городах, отражающее разницу в подходах к реализации «зелёных» проектов. Как видно из диаграммы, Стамбул демонстрирует наивысшие показатели по обоим видам занятости 3 000 рабочих мест в сфере строительства и 1 000 в сфере эксплуатации, что в сумме составляет 4 000 рабочих мест. Такой результат является следствием комплексного подхода к реализации устойчивых проектов, включая переработку отходов в энергию и внедрение электрифицированного общественного транспорта.

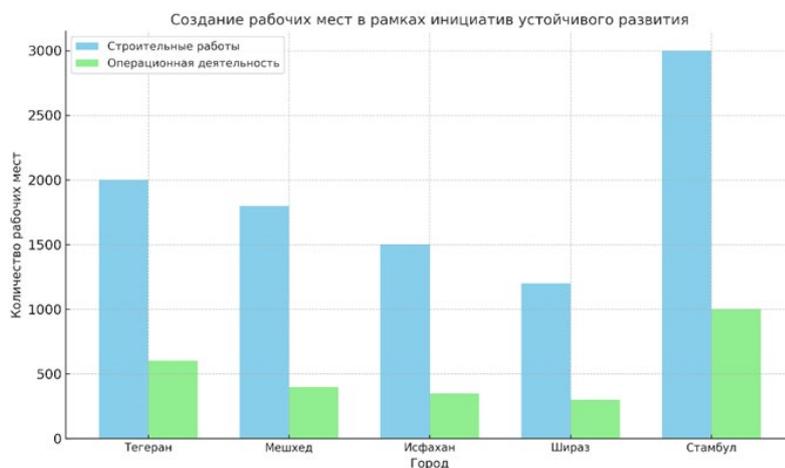


Рис. 1. – Создание рабочих мест в устойчивых городских проектах: сравнение строительной и операционной занятости по городам

В иранских городах, напротив, преобладает краткосрочная занятость, связанная преимущественно с инфраструктурными работами. В Тегеране (2 600 рабочих мест), Мешхеде (2 200), Исфахане (1 850) и Ширазе (1 500) основная часть рабочих мест приходится на строительный этап, тогда как доля занятых в операционной деятельности существенно ниже. Этот

дисбаланс свидетельствует о необходимости интеграции стратегии устойчивого трудоустройства в общую систему управления проектами. В частности, Тегеран и Мешхед обладают значительным потенциалом в сфере «зелёной» экономики и, при условии активной государственной поддержки, могут достичь большей устойчивости занятости [3–5] (Всемирный банк, 2023; Программа развития ООН, 2023).

#### 4.2 Экономия и эффективность использования ресурсов

Инициативы в области экологической устойчивости принесли значительные экономические выгоды, главным образом за счёт сокращения затрат на энергоэффективность, уменьшения объёмов отходов и модернизации городской инфраструктуры. Стамбул эффективно использует технологии преобразования отходов в энергию и интеграцию коммунальных служб, обеспечивая финансовые преимущества, превосходящие те, что наблюдаются в иранских городах. (таблица №1).

Таблица № 1

Годовая экономия средств от реализации проектов устойчивого развития

| Город   | Годовая экономия (USD) | Основные выигравшие секторы               |
|---------|------------------------|---|
| Тегеран | \$14 000 000           | Промышленный сектор                       |
| Мешхед  | \$11 000 000           | Муниципальная система управления отходами |
| Исфахан | \$9 500 000            | Сельскохозяйственный сектор               |
| Шираз   | \$8 000 000            | Городская инфраструктура                  |
| Стамбул | \$20 000 000           | Коммунальные услуги и транспорт           |

**Анализ.** Экономическая модель Стамбула демонстрирует успешную интеграцию управления отходами [6], электрификации общественного

транспорта [7] и внедрения зелёной энергетики [8], обеспечивая максимальную эффективность затрат в различных секторах городской инфраструктуры. Города Тегеран и Мешхед обладают схожим экономическим потенциалом, однако для достижения финансовых выгод от инвестиций в устойчивое развитие требуется чётко скоординированная политика (Организация экономического сотрудничества и развития, 2023; Международное агентство по возобновляемой энергии, 2023).

### **4.3 Политические аспекты устойчивого городского развития**

Согласованность политики и прозрачность управления являются ключевыми компонентами эффективного планирования устойчивого развития. Города, формирующие прочные регуляторные рамки, поощряющие участие заинтересованных сторон и увязывающие местные программы устойчивости с национальными целями, имеют значительно больше шансов на долгосрочный успех. Достижения Стамбула в области устойчивости напрямую связаны с интегрированной системой управления, в рамках которой городские планировщики, политики и представители частного сектора совместно обеспечивают устойчивость и эффективность программ. В противоположность этому, иранские города сталкиваются с фрагментацией нормативно-правовой базы: пересекающиеся политики и административные барьеры замедляют реализацию экологических инициатив.

Рекомендации по политике:

- Тегеран и Мешхед: Усилить межведомственное сотрудничество для согласования муниципальной экологической политики с национальными стратегиями устойчивого развития.
  - Исфахан и Шираз: Расширить финансовые стимулы для ускорения внедрения проектов по рециркуляции воды и возобновляемой энергетике.
  - Все города: Повышение прозрачности в рамках государственно-частных партнёрств способствует стимулированию инвестиций [9] и
-

укреплению доверия между секторами. Например, как отмечает доклад ООН, активное участие заинтересованных сторон усиливается при наличии чётких механизмов подотчётности (United Nations, 2022). Это особенно важно на этапе реализации, когда эффективность устойчивых проектов напрямую зависит от взаимодействия между государственными структурами и частными инвесторами [10, 11].

## 5. Обсуждение

**5.1. Интегрированный подход Стамбула к устойчивому развитию**  
Успех Стамбула в сфере экологического управления объясняется внедрением интегрированной и межсекторной политики устойчивого развития. Город эффективно объединил политику в области возобновляемых источников энергии, системы переработки отходов в энергию и электрифицированный общественный транспорт, что позволило реализовать синергетический подход, максимизирующий как экологические, так и экономические выгоды.

Значимым примером служит сеть метрополитена Стамбула, которая всё в большей степени питается от возобновляемых источников энергии. По данным Всемирного банка, это привело к сокращению выбросов углерода в городском транспорте на 30 % за последнее десятилетие [3] (Всемирный банк, 2023). Более того, как отмечается в отчётах Программы развития ООН, проекты города по переработке отходов в энергию позволили перенаправить более 60 % муниципальных отходов от полигонов [4], тем самым снижая деградацию окружающей среды, одновременно способствуя производству возобновляемой энергии и созданию рабочих мест (Программа развития ООН, 2023).

Эти комплексные меры подчёркивают важность создания интегрированной системы устойчивого городского развития, превращая Стамбул в воспроизводимую модель для других городов, стремящихся повысить свою экологическую устойчивость.

---

## 5.2 Основные проблемы иранских городов

Несмотря на недавние достижения в области экологической устойчивости, такие иранские города, как Тегеран, Мешхед, Исфахан и Шираз, продолжают сталкиваться с фрагментарными и изолированными инициативами, что препятствует достижению масштабного эффекта.

- Солнечные энергетические проекты Тегерана, несмотря на свой потенциал, слабо интегрированы в общую энергетическую инфраструктуру страны, что ограничивает их масштабируемость и долгосрочную экономическую эффективность.

- Биоэнергетические инициативы Мешхеда, изначально предназначенные для сокращения объёмов муниципальных отходов, достигли лишь 15 % от запланированной производительности, в основном из-за недостаточного финансирования и слабой координации между заинтересованными сторонами.

- Исфахан и Шираз, как города среднего размера, сталкиваются с технологическими и финансовыми барьерами, ограничивающими их доступ к передовым устойчивым решениям, таким как инфраструктура по переработке отходов в энергию и интеллектуальные системы управления водными ресурсами.

Кроме того, институциональная неэффективность в виде дублирующих полномочий административных органов, непоследовательного применения политики и бюрократических задержек замедляет развитие программ устойчивости. Без хорошо скоординированной национальной стратегии многие города не в состоянии повторить успех Стамбула и привлечь необходимые инвестиции для перехода к устойчивому развитию в широком масштабе [5,6].

**5.3 Стратегические рекомендации по укреплению устойчивого развития в иранских городах** Для преодоления существующих проблем и согласования политики устойчивого развития иранских городов с успешными мировыми моделями предлагаются следующие стратегические меры:

**1. Гармонизация политики и реформа управления:**

Иранские города должны согласовывать локальные экологические инициативы с национальными целями устойчивого развития для повышения эффективности использования ресурсов и согласованности политики. Например, интеграция стратегии солнечной энергетики Тегерана с общенациональной программой развития возобновляемой энергетики позволит увеличить объем финансирования и ускорить развитие инфраструктуры.

**2. Укрепление регионального и международного сотрудничества:**

Официальные технические партнёрства с Стамбулом могут способствовать передаче технологий, обмену опытом и совместному финансированию экологических проектов. Совместные инициативы, такие как интегрированные системы по переработке отходов в энергию, позволят иранским городам воспользоваться опытом Стамбула в реализации масштабных проектов.

**3. Повышение общественного участия и осведомленности населения:**

Общественное участие является краеугольным камнем эффективной политики устойчивого развития. Следует реализовать образовательные кампании, систему поощрений за сокращение отходов и модели партисипативного городского планирования для стимулирования гражданской активности и долгосрочного принятия экологических инициатив.

---

#### **4. Инфраструктурные инвестиции в сферу возобновляемой энергетики и управления отходами:**

Развитие современной инфраструктуры управления отходами должно стать приоритетом, особенно в части гибридных систем переработки отходов в энергию и переработки. Инвестиционные механизмы при поддержке государства могут стимулировать участие частного сектора в проектах зелёной инфраструктуры.

#### **5. Принятие решений на основе данных с использованием цифровых технологий:**

Внедрение геоинформационных систем (ГИС) и аналитики больших данных может значительно повысить эффективность планирования экологических проектов. Например, в Стамбуле применение ГИС для оптимизации маршрутов сбора отходов позволило снизить эксплуатационные расходы на 20 % [7], что, согласно анализу Организации экономического сотрудничества и развития, предоставляет воспроизводимую модель для городов, таких как Тегеран и Мешхед (Организация экономического сотрудничества и развития, 2023).

#### **6. Заключение**

Данное исследование продемонстрировало социально-экономические и экологические преимущества хорошо структурированной системы устойчивого развития, используя пример Стамбула для выявления наилучших практик, применимых в иранских городах.

- Успех Стамбула в интеграции возобновляемых источников энергии, преобразовании отходов в энергию и электрификации общественного транспорта подтверждает потенциал комплексных инициатив устойчивого развития в повышении городской устойчивости и получении экономических выгод.

- Иранские города, несмотря на постепенный прогресс, сталкиваются с институциональными и технологическими барьерами, ограничивающими масштабирование экологических проектов.

- Для обеспечения долгосрочной устойчивости городов в Иране необходимо устранение этих проблем посредством согласования политики, регионального сотрудничества, вовлечения общественности, инвестиций в инфраструктуру и принятия решений на основе данных.

Принятие основанных на доказательствах подходов к устойчивому развитию, как это реализовано в Стамбуле, позволит таким городам, как Тегеран, Мешхед, Исфахан и Шираз, значительно повысить экологическую устойчивость, улучшить экономическую эффективность и повысить качество жизни населения. Это сравнительное исследование предоставляет городским политикам практические рекомендации для продвижения устойчивого развития в регионе.

### Литература

1. Шеина С.Г., Стародубцева А.С. Устойчивое развитие городов: комплексный подход к преобразованию городской среды // Инженерный вестник Дона. 2017. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4114](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4114)

2. Полевщиков И.С., Рожков А.П., Ильин Г.А. Тренажерно-обучающая система для контроля навыков визуального моделирования программного обеспечения и бизнес-процессов // Инженерный вестник Дона. 2022. №10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7916](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7916)

3. Albert A., Strano E., Kaur J., Gonzalez M. Modeling Urbanization Patterns with Generative Adversarial Networks // Computers, Environment and Urban Systems. 2018. Vol. 72. pp. 167–175.

4. Raimbault J. Unveiling Co-evolutionary Patterns in Systems of Cities: A Systematic Exploration of the Sim pop Net Model // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2018. Vol. 21. No. 1. pp. 1–20.

5. Kaya D. Policy Innovations for Smart Waste Management: GIS-Based Optimization in Istanbul // *Sustainable Cities Journal*. 2023. Vol. 15. № 2. pp. 98–115.
  6. Farajzadeh Z., Ghorbanian E., Tarazkar M.H. The Economic Impact of Urban Waste Management Policies: Insights from Iran and Turkey // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 370. pp. 133–145.
  7. Cooper C.H.V., Harvey I., Orford S., Chiaradia A.J. Testing the Ability of Multivariate Hybrid Spatial Network Analysis to Predict the Effect of a Major Urban Redevelopment on Pedestrian Flows // *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2018. Vol. 45. No. 1. pp. 76–94.
  8. Li J., Zhang Y., Wang X. Integrating Blue and Green Infrastructure in Megacities: A Case Study of Shanghai // *Water Practice and Technology*. 2019. Vol. 14. No. 3. pp. 562–574.
  9. Schneider S., Spieth P., Clauss T. Business model innovation in the renewable energy sector // *International Journal of Product Development*. 2013. Vol. 18. № 3–4. pp. 286–310.
  10. Rashidi F. Renewable Energy Initiatives in Iran: A Case Study Approach // *Iranian Journal of Environmental Studies*. 2021. Vol. 18. № 2. pp. 56–78.
  11. El-Sayegh S., Abd Elrahman M., Marzouk M. Project Management and BIM for Sustainable Modern Cities // *Proceedings of the 2nd GeoMEast International Congress*. Springer, 2019. pp. 225–238.
  12. Ediger V.Ş. *Climate Change and Sustainable Energy in Turkey*. ENIVA Publications, 2013. pp. 61–80.
  13. Farahani H., Mohammadi R. Policy Frameworks for Energy Transition in Iranian Cities // *Energy Policy Journal*. 2022. Vol. 64. № 3. pp. 201–217.
  14. Всемирный банк. *Water Resource Management and Urban Sustainability: A Review of Middle Eastern Cities*. 2023.
-



## References

1. Sheina S.G., Starodubtseva A.S. Inzhenernyi vestnik Dona. 2017. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4114](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4114)
2. Polevshchikov I.S., Rozhkov A.P., Ilin G.A. Inzhenernyi vestnik Dona. 2022. №10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7916](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7916)
3. Albert A., Strano E., Kaur J., Gonzalez M. Modeling Urbanization Patterns with Generative Adversarial Networks. Computers, Environment and Urban Systems. 2018. Vol. 72, pp. 167–175.
4. Raimbault J. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2018. Vol. 21, No. 1, pp. 1–20.
5. Kaya D. Sustainable Cities Journal. 2023. Vol. 15. No. 2. pp. 98–115.
6. Farajzadeh Z., Ghorbanian E., Tarazkar M.H. Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 370. pp. 133–145.
7. Cooper C.H.V., Harvey I., Orford S., Chiaradia A.J. Testing the Ability of Multivariate Hybrid Spatial Network Analysis to Predict the Effect of a Major Urban Redevelopment on Pedestrian Flows. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2018. Vol. 45, No. 1, P. 76–94.
8. Li J., Zhang Y., Wang X. Integrating Blue and Green Infrastructure in Megacities: A Case Study of Shanghai. Water Practice and Technology. 2019. Vol. 14, No. 3, pp. 562–574.
9. Schneider S., Spieth P., Clauss T. International Journal of Product Development. 2013. Vol. 18. No. 3–4. pp. 286–310.



10. Rashidi F. Iranian Journal of Environmental Studies. 2021. Vol. 18. No. 2. pp. 56–78.
11. El-Sayegh S., Abd Elrahman M., Marzouk M. Project Management and BIM for Sustainable Modern Cities. Proceedings of the 2nd GeoMEast International Congress. Springer, 2019, pp. 225–238.
12. Ediger V.Sh. ENIVA Publications, 2013. P. 61–80. [Изменение климата и устойчивое развитие энергетики в Турции].
13. Farahani H., Mohammadi R. Energy Policy Journal. 2022. Vol. 64. No. 3. pp. 201–217.
14. Vsemirnyi bank. [Water Resource Management and Urban Sustainability: A Review of Middle Eastern Cities]. 2023.

**Дата поступления: 19.05.2025**

**Дата публикации: 25.07.2025**