Социально-экономические аспекты информационного общества

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КАК ОСНОВА ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ: РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ДЛЯ ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

Статья рекомендована к публикации членом редакционного совета М. А. Шахраманьяном 15.10.2025.

Кириченко Анна Сергеевна

Кандидат технических наук
Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина
Кафедра электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии
Доцент
Краснодар, Российская Федерация
kir89ann@gmail.com, kirichenko.a@edu.kubsau.ru

Кириченко Евгений Владимирович

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина
Кафедра государственного и международного права
Старший преподаватель
Краснодар, Российская Федерация
kirichenko.e@edu.kubsau.ru

Аннотация

Актуальность исследования обусловлена критической зависимостью цифровой экономики от надежного энергоснабжения в условиях санкций, геополитической нестабильности и экстремальных погодных явлений. Цифровая экономика, основанная на работе центров обработки данных, телекоммуникационной инфраструктуры и интернета вещей, предъявляет исключительно высокие требования к бесперебойности и качеству электроснабжения. Сбои в работе энергосистемы ведут к остановке цифровых сервисов, нарушению бизнес-процессов и значительным экономическим потерям, что и обуславливает критическую зависимость. Специфика южных регионов России, сочетающих энергоемкий аграрный сектор и курортную индустрию, создает уникальные сезонные колебания энергопотребления, не учитываемые федеральными методиками. Цель работы – заполнение этого пробела. Разработана комплексная методика с семью адаптированными индексами, примененная к шести регионам. Результаты выявили ключевые угрозы: газозависимость, износ инфраструктуры и климатические риски. Инструментарий позволяет оценивать уязвимости, выявлять критические точки и мониторить устойчивость энергосистем.

Ключевые слова

адаптивное управление; интегральный индекс; санкционная устойчивость; топливно-энергетический комплекс; трансграничные потоки; цифровая экономика; энергозависимость; экономическая безопасность; энергетическая безопасность

Введение

В условиях глобальных энергетических вызовов, климатических изменений и геополитической нестабильности обеспечение энергетической безопасности (ЭБ) приобретает критическую важность. Для федеративных государств, включая Россию, актуальна разработка методик оценки ЭБ на региональном уровне, поскольку федеральные показатели маскируют существенные дисбалансы [1, 2].

© Кириченко А. С., Кириченко Е. В., 2026
Производство и хостинг журнала «Информационное общество» осуществляется Институтом развития информационного общества.
Данная статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons «С указанием авторства — С сохранением условий версии 4.0 Международная» (Creative Commons Attribution — ShareAlike 4.0 International; CC BY-SA 4.0). См. https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.ru
https://doi.org/10.52605/16059921_2026_05_2

Энергетическая безопасность является фундаментальным условием устойчивого развития и суверенитета государства. Обеспечение надежного, бесперебойного и экономически доступного энергоснабжения критически важно для функционирования всех отраслей национального хозяйства, поддержания обороноспособности и социальной стабильности. В современных условиях угрозы энергетической безопасности трансформируются в прямые риски для макроэкономической стабильности, что актуализирует необходимость их диагностики и эффективного управления на всех уровнях, включая региональный.

Развитие цифровой трансформации экономики кратно увеличивает требования к надежности энергетической системы. Энергообеспечение становится информационно-технологической категорией, а его безопасность — основой национальной безопасности в цифровую эпоху. Цифровая трансформация подразумевает повсеместную автоматизацию, рост числа энергоемких дата-центров, развитие умных сетей (smart grid) и интернета вещей. Эти технологии не только увеличивают общее энергопотребление, но и требуют высочайшей надежности энергоснабжения. Например, кратковременное отключение электричества может привести к потере критически важных данных, сбоям в логистических цепях, управлении производством и финансовых операциях. Таким образом, энергетическая безопасность перестает быть лишь вопросом физического наличия энергии, превращаясь в комплексную информационно-технологическую категорию, где бесперебойная подача электроэнергии является основой для функционирования всей цифровой экосистемы.

Юг России характеризуется уникальным сочетанием факторов, определяющих специфику региональной ЭБ: высокой долей аграрного сектора, курортно-рекреационной специализацией, транзитными энергопотоками и сложными климатическими условиями. Энергоснабжение критически важно для работы ирригационных систем, перерабатывающих предприятий и объектов туристической инфраструктуры [3, 4]. Геополитическое положение и зависимость от транзита энергоресурсов требуют усиления защиты критической инфраструктуры [5, 6]. Природно-климатические особенности создают дополнительные риски для надежности энергосистемы [7, 8, 9].

Существующие международные методики оценки ЭБ [10, 11] разработаны для национального уровня и не учитывают региональную специфику. Целью исследования является адаптация методологического инструментария для комплексной оценки энергетической безопасности аграрных регионов юга России с учетом отраслевых, климатических и геополитических особенностей.

1 Обзор современных методов оценки энергетической безопасности

Методики оценки энергетической безопасности представляют собой комплексный инструментарий, интегрирующий количественные и качественные методы анализа.

В России государственные методики базируются на Доктрине энергетической безопасности [12], которая определяет ключевые параметры ЭБ: надежность ТЭК (резервные мощности в ЕЭС РФ >10% от пикового спроса, износ инфраструктуры <30% для критических объектов), экспортную устойчивость (доля поставок в «дружественные» страны >60%) и социальную составляющую (тарифы на энергию ≤5% доходов домохозяйств). Однако эти обобщенные показатели малоприменимы для регионального уровня.

Помимо государственных, существуют авторские методики [13]. Так, в работе Воропая Н. И. и Сендерова С. М. [14] представлен двухуровневый анализ: оптимизационные модели для ТЭК в целом и имитационные потоковые модели для отраслевых систем.

Значительный вклад в развитие регионального подхода внесла работа С. И. Борталевич [15], в которой предложены методические основы оценки энергетической безопасности регионов, базирующиеся на сочетании индикативного анализа, методов иерархий и экспертных оценок. Этот подход актуален для учета специфики субнациональных образований.

Международный опыт также важен. Методика МЭА [10] основывается на четырех аспектах: доступность, стоимость, экологическая устойчивость и гибкость реагирования. Подход ОЭСР [16] акцентирует устойчивость, диверсификацию и геополитические риски через индикаторы физической и экономической устойчивости, выбросов CO_2 и инфраструктурной надежности. Методика RISE Всемирного банка оценивает политику в области устойчивой энергетики по четырем направлениям, используя более 30 индикаторов.

Существенный вклад в систематизацию подходов к оценке энергетической безопасности внесли Б. У. Энг его коллеги. В комплексном обзоре Б. У. Энг и Т. С. Нг [17] проанализировали более 100 исследований, выделив ключевые тенденции: контекстуальный и динамический характер определений энергобезопасности, расширение ее рамок за счет включения аспектов экологической устойчивости и энергоэффективности, а также значительные методологические различия в построении сводных индексов. Эта работа служит методологическим фундаментом, подтверждающим необходимость комплексного многокритериального подхода, который реализован в настоящем исследовании. Практическое применение Б. У. Энг продемонстрировал в работе [18], где предложена схема оценки для страны, критически зависящей от импорта энергоресурсов, наряду с его более ранними исследованиями по проблемам взвешивания и агрегации показателей [19], данная работа подчеркивает важность адаптации методики к специфическим условиям объекта исследования. Однако, как и другие международные методики, разработана для национального уровня Сингапура, не учитывает в полной мере региональную специфику, характерную для федеративных государств.

Существующие методики служат основой, но требуют адаптации к региональной специфике, например, учета сезонных профилей нагрузки и развития ВИЭ. Кроме того, в современных условиях наблюдается методологический пробел в части учета рисков, порождаемых цифровой трансформацией. Новые угрозы, такие как кибератаки на объекты критической инфраструктуры (индекс K_{CY}), повышенные требования к качеству и надежности электроснабжения со стороны дата-центров и объектов «умного» города, а также зависимость самой энергосистемы от цифровых технологий (SCADA-системы, умные счетчики) обуславливают необходимость включения в оценку энергетической безопасности технологических индексов (K_{TE}) и индексов устойчивости к киберугрозам.

2 Материалы и методы

При разработке адаптивной методики для южных регионов России был учтен и критически осмыслен опыт существующих региональных подходов.

В частности, в работе С. И. Борталевич [15] предложен комплексный метод, сочетающий индикативный анализ, метод иерархий и экспертных оценок для диагностики состояния энергобезопасности на примере Республики Бурятия.

Данная методика обладает несомненными достоинствами, такими как системность, ориентация на региональный уровень и попытка учесть долгосрочные перспективы развития. Автор справедливо указывает на ограниченность сугубо формализованных методов для долгосрочного прогнозирования и обосновывает применение сценарного подхода и экспертных оценок. Предложенный Борталевич алгоритм, включающий попарное сравнение управленческих воздействий, является ценным инструментом для выработки приоритетных решений.

Однако, несмотря на свою ценность, указанная методика, как и другие существующие подходы, в полной мере не учитывает специфические для южных регионов России вызовы, актуальные в современной геополитической и климатической реальности. В частности, она не адаптирована для анализа рисков, порождаемых цифровой трансформацией экономики, кибератаки на объекты критической инфраструктуры, комплексного воздействия климатических факторов, деградация водных ресурсов и их влияние на энергосистему, геополитических рисков приграничных территорий в их современном проявлении, включая транзитные угрозы и риски физических диверсий, сезонную динамику, которая создает уникальные профили энергопотребления.

Таким образом, существующие методики, включая работу [15], служат важной теоретической и методологической основой, но подтверждают необходимость разработки новой, адаптивной методики, которая бы целенаправленно учитывала отраслевые, климатические и геополитические особенности именно южных регионов России. Настоящее исследование направлено на заполнение этого пробела за счет введения специализированных индексов, отражающих указанные выше современные вызовы.

Выбор показателей для оценки энергетической безопасности определяется приоритетами исследователя, которые формируются под влиянием наиболее актуальных угроз для страны или региона. Эти угрозы, хотя и редко формулируются явно, играют ключевую роль в отборе

критериев, наилучшим образом описывающих вероятность и последствия реализации кратко- и долгосрочных рисков.

Южные регионы РФ сталкиваются со специфическими вызовами, обусловленными их географическим положением, климатом и экономикой. Изменение климата ведет к учащению экстремальных погодных явлений: аномальная жара увеличивает нагрузку на сети, маловодье снижает выработку ГЭС, а пылевые бури повреждают ЛЭП и солнечные панели. Деградация водных ресурсов ограничивает возможности водозабора для охлаждения ТЭС и обостряет конкуренцию с сельским хозяйством.

Энергобезопасность осложняется зависимостью от транзита через нестабильные территории и приграничным положением, повышающим риски кибератак и физических диверсий. Высокая зависимость генерации от газа делает систему чувствительной к ценовым колебаниям. Сельскохозяйственная специализация создает дополнительную нагрузку из-за роста энергопотребления на орошение и конкуренции за землю с ВИЭ. Курортная специфика накладывает жесткие экологические ограничения и приводит к сезонным пиковым нагрузкам.

Для комплексной оценки предлагается использовать группы критериев, отражающие природно-климатические, геополитические, инфраструктурные, экономические и социально-экологические угрозы. Это позволит разработать агрегированный индекс, адекватно отражающий устойчивость энергосистемы региона.

Структура методики включает семь ключевых индексов: природно-климатический индекс (K_{PC}), геополитический индекс (K_{GP}), инфраструктурный индекс (K_{IN}), экономический индекс (K_{EC}), технологический индекс (K_{TE}), социальный индекс (K_{SO}), экологический индекс (K_{EL}).

Природно-климатический индекс определяется следующим образом:

$$K_{PC} = w_{WX} \cdot K_{WX} + w_{WR} \cdot K_{WR} + w_{AG} \cdot K_{AG} \quad (1)$$

где w_{WX} — вес индекса K_{WX} , K_{WX} — индекс экстремальных погодных явлений, w_{WR} — вес индекса K_{WR}, K_{WR} — индекс водных ресурсов, w_{AG} — вес индекса K_{AG}, K_{AG} — агроклиматический индекс.

Индекс экстремальных погодных явлений:

$$K_{WX} = w_{heat} \cdot \frac{D_{heat}}{D_{norm_h}} + w_{wind} \cdot \frac{D_{wind}}{D_{norm_w}} + w_{water} \cdot \frac{Q_{water}}{Q_{norm}} + w_{dust} \cdot \frac{S_{dust}}{S_{norm}} + w_{snow} \cdot \frac{N_{snow}}{N_{norm}} \quad (2)$$

где w_{heat} — вес индекса D_{heat}, D_{heat} — дни с аномальной жарой, D_{norm_h} — нормативное количество жарких дней, w_{wind} — вес индекса D_{wind}, D_{wind} — дни с ураганным ветром, D_{norm_w} — нормативное количество дней с ураганным ветром, w_{water} — вес индекса Q_{water} — дефицит водных ресурсов, Q_{norm} — среднемноголетний объем водных ресурсов, w_{dust} — вес индекса S_{dust} — площадь поражения пылевыми бурями, S_{norm} — критическая площадь поражения для инфраструктуры, w_{snow} — вес индекса N_{snow} — число осадков в виде мокрого снега и ледяного дождя, N_{norm} — нормативное количество осадков в виде мокрого снега и ледяного дождя.

Индекс водных ресурсов:

$$K_{WR} = 1 - \frac{Q_{def}}{Q_{need}} \quad (3)$$

где Q_{def} — дефицит воды для энергетики, Q_{need} — потребность энергостанций в воде.

Геополитический индекс:

$$K_{GP} = w_{TR} \cdot K_{TR} + w_{BR} \cdot K_{BR} + w_{CY} \cdot K_{CY} \quad (4)$$

где w_{TR} — вес индекса K_{TR}, K_{TR} — индекс транзитных рисков, w_{BR} — вес индекса K_{BR}, K_{BR} — индекс пограничных рисков, w_{CY} — вес индекса K_{CY}, K_{CY} — индекс киберугроз.

Индекс транзитных рисков:

$$K_{TR} = 1 - \frac{E_{trans}}{E_{total}} \quad (5)$$

где E_{trans} — объем энергии, поступающей через нестабильные территории, E_{total} — общее энергопотребление региона.

Индекс пограничных рисков:

$$K_{BR} = w_{attack} \cdot \left(1 - \frac{C_{attack}}{C_{crit}}\right) + w_{event} \cdot \left(1 - \frac{D_{event}}{D_{crit}}\right) \quad (6)$$

где w_{attack} — вес влияния количества инцидентов на границе на пограничные риски, C_{attack} — количество инцидентов на границе (диверсии, провокации), C_{crit} — критическое количество инцидентов на границе, w_{event} — вес влияния числа дней с повышенной угрозой на пограничные риски, D_{event} — число дней с повышенной угрозой, D_{crit} — критическое число дней с повышенной угрозой.

Индекс киберугроз:

$$K_{CY} = 1 - \frac{N_{cyb}}{N_{crit}} \quad (7)$$

где N_{cyb} — количество кибератак на энергообъекты, N_{crit} — критическое число кибератак.

Инфраструктурный индекс:

$$K_{IN} = w_{DV} \cdot K_{DV} + w_{GR} \cdot K_{GR} + w_{ST} \cdot K_{ST} \quad (8)$$

где w_{DV} — вес индекса K_{DV}, K_{DV} — индекс износа энергооборудования, где w_{GR} — вес индекса K_{GR}, K_{GR} — индекс резервных мощностей, где w_{ST} — вес индекса K_{ST}, K_{ST} — индекс стабильности сети.

Особое значение инфраструктурный индекс приобретает в контексте обеспечения цифровой экономики. Высокий износ оборудования (K_{DV}) повышает риск аварийных отключений, недопустимых для объектов цифровой инфраструктуры. Недостаток резервных мощностей (K_{GR}) ограничивает возможности для подключения новых энергоемких потребителей, таких как дата-центры. Низкая стабильность сети (K_{ST}), выражающаяся в частых и длительных перерывах питания, делает невозможным развертывание надежных систем «умного» города, сельского хозяйства и телемедицины.

Индекс износа энергооборудования:

$$K_{DV} = 1 - \frac{A_{wear}}{A_{crit}} \quad (9)$$

где A_{wear} — процент износа основных фондов, A_{crit} — критический износ.

Индекс резервных мощностей:

$$K_{GR} = \frac{P_{re}}{P_{peak}} \quad (10)$$

где P_{re} — доступные резервные мощности, P_{peak} — пиковая нагрузка в сети.

Индекс стабильности сети:

$$K_{ST} = \frac{1}{K_{SAIDI} \cdot K_{SAIFI}} \quad (11)$$

где K_{SAIDI} — средняя продолжительность перерывов в электроснабжении, K_{SAIFI} — частота перерывов.

Экономический индекс:

$$K_{EC} = w_{FU} \cdot K_{FU} + w_{PR} \cdot K_{PR} \quad (12)$$

где w_{FU} — вес индекса K_{FU}, K_{FU} — индекс топливной зависимости, w_{PR} — вес индекса K_{PR}, K_{PR} — индекс ценовой стабильности.

Индекс топливной зависимости:

$$K_{FU} = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^{n} s_i^2} \quad (13)$$

где s_i — доля i-го вида топлива в балансе, n — число видов топлива.

Индекс ценовой стабильности:

$$K_{PR} = 1 - \frac{\sigma_p}{p_{avg}} \quad (14)$$

где σ_p — стандартное отклонение цен на энергию, p_{avg} — средняя цена за период.

Технологический индекс:

$$K_{TE} = w_{RES} \cdot K_{RES} + w_{SM} \cdot K_{SM} + w_{RAS} \cdot K_{RAS} \quad (15)$$

где w_{RES} — вес индекса K_{RES}, K_{RES} — индекс развития ВИЭ, w_{SM} — вес индекса K_{SM}, K_{SM} — индекс умных сетей, w_{RAS} — вес индекса K_{RAS}, K_{RAS} — индекс распределенной генерации.

Технологический индекс напрямую характеризует готовность энергосистемы региона к вызовам цифровой эпохи. Развитие ВИЭ (K_{RES}) и распределенной генерации (K_{RAS}) повышает устойчивость и автономность энергоснабжения, что критически важно для обеспечения работы локальных цифровых кластеров. Внедрение «умных сетей» (K_{SM}) является основой для создания адаптивной, самовосстанавливающейся энергоинфраструктуры, способной эффективно интегрировать распределенные источники энергии и обеспечивать высокое качество электроснабжения, необходимое для цифровых технологий.

Индекс развития ВИЭ:

$$K_{RES} = \frac{P_{res}}{P_{total}} \quad (16)$$

где P_{res} — мощность ВИЭ, P_{total} — общая установленная мощность.

Индекс умных сетей:

$$K_{SM} = \frac{S_{smart}}{S_{total}} \quad (17)$$

где S_{smart} — длина «умных» ЛЭП, S_{total} — общая длина сетей.

Индекс распределенной генерации:

$$K_{RAS} = \frac{P_{ras}}{P_{total}} \quad (18)$$

где P_{ras} — мощность распределенной генерации, P_{total} — общая установленная мощность.

Социальный индекс:

$$K_{SO} = w_{AC} \cdot K_{AC} + w_{MI} \cdot K_{MI} \quad (19)$$

Где w_{AC} — вес индекса K_{AC}, K_{AC} — индекс доступности энергии, w_{MI} — вес индекса K_{MI}, K_{MI} — индекс миграционной нагрузки.

Индекс доступности энергии:

$$K_{AC} = 1 - \frac{C_{energy}}{I_{avg}} \quad (20)$$

где C_{energy} — затраты домохозяйств на энергию, I_{avg} — средний доход населения.

Индекс миграционной нагрузки:

$$K_{MI} = 1 - \frac{P_{summer} - P_{winter}}{P_{avg}} \quad (21)$$

где P_{summer} — население в курортный сезон, P_{winter} — постоянное население, P_{avg} — среднегодовое значение

Экологический индекс:

$$K_{EL} = w_{EM} \cdot K_{EM} + w_{RE} \cdot K_{RE} + w_{LA} \cdot K_{LA} \quad (22)$$

где w_{EM} — вес индекса K_{EM}, K_{EM} — индекс выбросов, w_{RE} — вес индекса K_{RE}, K_{RE} — индекс землепользования, w_{LA} — вес индекса K_{LA}, K_{LA} — индекс экологических ограничений.

Индекс выбросов:

$$K_{EM} = \sum_{j=1}^{m} \left(w_j \cdot K_{EM_j} \right) \quad (23)$$

где w_j — вес индекса K_{EM_j}, K_{EM_j} — индекс выбросов j-ого фактора загрязнения, m — количество загрязняющих факторов.

Индекс выбросов CO_2:

$$K_{CO2} = 1 - \frac{E_{CO2}}{E_{norm_CO2}} \quad (24)$$

где E_{CO2} — выбросы CO_2 от энергетики, E_{norm_CO2} — норматив выбросов CO_2.

Аналогично рассчитываются, индексы выбросов золы и сажи, оксидов азота, сернистых ангидридов и прочих факторов загрязнения.

Индекс землепользования:

$$K_{RE} = 1 - \frac{A_{conflict}}{A_{total}} \quad (25)$$

где $A_{conflict}$ — площадь земель с ограничениями на размещение энергетических объектов, A_{total} — общая площадь региона.

Индекс экологических ограничений:

$$K_{LA} = \frac{R_{eco}}{R_{total}} \quad (26)$$

где R_{eco} — число объектов, соответствующих экостандартам, R_{total} — общее число энергообъектов

Интегральный индекса энергетической безопасности:

$$K_{INT} = w_{PC} \cdot K_{PC} + w_{GP} \cdot K_{GP} + w_{IN} \cdot K_{IN} + w_{EC} \cdot K_{EC} + w_{TE} \cdot K_{TE} + w_{SO} \cdot K_{SO} + w_{EL} \cdot K_{EL} \quad (27)$$

Для дальнейшего рассмотрения методики выберем шесть наиболее характерных регионов Юга России: Республика Адыгея, Астраханская область, Волгоградская область, Республика Калмыкия, Краснодарский край и Ростовская область, которые имеют разнообразные сочетания природно-климатических, экономических и геополитических условий.

Астраханская область — ключевой аграрный регион, специализирующийся на орошаемом земледелии (овощи, бахчевые, рис), при этом 40% угодий требуют искусственного орошения [20]. Геополитическое положение как транзитного узла для энергопоставок в Казахстан и приграничность с нестабильными регионами Каспия добавляют риски [21]. Регион энергоизбыточен [22] и перспективен для солнечной энергетики [23].

Республика Адыгея обладает развитым сельским хозяйством и горным рельефом, что обуславливает риски паводков и селей, угрожающих энергоинфраструктуре [24]. Развита сеть малых ГЭС [23].

Волгоградская область — важный аграрный регион с орошаемым земледелием [25]. Ключевые риски: дефицит воды для ТЭС, износ инфраструктуры, потенциал ВИЭ [26], транзитные энергопотоки [27].

Республика Калмыкия характеризуется экстремальными засухами, развитием ВИЭ [23] и рисками пылевых бурь для солнечных панелей [28]. Специализация — пастбищное животноводство [29].

Краснодарский край — лидер агропроизводства [30] с развитой курортной инфраструктурой [31]. Риски: перегрев сетей, сезонные нагрузки, экологические ограничения. Перспективен для солнечной энергетики [32].

Ростовская область — важный аграрный регион с высокой изношенностью сетей [33], приграничными рисками [34], диверсифицированной генерацией [32] и специализацией на зерновых [24].

3 Результаты и их обсуждения

Весовые коэффициенты методики отражают относительную важность компонентов и определены экспертным подходом с учетом географических, экономических и социально-политических особенностей шести южных регионов России.

Природно-климатические условия играют ключевую роль: для регионов с частыми экстремальными погодными явлениями вес w_{WX} имеет значение на 0,5, а для территорий с пылевыми бурями параметр w_{dust} увеличен до 0,6.

Геополитические риски дифференцированы, так приграничные регионы имеют повышенный вес w_{GP} (0,2), тогда как для внутренних областей он снижен до 0,1. Коэффициент пограничных рисков w_{attack} для приграничных территорий составляет 0,6.

Инфраструктурные показатели учитывают износ оборудования и особенности энергосистем: в регионах с высоким износом сетей вес w_{DV} увеличен до 0,4, а для территорий с развитой курортной инфраструктурой вес стабильности сети w_{ST} составляет 0,5.

Экономические факторы варьируются: вес топливной зависимости w_{FU} достигает 0,7 для газозависимых регионов против 0,5 для областей с диверсифицированной генерацией. Ценовая стабильность wPR имеет повышенный вес (0,6) в регионах с низкими доходами населения.

Технологическое развитие учитывает специализацию: вес развития ВИЭ w_{RES} составляет 0,6 для регионов с активным внедрением возобновляемой энергетики, а распределенная генерация w_{RAS} имеет вес 0,4 для промышленных территорий.

Социальные аспекты дифференцированы: вес миграционной нагрузки w_{MI} достигает 0,7 для курортных зон, а доступность энергии w_{AC} имеет повышенный вес (0,8) в регионах с ограниченной платежеспособностью.

Экологические индексы учитывают природоохранные требования: вес соответствия экостандартам w_{LA} увеличен до 0,5 для курортных регионов, тогда как снижение выбросов w_{EM} имеет вес 0,6 для промышленных областей. Интегральный индекс энергетической безопасности для каждого региона рассчитывается с учетом этих весовых коэффициентов, что позволяет получить объективную оценку с учетом региональной специфики.

Значения весов интегральных коэффициентов для шести регионов приведены на рис. 1.

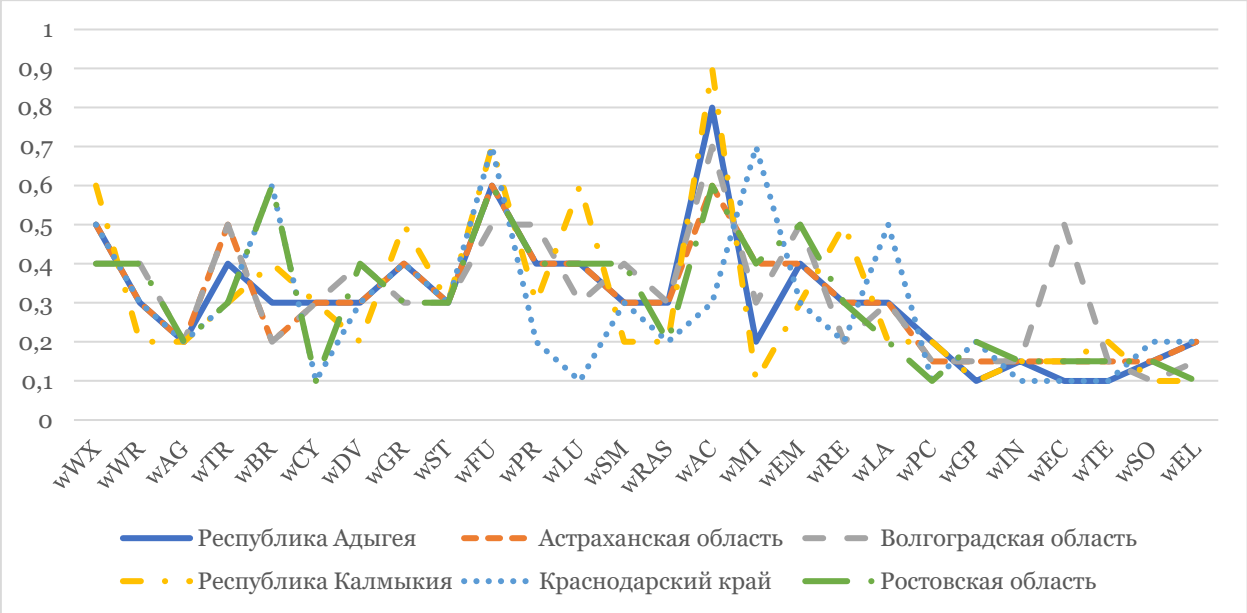

Рис. 1. Веса интегральных коэффициентов

Как видно из Рис. 1, весовые коэффициенты интегральных индексов существенно варьируются от региона к региону, что отражает их уникальный профиль рисков.

Для Астраханской области и Краснодарского края наблюдается повышенный вес природно-климатического индекса (K_{PC}), что обусловлено высокой частотой экстремальных погодных явлений, такие как экстремальная жара, засухи, мокрый снег, ледяные дожди, и их прямым влиянием на аграрный сектор и энергосистему.

Высокий вес геополитического индекса (K_{GP}) в Ростовской области и Астраханской области объясняется их приграничным положением и наличием критической транзитной инфраструктуры, что повышает риски как физических, так и кибератак.

Волгоградская и Ростовская области демонстрируют наибольший вес инфраструктурного индекса (K_{IN}), что коррелирует с данными о высоком уровне износа энергетического оборудования в этих регионах.

Социальный индекс (K_{SO}) имеет максимальную значимость в Краснодарском крае, что напрямую связано с его курортной специализацией и, как следствие, высокой сезонной миграционной нагрузкой, создающей пиковые нагрузки на энергосеть. Эти пиковые нагрузки создают риски для стабильной работы телекоммуникационной инфраструктуры и сервисов «умного города», востребованных туристами, что подчеркивает прямую связь между социальной динамикой, энергобезопасностью и качеством цифровых услуг.

Повышенный вес технологического индекса (K_{TE}) в Республике Калмыкия отражает активную политику региона в области развития ВИЭ.

Проведенный анализ демонстрирует, что риски для энергетической безопасности, выявленные с помощью адаптивной методики, являются прямыми ограничителями для цифрового развития южных регионов. Например, высокая газозависимость и износ инфраструктуры в ряде регионов создают системные риски для размещения в них энергоемких дата-центров. В то же время, регионы с высоким потенциалом развития ВИЭ и «умных сетей», например, Республика Калмыкия, могут использовать это преимущество для формирования «зеленых» цифровых кластеров, привлекательных для инвестиций. Таким образом, мониторинг энергобезопасности через предложенные индексы позволяет не только оценивать текущие угрозы, но и формировать стратегию цифровой трансформации, основанную на надежном энергетическом фундаменте.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что обеспечение энергетической безопасности является не просто одной из задач, но фундаментальным условием для перехода к цифровой экономике, особенно в стратегически важных южных регионах России. Предложенная методика позволяет количественно оценить, в какой степени такие факторы, как износ сетей, киберугрозы и нестабильность генерации, подрывают основу для цифровизации агропромышленного и курортно-рекреационного комплексов. Разработанная адаптивная методика оценки, учитывающая региональную специфику, демонстрирует, что угрозы для энергосистемы, такие как газозависимость, износ инфраструктуры, климатические риски, напрямую трансформируются в риски для цифровизации экономики.

Выбор шести аграрных регионов Юга России для оценки энергетической безопасности обусловлен необходимостью учета уникальных факторов, влияющих на устойчивость их энергосистем. Исследуемые регионы представляют различные сочетания природно-климатических, экономических и геополитических условий.

Методология основана на семи ключевых индексах, комплексно отражающих аспекты энергетической безопасности: природно-климатический, геополитический, инфраструктурный, экономический, технологический, социальный и экологический.

Результаты исследования демонстрируют необходимость дифференцированного подхода к оценке, учитывающего региональную специфику. Разработанная система весовых коэффициентов позволяет адаптировать методику к конкретным условиям каждого региона, обеспечивая релевантность оценок и эффективность мер по повышению устойчивости энергосистем.

Предложенный инструментарий служит системой поддержки принятия решений для органов власти при определении приоритетов финансирования энергетики, включая модернизацию инфраструктуры, разработку программ цифровизации, развития распределенных сетей, энергосбережения и ВИЭ.

Следовательно, мониторинг энергобезопасности на основе предлагаемых индексов должен быть интегрирован в общую систему управления рисками цифровой экономики. Полученные интегральные оценки и значения частных индексов могут служить основой для разработки региональных программ цифровизации, определяя приоритеты в модернизации энергоинфраструктуры как ключевого актива для их реализации.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 24-28-20151, https://rscf.ru/project/24-28-20151/.

Литература

1. Gnansounou E. Assessing the Energy Vulnerability: Case of Industrialised Countries // Energy Policy. 2008. Vol. 36. Pp. 3734–3744.
2. Mara D., Nate S., Stavytskyy A., Kharlamova G. The Place of Energy Se-curity in the National Security Framework: An Assessment Approach // Energies. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 658.
3. Langarita R., Sánchez Chóliz J., Sarasa C., Duarte R., Jiménez S. Electricity Costs in Irrigated Agriculture: A Case Study for an Irrigation Scheme in Spain // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 68. Pp. 1009–1020.

4. Редькина Е. Р. Нехватка генерирующих мощностей в период летнего максимума нагрузок // Вестник науки. 2024. Т. 4, № 7 (76). С. 329–331.
5. Umutlu H., Terzioglu H. Reshaping Global Energy Policy Through BRICS+ and Seeking a New Equilibrium in Energy Markets // Global Dynamics of the Energy Sector. IGI Global, 2024. Pp. 217–237.
6. Henderson J. Implications of the Global Energy Transition on Russia // The Global Energy Transition. Springer, 2020. Pp. 73–89.
7. Кочкин Н. В. Строительство высоковольтных воздушных линий электропередач в различной местности // Инновационная наука. 2018. № 11. С. 23–25.
8. Горбачева Н. В., Тимофеева А. Ю. Масштаб и динамика аварий из-за непогоды на энергообъектах регионов России // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2023. Т. 23, № 3. С. 15–25.
9. Амерханов Р. А., Харченко Д. П., Квитко А. В., Таразанов В. И. Востребованность возобновляемых источников энергии // Сельский механизатор. 2023. № 11. С. 19–21.
10. International Energy Agency (IEA). Energy Security : [веб-сайт]. URL: https://www.iea.org/reports/energy-security (дата обращения: 21.08.2025).
11. World Bank Group. Energy Security Issues. URL: https://documents.worldbank.org/curated/en/464811468175435408/pdf/361100ENGLISH01gy1Security01PUBLIC1.pdf (дата обращения: 21.08.2025).
12. Указ Президента РФ от 13.05.2019 № 216 «Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2019. № 20, ст. 2421.
13. Семикашев В. В., Саенко В. В., Колпаков А. Ю. Совершенствование системы анализа энергетической безопасности России в контексте утвержде-ния новой доктрины энергетической безопасности 2019 г. // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2020. Т. 18. С. 135–156.
14. Воропай Н. И., Сендеров С. М. Энергетическая безопасность: сущность, основные проблемы, методы и результаты исследований. Москва : ИНП РАН, 2011. 90 с.
15. Борталевич С. И. Методические основы оценки энергетической безопасности регионов // Экономический анализ: теория и практика. 2012. №38. С. 33-41.
16. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Ener-gy Security and Climate Policy. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2007/03/energy-security-and-climate-policy-assessing-interactions_g1gh74b0/9789264109940-en.pdf (дата обращения: 21.08.2025).
17. Ang B.W., Choong W.L., Ng T.S. Energy security: Definitions, dimensions and indexes // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 42. P. 1077–1093.
18. Ang B.W., Goh T. A framework for evaluating Singapore's energy security // Applied Energy. 2015. Vol. 148. P. 314–325.
19. Ang B.W., Mu A.R., Zhou P. Weighting and Aggregation in Composite Indicator Construction: a Multiplicative Optimization Approach // Social Indicators Research. 2010. Vol. 96, No. 1. P. 169–181.
20. Матвеева Н. И., Зволинский В. П., Головин А. В. Состояние и тенденции развития аграрного производства сельских территорий Астраханской области // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2020. № 1 (43). С. 54–60.
21. Вартумян А. А. Влияние транспортных артерий в каспийском регионе на геополитическое положение в Астраханской области // Каспийский регион: политика, экономика, культура. 2019. № 3 (60). С. 202–207.
22. РИА Рейтинг. Рейтинг регионов по уровню энергодостаточности : [веб-сайт]. URL: https://riarating.ru/regions/20220315/630218945.html (дата обращения: 21.08.2025).
23. Семиглазова В. А., Салман О. Ф. Проекты «зеленой экономики» на Юге России: направления реализации // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2022. Т. 8, № 1. С. 40–48.
24. Меретуков З. Д. Оценка рисков стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций в агропромышленном комплексе Республики Адыгея и мероприятия по их снижению // StudNet. 2022. Т. 5, № 5. С. 5.

25. Вакарев А. А., Дугина Т. А. Современное состояние сельского хозяйства Волгоградской области // Вестник ВИЭПП. 2024. № 3. С. 59–67.
26. Холоденко А. В., Горбова П. С., Усачева И. В. Зонирование территории Волгоградской области по потенциалу ветровой и солнечной энергетики для оценки перспектив использования гибридных энергетических комплексов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2023. № 3. С. 142–150.
27. Волгоградский газовый транзит: Россия, Турция, Европа // Главпортал : [веб-сайт]. URL: https://glavportal.com/materials/volgogradskij-gazovyj-tranzit-rossiya-turciya-evropa (дата обращения: 21.08.2025).
28. Кирпичникова И. М., Махсумов И. Б., Шестакова В. В. Снижение генерации электрической энергии солнечными модулями в условиях запыленности местности // iPolytech Journal. 2023. Т. 27, № 1. С. 83–93.
29. Манджиева Д. В., Манджиев Т. Б. Факторы, влияющие на инновационное развитие сельского хозяйства Республики Калмыкия // Экономическая политика и финансовые ресурсы. 2024. Т. 3, № 2. С. 33–42.
30. Кумратова А. М., Третьякова Н. В., Ефимиади Л. К. Интегральная оценка уровня развития сельского хозяйства Краснодарского края // Современная экономика: проблемы и решения. 2024. № 4 (160). С. 47–58.
31. Оборин М. С., Сарян А. А. Проблемы развития курортов Краснодарского края в условиях геополитической нестабильности // Сервис в России и за рубежом. 2022. Т. 16, № 2. С. 144–159.
32. Меладзе В. Р. Анализ традиционной и альтернативной энергетики в Ростовской области // Современная школа России. Вопросы модернизации. 2021. № 2-2. С. 107–110.
33. Атаев Д. М. Методические аспекты оценки уязвимости экономики регионов России для внешних угроз и ограничений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2022. № 4. С. 283–294.

ENERGY SECURITY AS A BASIS FOR THE DIGITAL ECONOMY: DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE ASSESSMENT METHODOLOGY FOR THE SOUTHERN REGIONS OF RUSSIA

Kirichenko, Anna Sergeevna

PhD in technical sciences
Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Department of Electrical Engineering, Thermal Engineering and Renewable Energy Sources
Associate Professor
Krasnodar, Russian Federation
kir89ann@gmail.com, kirichenko.a@edu.kubsau.ru

Kirichenko, Evgeny Vladimirovich

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Department of State and International Law
Senior Lecturer
Krasnodar, Russian Federation
kirichenko.e@edu.kubsau.ru

Abstract

This study addresses southern Russia's energy security amid sanctions and climate challenges. Its agricultural-resort economy creates unique energy consumption patterns overlooked by federal methods. We developed a tailored methodology with seven indices, revealing critical gas dependency, infrastructure risks, and climate vulnerabilities. The toolkit enables regional energy resilience monitoring.

Keywords

adaptive management; integral index; sanctions resistance; fuel and energy complex; cross-border flows; digital economy; energy dependence; economic security; energy security

References

1. Gnansounou E. Assessing the Energy Vulnerability: Case of Industrialised Countries // Energy Policy. 2008. Vol. 36. Pp. 3734–3744.
2. Mara D., Nate S., Stavytskyy A., Kharlamova G. The Place of Energy Security in the National Security Framework: An Assessment Approach // Energies. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 658.
3. Langarita R., Sánchez Chóliz J., Sarasa C., Duarte R., Jiménez S. Electricity Costs in Irrigated Agriculture: A Case Study for an Irrigation Scheme in Spain // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 68. Pp. 1009–1020.
4. Redkina, E. R. Nekvatka generiruiushchikh moshchnostei v period letnego maksimuma nagruzok [Shortage of Generating Capacity during the Summer Peak Load Period] // Vestnik nauki. 2024. T. 4, № 7 (76). S. 329–331.
5. Umutlu H., Terzioglu H. Reshaping Global Energy Policy Through BRICS+ and Seeking a New Equilibrium in Energy Markets // Global Dynamics of the Energy Sector. IGI Global, 2024. Pp. 217–237.
6. Henderson J. Implications of the Global Energy Transition on Russia // The Global Energy Transition. Springer, 2020. Pp. 73–89.
7. Kochkin, N. V. Stroitel'stvo vysokovol'tnykh vozdushnykh linii elektroperedach v razlichnoi mestnosti [Construction of High-Voltage Overhead Power Transmission Lines in Various Terrain] // Innovatsionnaia nauka. 2018. № 11. S. 23–25.
8. Gorbacheva, N. V., Timofeeva, A. Iu. Masshtab i dinamika avarii iz-za nepogody na energoob"ektakh regionov Rossii [Scale and Dynamics of Accidents Due to Bad Weather at Energy Facilities in Russian Regions] // Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia: Energetika. 2023. T. 23, № 3. S. 15–25.

9. Amerkhanov, R. A., Kharchenko, D. P., Kvitko, A. V., Tarazanov, V. I. Vostrebovannost' vozobnovliaemykh istochnikov energii [The Demand for Renewable Energy Sources] // Sel'skii mekhanizator. 2023. № 11. S. 19–21.
10. International Energy Agency (IEA). Energy Security : [website]. URL: https://www.iea.org/reports/energy-security (accessed: 21.08.2025).
11. World Bank Group. Energy Security Issues. URL: https://documents.worldbank.org/curated/en/464811468175435408/pdf/361100ENGLISH01gy1Security01PUBLIC1.pdf (date accessed: 21.08.2025).
12. Ukaz Prezidenta RF ot 13.05.2019 № 216 "Ob utverzhdenii Doktriny energeticheskoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii" [Decree of the President of the Russian Federation dated 13.05.2019 No. 216 "On the Approval of the Doctrine of Energy Security of the Russian Federation"] // Sobranie zakonodatel'stva RF. 2019. № 20, st. 2421.
13. Semikashev, V. V., Saenko, V. V., Kolpakov, A. Iu. Sovershenstvovanie sistemy analiza energeticheskoi bezopasnosti Rossii v kontekste utverzhdeniia novoi doktriny energeticheskoi bezopasnosti 2019 g. [Improving the System of Analysis of Russia's Energy Security in the Context of the Approval of the New Energy Security Doctrine of 2019] // Nauchnye trudy: Institut narodnokhoziaistvennogo prognozirovaniia RAN. 2020. T. 18. S. 135–156.
14. Voropai, N. I., Senderov, S. M. Energeticheskaia bezopasnost': sushchnost', osnovnye problemy, metody i rezul'taty issledovanii [Energy Security: Essence, Main Problems, Methods and Research Results]. Moskva : IEF RAN, 2011. 90 s.
15. Bortalevich, S. I. Metodicheskie osnovy ocenki bezopasnosti regionov [Methodological foundations for assessing regional security // Economic energy analysis: theory and practice] Ekonomicheskij energeticheskij analiz: teoriya i praktika. 2012. №38. S. 33-41.
16. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Energy Security and Climate Policy. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2007/03/energy-security-and-climate-policy-assessing-interactions_g1gh74b0/9789264109940-en.pdf (accessed on 21.08.2025).
17. Ang B.W., Choong W.L., Ng T.S. Energy security: Definitions, dimensions and indexes // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 42. P. 1077–1093.
18. Ang B.W., Goh T. A framework for evaluating Singapore's energy security // Applied Energy. 2015. Vol. 148. P. 314–325.
19. Ang B.W., Mu A.R., Zhou P. Weighting and Aggregation in Composite Indicator Construction: a Multiplicative Optimization Approach // Social Indicators Research. 2010. Vol. 96, No. 1. P. 169–181.
20. Matveeva, N. I., Zvolinskii, V. P., Golovin, A. V. Sostoianie i tendentsii razvitiia agrarnogo proizvodstva sel'skikh territorii Astrakhanskoi oblasti [State and Development Trends of Agricultural Production in Rural Areas of the Astrakhan Region] // Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa. 2020. № 1 (43). S. 54–60.
21. Vartumian, A. A. Vliianie transportnykh arterii v kaspii skom regione na geopoliticheskoe polozhenie v Astrakhanskoi oblasti [Influence of Transport Arteries in the Caspian Region on the Geopolitical Situation in the Astrakhan Region] // Kaspiiskii region: politika, ekonomika, kul'tura. 2019. № 3 (60). S. 202–207.
22. RIA Reiting. Reiting regionov po urovniu energodostatochnosti : [veb-sait] [RIA Rating. Rating of Regions by Level of Energy Sufficiency: [website]]. URL: https://riarating.ru/regions/20220315/630218945.html (data obrashcheniia: 21.08.2025).
23. Semiglazova, V. A., Salman, O. F. Proekty "zelenoi ekonomiki" na Iuge Rossii: napravleniia realizatsii ["Green Economy" Projects in the South of Russia: Implementation Directions] // Geopolitika i ekogeodinamika regionov. 2022. T. 8, № 1. S. 40–48.
24. Meretukov, Z. D. Otsenka riskov stikhinykh bedstvii i chrezvychainykh situatsii v agropromyshlennom komplekse Respubliki Adygeia i meropriiatiia po ikh snizheniiu [Risk Assessment of Natural Disasters and Emergencies in the Agro-Industrial Complex of the Republic of Adygea and Measures to Reduce Them] // StudNet. 2022. T. 5, № 5. S. 5.
25. Vakarev, A. A., Dugina, T. A. Sovremennoe sostoianie sel'skogo khoziaistva Volgogradskoi oblasti [Current State of Agriculture in the Volgograd Region] // Vestnik VIÉPP. 2024. № 3. S. 59–67.

26. Kholodenko, A. V., Gorbova, P. S., Usacheva, I. V. Zonirovanie territorii Volgogradskoi oblasti po potentsialu vetrovoi i solnechnoi energetiki dlia otsenki perspektiv ispol'zovaniia gibridnykh energeticheskikh kompleksov [Zoning of the Volgograd Region Territory by Wind and Solar Energy Potential to Assess the Prospects for Using Hybrid Energy Complexes] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia: Geografiia. Geoekologiia. 2023. № 3. S. 142–150.
27. Volgogradskii gazovyi tranzit: Rossiia, Turtsiia, Evropa [Volgograd Gas Transit: Russia, Turkey, Europe] // Glavportal : [veb-sait]. URL: https://glavportal.com/materials/volgogradskij-gazovyj-tranzit-rossiya-turciya-evropa (data obrashcheniia: 21.08.2025).
28. Kirpichnikova, I. M., Makhsumov, I. B., Shestakova, V. V. Snizhenie generatsii elektricheskoi energii solnechnymi moduliami v usloviiakh zapylennosti mestnosti [Reduction of Electricity Generation by Solar Modules in Dusty Conditions] // iPolytech Journal. 2023. T. 27, № 1. S. 83–93.
29. Mandzhieva, D. V., Mandzhiev, T. B. Faktory, vliiaiushchie na innovatsionnoe razvitie sel'skogo khoziaistva Respubliki Kalmykiia [Factors Influencing the Innovative Development of Agriculture in the Republic of Kalmykia] // Ekonomicheskaia politika i finansovye resursy. 2024. T. 3, № 2. S. 33–42.
30. Kumratova, A. M., Tret'iakova, N. V., Efimiadi, L. K. Integral'naia otsenka urovnia razvitiia sel'skogo khoziaistva Krasnodarskogo kraia [Integral Assessment of the Level of Development of Agriculture in the Krasnodar Territory] // Sovremennaia ekonomika: problemy i resheniia. 2024. № 4 (160). S. 47–58.
31. Oborin, M. S., Sarian, A. A. Problemy razvitiia kurortov Krasnodarskogo kraia v usloviiakh geopoliticheskoi nestabil'nosti [Problems of Resort Development in the Krasnodar Territory in the Context of Geopolitical Instability] // Servis v Rossii i za rubezhom. 2022. T. 16, № 2. S. 144–159.
32. Meladze, V. R. Analiz traditsionnoi i al'ternativnoi energetiki v Rostovskoi oblasti [Analysis of Traditional and Alternative Energy in the Rostov Region] // Sovremennaia shkola Rossii. Voprosy modernizatsii. 2021. № 2-2. S. 107–110.
33. Ataev, D. M. Metodicheskie aspekty otsenki uiazvimosti ekonomiki regionov Rossii dlia vneshnikh ugroz i ogranichenii [Methodological Aspects of Assessing the Vulnerability of the Economy of Russian Regions to External Threats and Restrictions] // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Sotsial'no-ekonomicheskie nauki. 2022. № 4. S. 283–294.