



УДК 911.3:33  
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-1-49-61

## Морфологическая надежность энергетического пространства Дагестана

**Атаев З.А.**

Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина,  
Россия, 390000, г. Рязань, ул. Свободы, 46  
E-mail: ataev-rzn@yandex.ru

**Аннотация.** Техничко-экономические подходы слабо учитывают роль морфологии в организации сложных систем. Цель работы – графическая оценка надежности энергетического пространства Дагестана. Она проведена на основе положений теории графов и метода топологического расчленения сети. Качественная форма оценки варьирует в диапазоне: от «очень высокая уязвимость энергосистемы» до «очень низкая». Разработан модельный вариант оптимизации энергетического пространства республики (разномасштабные системы). Вертикаль пространства формируется за счет ликвидации топологических дефектов питающей сети (централизация). По горизонтали востребовано развитие локальных систем, ориентированных на возобновляемые источники энергии (децентрализация). Такая стратегия особенно актуальна в высокогорном и степном Дагестане (очаговое расселение). Это один из путей укрепления надежности энергоснабжения республики.

**Ключевые слова:** энергетическое пространство, надежность электроснабжения, топология энергосистемы, циклические и ациклические сети, централизованное и децентрализованное электроснабжение

**Для цитирования:** Атаев З.А. 2023. Морфологическая надежность энергетического пространства Дагестана. Региональные геосистемы, 47(1): 49–61. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-1-49-61

---

## Morphological Reliability of Dagestan's Energy Space

**Zairbeg A. Ataev**

Ryazan State University named after S.A. Yesenin,  
46 Svobody St, Ryazan 390000, Russia  
E-mail: ataev-rzn@yandex.ru

**Abstract.** The article is devoted to a graphical assessment of the reliability of the energy space of the Republic of Dagestan. The study is based on factual material. The elements of system analysis, the method of topomorphological dismemberment of transport networks are used. A qualitative assessment of the reliability of the energy space of the Republic of Dagestan revealed a gradation of the assessment in a wide range: from "very high vulnerability of the energy system" to "very low vulnerability". A model variant of optimization of the regional energy space based on two key mechanisms is proposed. Elimination of topological defects of the power supply network and comprehensive development of local (decentralized) power systems. The approach makes it possible to involve rich resources of renewable energy sources in the overall energy balance. Thus, the idea of spatial organization of multi-scale power systems is revived. In the old-developed zones, the emphasis is on the development of centralized power supply. In mountainous and steppe Dagestan with focal settlement, the development of local decentralized systems is relevant. As a result, it is possible to strengthen the reliability of energy supply to the Republic of Dagestan.

**Keywords:** energy space, reliability of power supply, topology of the power system, cyclic and acyclic networks, centralized and decentralized power supply

**For citation:** Ataev Z.A. 2023. Morphological Reliability of Dagestan's Energy Space. Regional Geosystems, 47(1): 49–61. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-1-49-61

---

## Введение

Надежность энергосистем – это способность объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях [Надежность систем ..., 2007]. Это важный фактор развития любой страны (региона), определяющий постоянную актуальность проблемы надежности электроснабжения. В Единой энергосистеме СССР проблема решалась за счет опережающего обеспечения топливом, резервирования генерации и сети [Мелентьев, 1982]. Такой механизм не применим в условиях рынка. Но надежность электроснабжения зависит и от конфигурации систем [Воропай и др., 2013]. Морфологическая оптимизация – простой и не затратный путь укрепления устойчивости.

Это ситуация, когда на новом «витке» истории реанимируются «старые» проблемы. План ГОЭЛРО базировался на концепции развития разномасштабных энергосистем [План электрификации..., 1955]. Тогда был востребован синтез технико-экономических подходов и конструктивной географии. Эта идея легла в основу работы: территория не только субстрат проблемы, но и поиск ее решения по пути пространственного моделирования. Географический характер темы вытекает из сущности энергетического пространства: морфологические, структурные, функциональные особенности и свойства энергосистемы, формирующие (наряду с другими звеньями инфраструктуры, расселения, частично производства) каркас социально-экономических систем [Атаев, 2008]. Особенно специфичны энергосистемы горных регионов, что определило выбор объекта исследования – энергетическое пространство Республики Дагестан.

Исследования электроэнергетики Дагестана представлены широко, доминируют обзоры с акцентом на отдельные аспекты региональной энергосистемы (технология, экономика, ресурсы) [Гитинасулов, 2011; Электроэнергетика Северного Кавказа..., 2013; Эскандеров, Гаджиев, 2014; Эфендиева, 2015; Айдаева и др., 2016; Раджабова, Исмаилова, 2017]. Практически везде большое внимание уделяется развитию возобновляемой энергетики, что нашло отражение в тематических публикациях [Магомедов, 2010; Алибеков и др., 2020]. Из обзора работ вытекает, что энергосистема – это сфера интересов экономистов и энергетиков. Территориальный аспект проблемы надежности энергосистемы не нашел своего отражения. Отсюда цель представленной работы: графическая оценка надежности энергетического пространства Республики Дагестан.

## Объекты и методы исследования

В работе ставка делается на фактический материал. В силу высокой динамики статистики, многообразия ее интерпретации, данные приведены по состоянию на 1 января 2022 года [Схема и программа перспективного развития..., 2022]. Широко использован системный подход, метод топоморфологического расчленения и геосетевого анализа. Графическая оценка надежности электроснабжения базируется на математической теории графов О. Оре [1980]. Научные положения теории адаптированы к управлению энергосистемами [Ильинский, Цаценкин, 1968; Мелентьев, 1982; Совалов, Семенов, 1988].

В энергосистеме по признаку «есть – нет» можно выделить два ареала (ареализация) [Алаев, 1983]: централизованного и децентрализованного электроснабжения. Зона централизации подразумевает обеспечение потребителей электроэнергией от энергосистем [ГОСТ. Р 57114-2016]. Структурно в зоне централизации выделяют два основных элемента сети: цикл и ветвь-дерево (рис. 1).

Свойства сетевых элементов значимы. В цикле разрыв сетевого ребра (сбой) можно компенсировать запиткой по другому ребру (циклические сети, надежность). Разрыв сети «ветвь-дерево» обесточивает потребителей (ациклические сети, уязвимость). Отсюда в зоне централизации можно выделить две подзоны: циклической и ациклической сети.

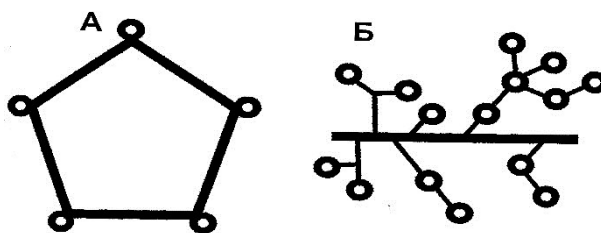


Рис. 1. Структурные элементы энергетического пространства [Атаев, 2008]  
А – цикл (замкнутый контур, циклические сети); Б – ветвь-дерево (ациклические сети)  
Fig. 1. Structural elements of the energy space [Ataev, 2008]  
А – cycle (closed loop, cyclic networks); Б – branch-tree (acyclic networks)

Циклы формируют сложные образования (остов, ярус). Главный остов выявлен круговым обходом вдоль внешней периферии циклов, имеющих хотя бы одну общую вершину или ребро с внешней границей региона [Тархов, 2005]. Надежность оценивается морфологическим типом управления (табл. 1). Градация оценки варьирует от «очень высокая уязвимость энергосистемы» (А) до «очень низкая уязвимость» (Г).

Таблица 1  
Table 1

Графы, отражающие типы и свойства управляющей структуры энергосистемы (градация графической оценки надежности энергосистемы) [Ильинский, Цаценкин, 1968]  
Graphs reflecting the types and properties of the control structure of the power system (gradation of the graphical assessment of the reliability of the power system) [Ilyinsky, Tsatsenkin, 1968]

	<p><b>А – строго централизованный тип.</b> Очень низкие технологические возможности для поэтапного ввода сегментов энергосистемы в эксплуатацию в случае аварий (сбоя). Очень высокая уязвимость энергосистемы и потребителей в зоне обслуживания в случае аварий (сбоя).</p>
	<p><b>Б – централизованный тип.</b> Низкие технологические возможности для поэтапного ввода сегментов энергосистемы в эксплуатацию в случае аварий (сбоя). Высокая уязвимость энергосистемы и потребителей в случае аварий.</p>
	<p><b>В – иерархический тип.</b> Низкие технологические возможности для поэтапного ввода сегментов энергосистемы в эксплуатацию в случае аварий (сбоя). Низкая уязвимость энергосистемы и потребителей в случае аварий.</p>
	<p><b>Г – смешанный тип.</b> Очень высокие технологические возможности для поэтапного ввода сегментов системы в эксплуатацию в случае аварий (сбоя). Очень низкая уязвимость энергосистемы и потребителей в зоне обслуживания в случае аварий.</p>

Пунсон «вершина» сети представлена энергоузлом в составе электростанция/подстанция. Ребро электросети (транспортный перегон) представлен ЛЭП между энергоузлами.

### Результаты и их обсуждение

Республика Дагестан – самый южный субъект Российской Федерации (50,3 тыс. км<sup>2</sup>), занимает выгодное географическое положение с широким выходом к Каспийскому морю (рис. 2А). Соседи первого порядка – Республика Калмыкия, Чеченская Республика, Ставропольский край. Регион по суше и морю граничит с пятью государствами (Азербайджан, Грузия, Казахстан, Туркменистан, Иран).

По рельефу Дагестан делят на две части: горы (56 % площади) и равнины (44 %). Официально закреплено четырехзвенное зонирование: равнинный, предгорный, горный и высокогорный Дагестан [Об утверждении зональной ..., 2019]. Последний вариант принят базовым и в настоящей работе (рис. 2Б).

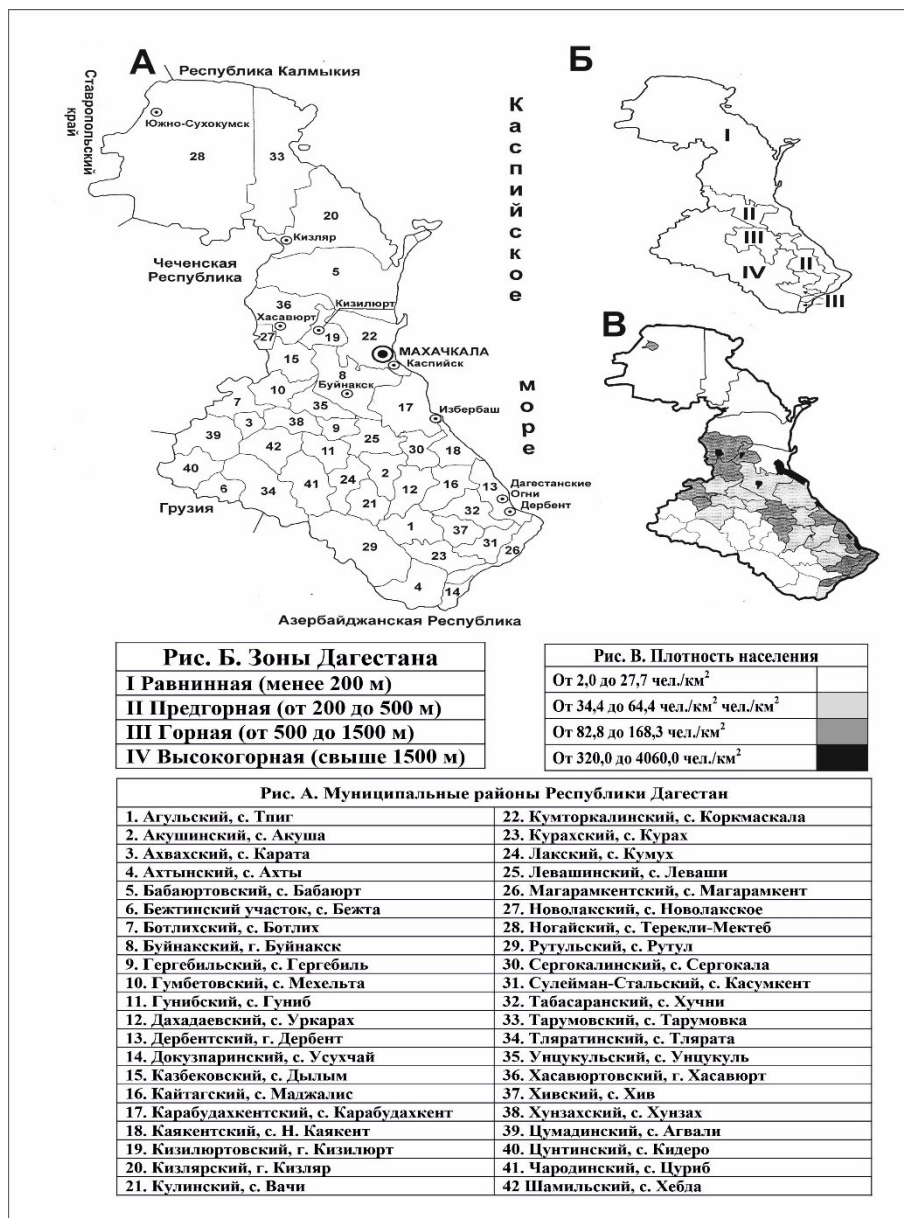


Рис. 2. Административное деление, плотность населения и зоны Дагестана:

А – Административно-территориальное деление (1.01.2022 г.);

Б – Зональная классификация районов и городов;

В – Плотность населения по районам и городам

Fig. 2. Administrative division, population density and zones of Dagestan:

A – Administrative-territorial division (1.01.2022);

B – Zonal classification of districts and cities;

V – Population density by districts and cities

Главными природными факторами размещения и эволюции населения Дагестана являются рельеф и речная система [Эльдаров, 2008]. Относительно плотно заселена приморская и предгорная зоны (рис. 2В). Степной север и высокогорье на юге заселены незначительно (от 2,0 до 28 чел. км<sup>2</sup>). Регион включает 10 городских округов, 41 муниципальный район (плюс 1 участок). На 1 января 2022 г. численность населения составила 3155,3 тыс. человек (плотность 62,7 чел. км<sup>2</sup>). Характерен стабильный рост населения (0,76 % в год), более 50 % людей проживает в сельских поселениях [Территориальный орган..., 2022]. Наиболее развитыми направлениями промышленности выступают машиностроение, производство строительных материалов и электроэнергетика.

**Общий обзор электроэнергетики Дагестана.** На 1 января 2022 г. в регионе насчитывалось 19 электростанций, суммарной мощностью 1905,13 МВт (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2  
Table 2

Электростанции, баланс и структура потребления электроэнергии Дагестана (2021 г.)  
Power plants, balance and structure of electricity consumption in Dagestan (2021)

Электростанция	Установленная мощность, МВт	Выработка электроэнергии, млн кВт·ч	
<b>ПАО «РусГидро» – Дагестанский филиал</b>			
1. Чиркейская ГЭС (1976)	1000,00	2041,84	
2. Ирганайская ГЭС (2001)	400,00	1277,71	
3. Миатлинская ГЭС (1986)	220,00	632,83	
4. Гоцатлинская ГЭС	100,00	322,23	
5. Чирюртовский каскад (1961)	81,00	304,87	
ГЭС-1	72,00		
ГЭС-2	9,00		
6. Гельбахская ГЭС (2007)	44,00	96,52	
7. Гергебильская ГЭС (1938)	17,80	57,38	
8. Гунибская ГЭС (2004)	15,00	56,69	
9. Малые ГЭС (7 МГЭС):	7,73	1,81	
Итого по ПАО «РусГидро»	16612,00		
<b>ООО Дагестанэнерго</b>			
Махачкалинская ТЭЦ	18,00	53,53	
<b>ООО Энергострой ЛТД»</b>			
Бавтугайская ГЭС (2000)	0,60	н/д	
<b>ООО МЭК-Инжиниринг</b>			
Каспийская СЭС	1,00	1,01	
Итого по энергосистеме	1905,13	4846,40	
<b>Сетевое хозяйство региональной энергосистемы</b>			
Класс напряжения, кВ	Число подстанций (ПС) ед.	Установленная мощность ПС, МВА	Длина ЛЭП, км
330	4	1686,30	1184,92
110	100	2426,80	2578,53
35	121	410,10	2422,96
Итого по энергосистеме	225	4523,20	6186,41
<b>Электрический баланс Республики Дагестан, млн кВт·ч</b>			
Параметры		млн кВт·ч	в %
Внутреннее электропотребление		7708,40	100,00
Суммарная выработка энергосистемы		4846,40	62,87
Дефицит электрической энергии		2862,00	37,12
<b>Структура электропотребления Республики Дагестан (%)</b>			
Городское и сельское население			43,30
Потери в электрических сетях			42,00
Другие виды экономической деятельности			6,90
Промышленное производство			4,20
Торговля оптовая и розничная; ремонт автосредств и мотоциклов			1,50
Сельское хозяйство, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводств			0,50

Примечание: ГЭС – гидроэлектростанция; ТЭЦ – теплоэлектростанция; СЭС – солнечная электростанция. В таблице использована информация: [Единая национальная..., 2020; Подстанции..., 2022; Схема ЛЭП..., 2022; Схема и программа..., 2022].



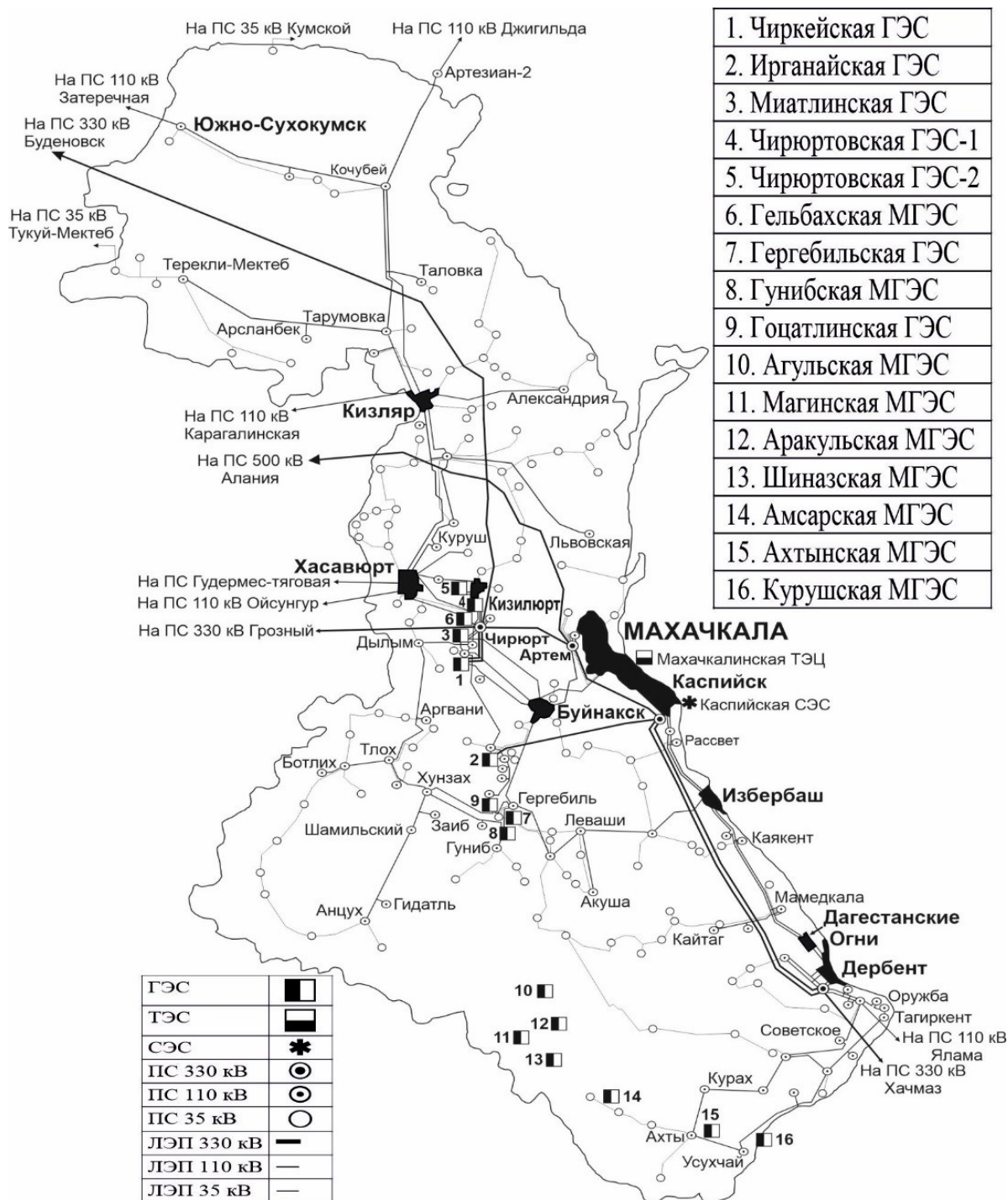


Рис. 3. Энергосистема Республики Дагестан  
 Fig. 3. The power system of the Republic of Dagestan

Примечание: на картосхеме не нанесены подстанции в границах городских образований.

На долю 16 ГЭС приходится почти 99 % мощности и объема производства. Это определяет специфику энергосистемы: независимость от поставщиков ископаемого топлива и сильная зависимость от сезонной водности рек. Отсюда избыточность производства летом и сильный дефицит зимой. В регионе также функционирует Махачкалинская ТЭЦ и Каспийская солнечная электростанция, их значимость не выражена (чуть более 1 %).

Сетевое хозяйство разнообразно. Системообразующие сети напряжением 330 кВ обеспечивают связь с ЕЭС России, соседними регионами (Северная Осетия, Чеченская Республика) и Азербайджаном. Связь с Республикой Калмыкия реализована питающей сетью 110 кВ. Сети питающего класса (35–110 кВ) – основа подпитки распределительной сети. Этот класс в силу их многочисленности в работе не рассматривается (0,4–0,6–10 кВ).

За 2021 год выработка электроэнергии в Дагестане составила 4846,41 млн кВт·ч, внутреннее потребление – 7708,4 млн кВт·ч, дефицит – 2862,0 млн кВт·ч (37 % от потребности). С учетом роста населения дефицит будет усиливаться, что покроеется за счет поставок из объединенной энергосистемы Юга (Ростовская область, Ставропольский край). Но после вывода в 2024 году из эксплуатации мощной Новочеркасской ГРЭС, ОЭС Юга также станет дефицитной [Системный оператор ..., 2022].

Для региона демонстративен анализ структуры потребления электроэнергии. Нужды промышленности минимальны (4 %), очень высоки потребности жителей (42,3 %). При этом потребление на душу населения низкое (1550 кВт ч/год). Технические потери в сетях достигают 42 % (физический износ). В сумме на непроизводственную сферу и сетевые потери приходится 93,6 % потребления электроэнергии.

Таким образом, в Дагестане востребовано сооружение новых электростанций и масштабная модернизация электросети (износ до 80 % потенциала). Такие меры зависимы от масштабных капиталовложений и недостижимы до 2035 года [Генеральная схема..., 2023]. Энергосистема Дагестана внесена в перечень критических в составе Единой энергосистемы России (высоки риски системных сбоев) [Об утверждении перечня..., 2017]. Отсюда предложение использования потенциала конструктивной географии.

**Топоморфологическое расчленение питающей электросети Дагестана.** Геосетевой анализ свидетельствует о наличии крупных ареалов децентрализованного электроснабжения (север и юг). В зоне централизации нет автономных компонентов электрической сети (рис. 4).

Главный остов циклической сети – это территория наибольшего освоения региона (сгущение циклов – вектор «сжатия пространства»). Здесь сконцентрирована основная часть населения, транспортного и экономического потенциала региона.

Всего в границах главного остова выделено 49 циклов (рис. 4 А). Остов структурно включает два топологических яруса (рис. 4Б): первый циклы № 1–27, второй – 22 цикла (№ 28–49). Вторым ярусом включает и городские образования с 27 подстанциями (35–110 кВ): Хасавюрт (цикл 28), Кизилюрт (29), Махачкала – Каспийск (31, 32), Избербаш (34), Дагестанские Огни (40), Дербент (41) и Буйнакс (цикл 46). Сетевой цикл с самым большим номером занимает центр (цикл 49). Это фокус генерации (Чиркейская и Миатлинская ГЭС) и три подстанции 330 кВ (ПС Чиркейская ГЭС, Чирюрт, Артем).

Надежность циклической питающей сети можно оценить морфологическим типом управляющей структуры (см. табл. 1). В остове доминирует смешанный тип управления: очень низкая уязвимость энергосистемы и потребителей в зоне обслуживания в случае аварий и сбоев. Тип доминирует во втором ярусе. В первом фиксируются топологические дефекты: отсутствие в сети важных структурных элементов и компонентов, без которых уровень сложности сети понижен, или такие нарушения элементов (компонентов) сети, которые снижают уровень ее надежности [Тархов, 2005].

В Дагестане фиксируется дефект суперцикла на периферии освоенных территорий (№ 14; 15; 18; 20; 23). В основе суперцикла протяженные сети в одноцепном исполнении (35 кВ). Разрыв любого элемента такой цепи полностью обесточивает потребителей. Так, в цикле 20 функционирует самый протяженный горный сетевой участок (142 км). Для ликвидации топологического дефекта целесообразно дробить суперцикл (нарастить питающую электросеть, использовать внутренние дендриты).

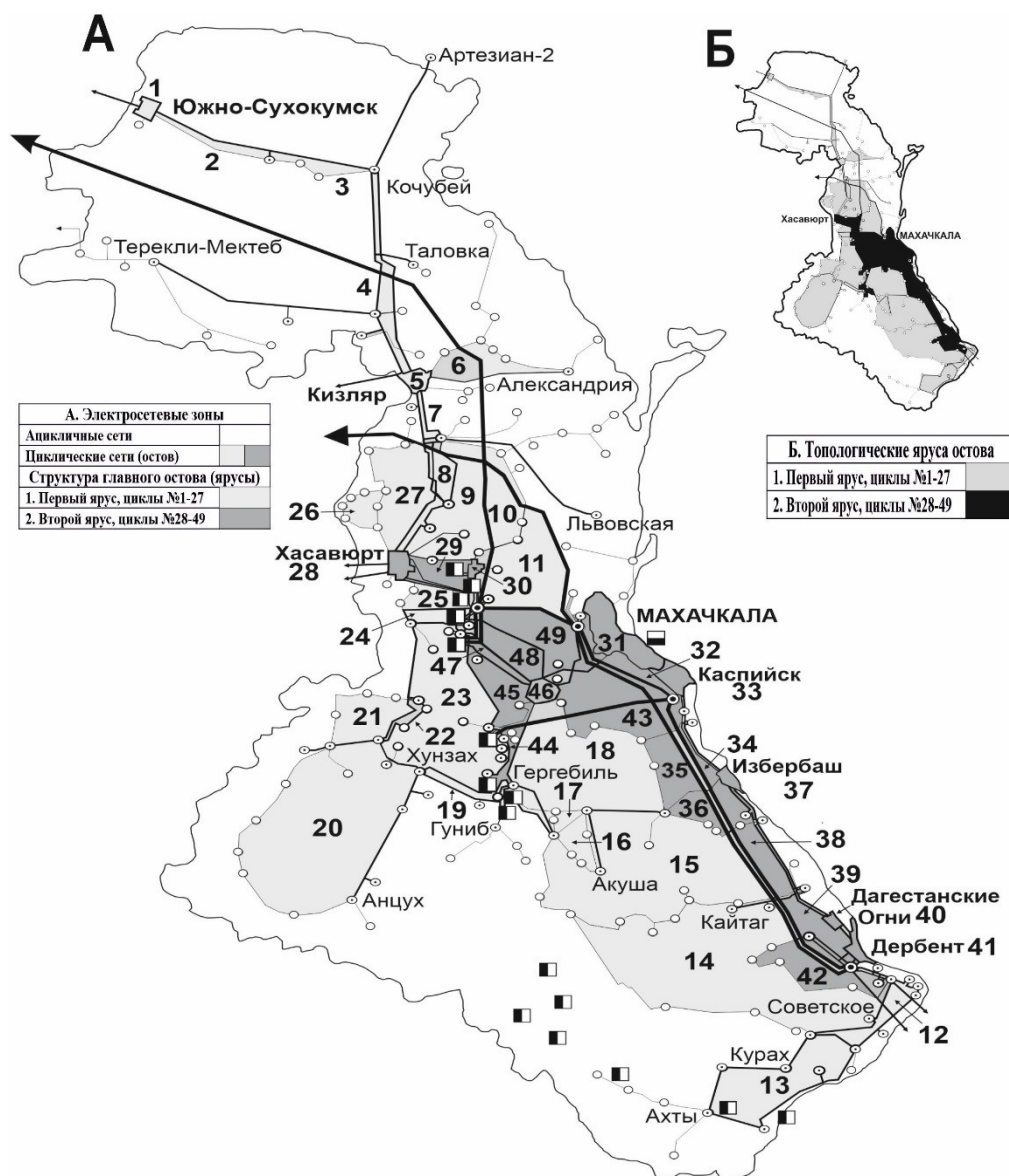


Рис. 4. Топологическое расчленение энергосистемы Республики Дагестан  
Fig. 4. Topological dismemberment of the power system of the Republic of Dagestan

Дефектом является и изрезанность формы острова с далеко выходящими наружу циклами (№ 1–6; 13; 20), что нарушает монолитность яруса. В качестве мер нейтрализации дефекта необходимо округлить форму, заполнив клинья и, соответственно, формируя новые циклы, что также требует наращивания питающей сети.

Топологические дефекты присущи и ациклическим сетям. Дефект предцикла (незамкнутый цикл) характерен для внешних дендритов (север и юг энергосистемы) и для внутренних дендритов (в цикле 15, 20, 29). Способ ликвидации – замыкание в полный цикл.

Таким образом, для ликвидации дефектов необходимо наращивание сети. Но объемы не столь масштабны и затратны сравнительно с ростом надежности энергоснабжения. Логичен и учет взаимосвязанной ликвидации дефектов в циклах и дендритах. В ходе трассирования сетевого маршрута необходимо онлайн-сопровождение по спутниковой карте, что позволяет учесть лимитирующие факторы местности. На юге Дагестана это орографические барьеры (высокогорье) и очаговость расселения, а на севере – экономическая целесообразность в условиях крайне низкой плотности населения.



Модельный вариант пространственной оптимизации энергосистемы представляет собой результат ликвидации топологических дефектов сети и разномасштабной организации энергетического пространства (рис. 5А). В ходе ликвидации топологических дефектов возрастает число циклов, меняется их нумерация (всего 77 циклов). В результате расширяется зона циклических сетей, а конфигурация второго яруса прямо соответствует дифференциации региона по плотности населения (см. рис. 1В–5В).

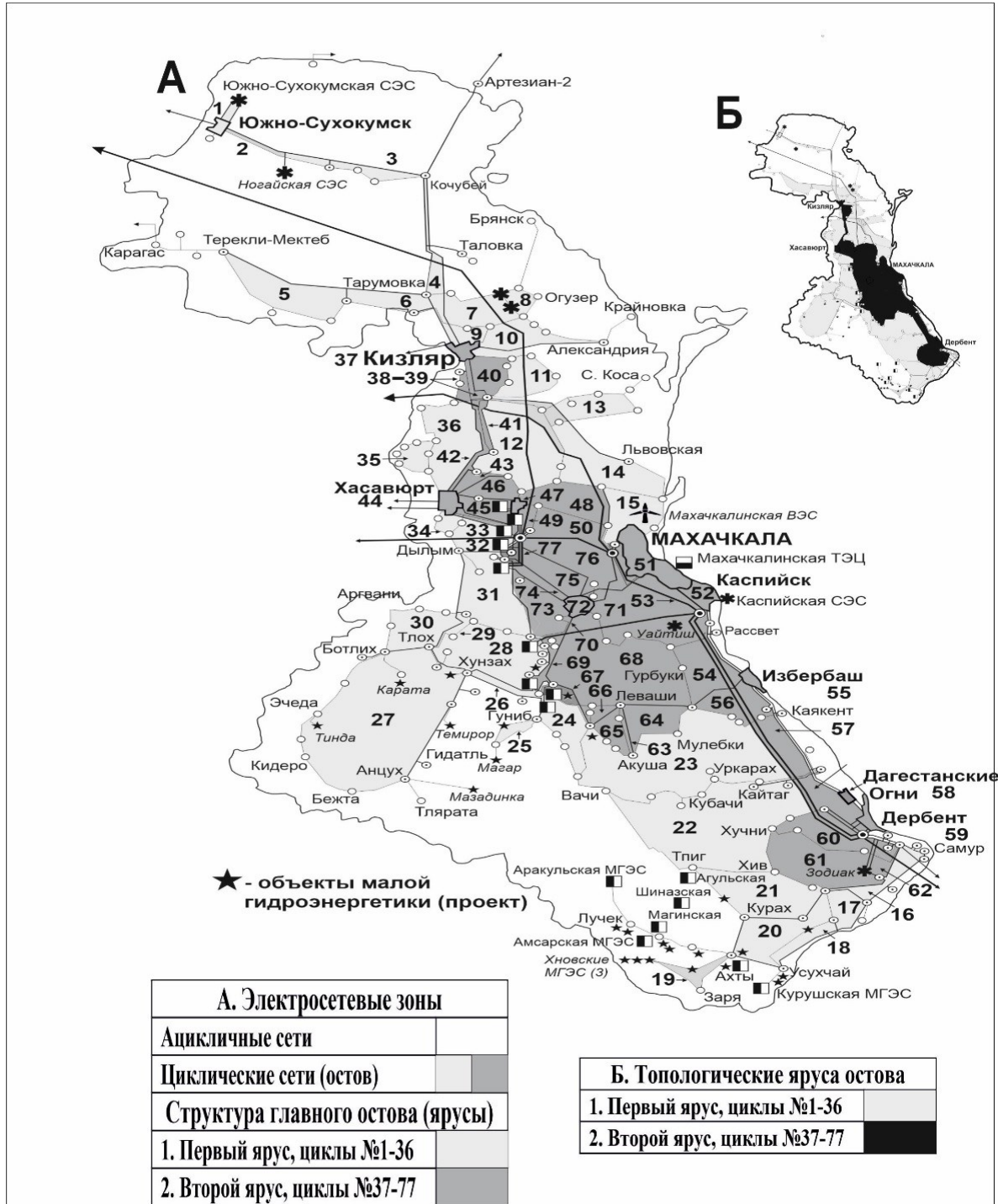


Рис. 5. Модель энергетического пространства Республики Дагестан  
Fig. 5. The model of the energy space of the Republic of Dagestan

Примечание: перспективные проекты строительства объектов малой энергетики на основе возобновляемых источников энергии отобраны по тематическому обзору интернет-сайтов.



Проблемными остаются север и юг Дагестана, где по объективным причинам лимитировано развитие централизованной сети. Однако реально взаимное дополнение вертикали централизованной энергосистемы горизонтальной интеграцией локальных энергосистем (рис. 5А). В результате энергосистема дополняется объектами малой генерации со своей распределительной сетью, замыкающими локальную зону электроснабжения (цикл, село, хутор). Расстояние сети от генератора до потребителя минимально. В качестве генерирующей основы таких систем особые надежды в Дагестане возлагаются на развитие возобновляемой энергетики.

В Дагестане экономический потенциал гидравлической энергии для развития малой гидроэнергетики составляет 16 млрд кВт·ч/год (освоено 10–15 %), ветроэнергетический потенциал – 60 млрд кВт·ч/год. Однако реальная доля ветроэнергетических ресурсов имеет ограничения (технологические, экологические, инфраструктурные) и оценена ниже – 1 млрд кВт·ч/год. Фиксируется благоприятное сочетание локализации ресурса вдоль побережья Каспийского моря (плотно заселенная зона) и смещения скоростного режима на зимний сезон (рост бытовой нагрузки). Показатели инсоляции составляют 1670 млрд кВт·ч/м<sup>2</sup>. Разведанные запасы теплоэнергетических вод – 86,2 тыс. м<sup>3</sup>/сутки (освоено 15–18 %) [Алибеков и др., 2020].

Таким образом, только по двум видам ресурсов ВИЭ (ветро-, гидро-) экономически эффективный потенциал в регионе достигает 17 млрд кВт·ч/год, что в два раза выше потребности региона (см. табл. 2). Следовательно, реализация программы масштабного вовлечения в энергобаланс ресурсов возобновляемых источников позволяет существенно повысить устойчивость и надежность энергоснабжения Дагестана.

В итоге вертикаль энергетического пространства Дагестана формируется за счет расширения циклического остова питающей сети. Горизонтальный уровень пространства формируют системы локального значения, ориентированные на энергоносители разной природы и связанные с главным остовом распределительной сетью. Сейчас такие локальные образования все чаще называют энергосистемой с распределенной генерацией.

Одновременно из анализа новой морфологии питающей сети вытекает вывод о формировании новых топологических дефектов (см. рис. 5А). Топология электросети как живой организм, ему присущи пульсации с разным знаком эволюции: упрощение или усложнение структуры. В нашем случае произошло усложнение энергосистемы и рецидив топологических дефектов. Процесс неизбежен в ходе всей эволюции энергосистемы, где можно выделить два этапа пространственной эволюции.

Первый этап – эволюция «вширь» по горизонтали энергетического пространства (до региональных границ). Рассмотренный модельный вариант относится к этапу незавершенной эволюции питающей сети. Последующая пространственная эволюция ориентирована «вглубь» по вертикали вплоть до локального масштаба (цикл, село, хутор и т. д.). Поэтому здесь очевиден большой потенциал для научного поиска и перспективного моделирования. Как известно, идеальной не бывает ни одна сложная система.

### Заключение

Региональная энергосистема характеризуется рядом проблем: износ сети, нарастающий дефицит мощности при одновременном росте населения и, как следствие, обострение проблемы надежности электроснабжения. Пространственная оптимизация – более простой и менее затратный путь нейтрализации проблемы.

Проведено топоморфологическое расчленение питающей электросети. Выделен и структурирован циклический остов, где доминирует смешанный тип управления: очень низкая уязвимость энергосистемы и потребителей. Однако выявлены топологические дефекты, снижающие уровень надежности электроснабжения.

Разработана модель пространственной оптимизации энергосистемы за счет ликвидации топологических дефектов. В результате зона цикличной сети соответствует региональной дифференциации по плотности населения.

Проблемными остаются север и юг Дагестана, где лимитировано развитие централизованной питающей электросети. Целесообразно дополнение вертикали централизованной энергосистемы – горизонтальной интеграцией локальных систем (разномасштабные энергосистемы). В результате энергосистема дополняется объектами малой генерации со своей распределительной сетью, замыкающими локальный масштаб территории (цикл, село, хутор). Основой таких систем являются объекты малой энергетики на основе ресурсов возобновляемых источников энергии.

В заключение показано, что потенциал конструктивной географии позволяет реагировать на изменения энергетического пространства на всех уровнях масштаба (локальный – региональный) и, как следствие, укрепляет надежность электроснабжения.

### Список источников

- Алаев Э.Б. 1983. Социально-экономическая география: Понятийно-терминологический словарь. М., Мысль, 290 с.
- Алибеков А., Ильясов Р., Магомедов И., Абдулагаев А., Патахов Ш. 2020. План развития ВИЭ в Республике Дагестан на 2020–2025 годы. Махачкала, Корпорация развития Дагестана, 35 с.
- Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года. Электронный ресурс. URL: <https://statik.govtrentment.ru/media/...files/...pdf> (дата обращения: 02.01.2023).
- ГОСТ Р 57114-2016. Национальный стандарт Российской Федерации «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы». Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.rudocument/1200139922...> (дата обращения 13.12.2022).
- Единая национальная электрическая сеть. 2020. Часть I. Распределительные устройства электрических станций и подстанций ЕЭС России. Справочник. Екатеринбург, Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина», Уральский энергетический институт, 94 с.
- Мелентьев Л.А. 1982. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. 2-изд. М., Высшая школа, 319 с.
- Об утверждении зональной классификации муниципальных районов и городских округов Республики Дагестан: Постановление Правительства Республики Дагестан от 19 марта 2019 г. № 48. г. Махачкала. Электронный ресурс. URL: <https://publication.pravo.ru..File...0500201903130002...> (дата обращения: 22.12.2022).
- Об утверждении перечня энергосистем и энергорайонов, характеризующихся режимом с высокими рисками нарушения электроснабжения в 2017–2022 годах, и перечня мероприятий по снижению рисков нарушения электроснабжения в таких энергосистемах и энергорайонах: Приказ Министерства энергетики РФ от 28 ноября 2017 г. № 1125. Электронный ресурс. URL: <https://garant.ru>Прайм>Документы ленты ПРАЙМ> (дата обращения: 21.12.2022).
- План электрификации России (ГОЭЛРО). 1955. 2-е изд. М., Госполитиздат, 634 с.
- Подстанции АО «Дагестанская сетевая компания». Электронный ресурс. URL: <https://www.energybase.ru> АО «Дагестанская сетевая компания». Подстанции (дата обращения 24.12.2022).
- Схема ЛЭП и электроснабжения России (актуальность данных на январь 2022 года). Электронный ресурс. URL: <https://www.freosm.ru> (дата обращения 25.12.2022).
- Схема и программа развития Единой энергосистемы России на 2019–2025 годы: Приказ Минэнерго России от 28 февраля 2019 г. № 174. Электронный ресурс. URL: <http://minenergo.gov.ru>node/14828files.stroyinf.ru>Техническая документация> (дата обращения 09.12.2022).
- Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Республики Дагестан на период 2023–2027 годы. Электронный ресурс. URL: <http://www.minenergord.ru> (дата обращения 17.12.2022).
- Системный оператор ЕЭС России (СО ЕЭС России). Единая энергетическая система России. Электронный ресурс. URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/ees/ups2021/> (дата обращения 30.12.2022).



Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Дагестан (Дагстат): Численность населения Республики Дагестан в разрезе городов и районов на 1 января 2022 года. Электронный ресурс. URL: <http://www.dagstat.gks.ru/naselenie> (дата обращения 20.07.2022).

Электроэнергетика Северного Кавказа: проблемы и возможные решения. Аналитический доклад. 2013. М., ОНД национальной энергетической безопасности, 114 с.

### Список литературы

- Айдаева С.А., Рамазанова К.А., Рамазанова К.М. 2016. Состояние и перспективы развития топливно-энергетического комплекса Республики Дагестан. В кн.: Проблемы теории и практики управления развитием социально-экономических систем. Сборник трудов научно-практической конференции. Махачкала, 23–27 ноября 2016. Махачкала, Формат: 11–13.
- Атаев З.А. 2008. Географические основы локальной энергетики Центрального экономического района России. Рязань, Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина, 284 с.
- Воропай Н.И., Ковалев Г.Ф., Кучеров Ю.Н. 2013. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. М., Энергия, 304 с.
- Гитинасулов М.М. 2011. Современное состояние и перспективы развития энергетического сектора в Республике Дагестан. Региональная экономика: теория и практика, 5(188): 52–56.
- Ильинский Н.Ф., Цаценкин В.К. 1968. Приложение теории графов к задачам электромеханики. М., Энергия, 200 с.
- Магомедов Н.А. 2010. Концепция развития возобновляемой энергетики республики Дагестан как составная часть инновационной экономической политики. Региональная экономика: теория и практика, 38(173): 20–25.
- Оре О. 1980. Теория графов. М., Наука, 336 с.
- Раджабова З.К., Исмаилова П.И. 2017. Современные проблемы развития электроэнергетики в условиях региона на примере Республики Дагестан. Фундаментальные исследования, 3: 195–199.
- Совалов С.А., Семенов В.А. 1988. Противоаварийное управление в энергосистемах. М., Энергоатомиздат, 416 с.
- Тархов С.А. 2005. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск, Универсум, 382 с.
- Надежность систем энергетики. 2007. М., Энергия, 192 с.
- Эльдаров Э.М. 2008. Дагестан: факторы развития сельской системы расселения в постсоветский период. Кавказ и глобализация, 1: 105–115.
- Эскандеров А.Г., Гаджиев Г.Г. 2014. Энергетический комплекс Республики Дагестан: состояние, проблемы, потенциал. В кн.: Актуальные вопросы экономики и современного менеджмента. Сборник научных трудов по итогам межвузовской научно-практической конференции. Самара, 7 апреля 2014. Самара, ИЦРОН: 57–59.
- Эфендиева Ш.Т. 2015. Состояние электроэнергетики Республики Дагестан на современном этапе. В кн.: Актуальные вопросы и перспективы развития математических и естественных наук. Сборник трудов научно-практической конференции. Омск, 07 мая 2015. Омск, Инновационный центр образования: 84–86.

### References

- Aidaeva S.A., Ramazanova K.A., Ramazanova K.M. 2016. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya toplivno-energeticheskogo kompleksa Respubliki Dagestan [The State and Prospects of Development of the Fuel and Energy Complex of the Republic of Dagestan]. In Problemy teorii i praktiki upravleniya razvitiyem sotsialno-ekonomicheskikh sistem [Problems of Theory and Practice of Management of the Development of Socio-Economic Systems]. Proceedings of the scientific and practical conference. Makhachkala, 23–27 November 2016. Makhachkala, Publ. Format: 11–13.
- Ataev Z.A. 2008. Geograficheskiye osnovy lokalnoy energetiki Tsentralnogo ekonomicheskogo rayona Rossii [Geographical Foundations of Local Energy of the Central Economic Region of Russia]. Ryazan, Publ. Ryazanskiy gosudarstvennyy universitet im. S.A. Esenina, 284 p.
- Voropai N.I., Kovalev G.F., Kucherov Yu.N. 2013. Kontseptsiya obespecheniya nadezhnosti v elektroenergetike [The Concept of Ensuring Reliability in the Electric Power Industry]. Moscow, Publ. Energia, 304 p.

- Gitinasulov M.M. 2011. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya energeticheskogo sektora v Respublike Dagestan [The Current State and Prospects of Development of the Energy Sector in the Republic of Dagestan]. *Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika*, 5(188): 52–56.
- Ilyinsky N.F., Tsatsenkin V.K. 1968. Prilozheniye teorii grafov k zadacham elektromekhaniki [Application of Graph Theory to Problems of Electromechanics]. Moscow, Publ. Energiya, 200 p.
- Magomedov N.A. 2010. Kontseptsiya razvitiya vozobnovlyayemoy energetiki respubliky Dagestan kak sostavnaya chast innovatsionnoy ekonomicheskoy politiki [The Concept of Renewable Energy Development of the Republic of Dagestan as an Integral Part of Innovative Economic Policy]. *Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika*, 38(173): 20–25.
- Ore O. 1980. Teoriya grafov [Graph Theory]. Moscow, Publ. Nauka, 336 p.
- Radzhabova Z.K., Ismailova P.I. 2017. Modern Problems of Power in the Region. *Fundamental research*, 3: 195–199 (in Russian).
- Sovalov S.A., Semenov V.A. 1988. Protivoavariynoye upravleniye v energosistemakh [Emergency Management in Power Systems]. Moscow, Publ. Energoatomizdat, 416 p.
- Tarkhov S.A. 2005. Evolyutsionnaya morfologiya transportnykh setey [Evolutionary Morphology of Transport Networks]. Smolensk, Publ. Universum, 382 p.
- Nadezhnost sistem energetiki [Reliability of Energy Systems]. 2007. Moscow, Publ. Energiya, 192 p.
- Eldarov E.M. 2008. Dagestan: faktory razvitiya selskoy sistemy rasseleniya v postsovetskiy period [Dagestan: Factors of Development of the Rural Settlement System in the Post-Soviet Period]. *Kavkaz i globalizatsiya*, 1: 105–115.
- Eskanderov A.G., Gadzhiev G.G. 2014. Energeticheskiy kompleks Respubliki Dagestan: sostoyaniye. problemy. potentsial [Energy Complex of the Republic of Dagestan: State, Problems, Potential]. In: Aktualnyye voprosy ekonomiki i sovremennogo menedzhmenta [Topical Issues of Economics and Modern Management]. Collection of scientific papers on the results of the interuniversity scientific and practical conference. Samara, 7 April 2014. Samara, Publ. ICRON: 57–59.
- Efendieva Sh.T. 2015. Sostoyaniye elektroenergetiki Respubliki Dagestan na sovremennom etape [The State of the Electric Power Industry of the Republic of Dagestan at the Present Stage]. In: Aktualnyye voprosy i perspektivy razvitiya matematicheskikh i estestvennykh nauk [Topical Issues and Prospects for the Development of Mathematical and Natural Sciences]. Proceedings of the scientific and practical conference. Omsk, 07 May 2015. Omsk, Publ. Innovatsionnyy tsentr obrazovaniya: 84–86.

*Поступила в редакцию 06.02.2023;  
поступила после рецензирования 25.02.2023;  
принята к публикации 02.03.2023*

*Received February 06, 2023;  
Revised February 25, 2023;  
Accepted March 02, 2023*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Атаев Заирбег Авукавович**, доктор географических наук, профессор кафедры экономики и финансов, руководитель научно-исследовательского центра «Возобновляемые источники энергии и энергетика», Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина, г. Рязань, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Zairbeg A. Ataev**, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Economics and Finance, head of the research center "Renewable energy sources and energy", Ryazan State University named after S.A. Yesenin, Ryazan, Russia