

Международная
научно-практическая конференция

«Энергетика XXI века: экономика, политика, экология»

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ПАО «ГАЗПРОМ»

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Международная научно-практическая конференция

**«ЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА:
ЭКОНОМИКА, ПОЛИТИКА, ЭКОЛОГИЯ»**

Сборник докладов

*Под редакцией
доктора экономических наук, профессора И.А. Максимцева*

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ЭКОНОМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2026**

ББК 31.15
М43

М43 **Международная** научно-практическая конференция «Энергетика XXI века: экономика, политика, экология» : сборник докладов / под ред. д-ра экон. наук, проф. И.А. Максимцева. – СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2026. – 73 с.

ISBN 978-5-7310-7093-5

Сборник содержит материалы избранных докладов и презентаций участников международных семинаров по энергетике и международной научно-практической конференции «Энергетика XXI века: экономика, политика, экология».

Международная научно-практическая конференция «Энергетика XXI века: экономика, политика, экология» проводится по инициативе А.Б. Миллера и при поддержке ПАО «Газпром» с 2008 года. В среде ученых, представляющих ведущие университеты, экспертов научно-исследовательских институтов, представителей международных организаций и бизнеса из России и других стран обсуждаются наиболее актуальные проблемы мирового сообщества в энергетике.

ББК 31.15

Рецензенты:

проректор по международным связям Санкт-Петербургского государственного экономического университета канд. экон. наук **Д.В. Василенко**
декан факультета финансовой экономики Московского государственного института международных отношений Министерства иностранных дел Российской Федерации
д-р экон. наук, доцент **И.А. Гулиев**

ISBN 978-5-7310-7093-5

© СПбГЭУ, 2026

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР
«ДОСТИЖЕНИЕ ЦЕЛЕЙ ПАРИЖСКОГО СОГЛАШЕНИЯ:
УСПЕШНАЯ КОМБИНАЦИЯ ПОДХОДОВ»
15 мая 2024 г.**

УДК 620.92

УОТ 327(4/9);930.22(4/9); 327; 351.78; 504.4/8; 614.8

Ф.Д. Гумбатов,

Ph.D., доцент

*Академия государственного управления
при Президенте Азербайджанской Республики*

**ПЕРСПЕКТИВА НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ
АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРИЗЫВЫ
К ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Аннотация. В статье рассматриваются сценарии низкоуглеродного развития Азербайджанской Республики в XXI веке. В связи с этим анализируются основные определения, характеристики некоторых сценариев низкоуглеродного развития и определяются необходимые экономические и экологические условия для наилучшего сценария, когда страна достигает нетто нулевого уровня выбросов, т.е. сценария полной декарбонизации. Кроме того, в статье анализируются роль и значение путей развития с низким уровнем выбросов для экологической безопасности страны и всего региона Южного Кавказа как ключевого элемента перехода к региональной зеленой экономике.

Ключевые слова: изменение климата, парниковые газы (ПГ), политика смягчения последствий изменения климата, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), экологическая безопасность, сценарий развития с низким уровнем выбросов, декарбонизация, устойчивость к изменению климата, зеленая экономика.

F.D. Humbatov,

*Ph.D., Associate Professor of the State Academy
of Public Administration under the President of the Republic of Azerbaijan*

**LOW EMISSION DEVELOPMENT PROSPECTIVE OF THE REPUBLIC
OF AZERBAIJAN AND REGIONAL ENVIRONMENTAL
SECURITY CHALLENGES**

Abstract. The paper studies the greenhouse gas emission (GHG) development scenarios for the Republic of Azerbaijan in the XXI century. In this regard, the paper provides main definitions and characteristics of some emission development scenarios and finds out the necessary economic and environmental conditions, circumstances for the best scenario when the country achieves a net-zero emission level, i.e. decarbonization scenario. Moreover, it analyzes a role and importance of low emission development pathways in the environmental security of country and the whole South Caucasus region, as a key element of the green economy transition.

Keywords: climate change, greenhouse gases (GHG), mitigation policies, renewable energy sources (RES), environmental security, low emission development scenario, decarbonization, climate resilience, green economy.

XXI century witnesses unprecedented global change in search of affordable and scalable solutions to reduce the dependency on fossil fuels bearing the serious consequences for the environment and climate. Actually, all oil-rich economies are coming under pressure to reduce the carbon footprint in oil-gas industry and other spheres of economy.

Observations of the recent decades have shown that as a result of global climatic changes in various regions of the globe, both the scale and intensity storms, mudflows, blizzards, floods, as well as warm winds, hurricanes, and precipitation are increasing. This is evidenced only by large-scale forest fires in 2021-2022 in Turkey, Greece, Spain, Russia, USA, EU and other countries, as well as heavy rains and floods in Pakistan, eastern Turkey and European countries etc. It is no coincidence that the preliminary report released on August 9, 2021 (prepared by the First Working Group of the IPCC) as part of the work on the preparation of the 6th Assessment Report (AR6) by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) emphasized that in XXI century, the average annual temperature in the world could rise by at least 3° C, if states do not take concerted action to reduce emissions. It is clear from this report that if the international community does not take serious and effective measures to reduce greenhouse gas emissions, humanity will move from a temperature rise of 4°C to 5°C, which could result in an apocalypse ([26]).

Moreover, according to the paragraph 19 of the Article 4 of the Paris Agreement, Parties should strive to formulate and communicate long-term low greenhouse gas emission development strategies (LT-LEDS). Taking into consideration this norm, Parties are invited to communicate these strategies to the Secretariat of UNFCCC by 2020, according to the clause 35 of the decision 1/CP 21 of UNFCCC ([24]).

Another important article of the Paris Agreement is Article 13 establishing an **Enhanced Transparency Framework (ETF)** designed to build trust and confidence that all countries are contributing their share to the global efforts. In fact, the Katowice Conference of Parties of UNFCCC (COP24) that was held in 2018, outlined a new framework for all countries by adopting a detailed set of modalities, procedures and guidelines (MPGs) that make it operational.

In the South Caucasus region, Azerbaijan is particularly vulnerable to climate change impacts. According to weekly drought monitoring data received from NASA from GRACE satellites, the country has been exposed to a sharp drought both in terms of underground water and terrestrial humidity. Moreover, according to the report of UNDP containing climate change impacts projection, as a result of the drought caused by the climate change for the period 2021-2050, water supply of the country will decrease by 23% ([18]).

As it mentioned above, the actual paper contains some results of the monograph “Low emission development outlook and its role in the environmental security system of the Republic of Azerbaijan” of the author ([14]), studying the greenhouse gas (GHG) emission development pathways, i.e. scenarios (projections) in Azerbaijan for the next decades, taking into account the current NDC goals, on the base qualitative analyses, using of the special **LEAP (Low Emissions Analysis Platform)** modelling technique ([34]) for evaluation of emission reduction effects of the relevant mitigation policies and measures. Each scenario is based on corresponding to mitigation policies, measures, as well as assumptions in the relevant sectors (corresponding to the **2006 IPCC Guidelines** ([23])) of reaching net-zero emission target. Moreover, there will be analyzed the mentioned scenarios in terms of their role in the environmental security of the country.

In order to provide comparative analysis of all these GHG emissions development options there will be presented three GHG emission development scenarios, namely – **Business as Usual (BAU) Scenario, Realistic Low Emission Development Scenario (RLEDS) and Best Low Emission Development Scenario (BLEDS)**. Let's bring some definitions of these development scenarios:

Business as Usual (BAU) Scenario is a projection of the level of GHG emissions that would result if future development trends follow those of the past and no change in climate change mitigation policies and measures take place. The scenario assumes that there are no climate change strategies, policies and measures being or to be implemented since 2021, no relevant green transition changes in technology, economics etc. **Business as Usual (BAU) Scenario** is used later on as benchmark for another scenarios here below and separate mitigation policies and measures for qualitative assessment of their GHG reduction potential and effects. Here below in the paper, in order to evaluate the GHG emissions reduction of mitigation actions or their overall total effects within the **Realistic Low Emission Development Scenario (RLEDS)** or within the **Best Low Emission Development Scenario (RLEDS)** we'll provide a comparative analysis of each mitigation action vis-à-vis the **BAU Scenario** on the base of LEAP calculations. Hence the **BAU Scenario** plays a benchmark in our modelling analysis and it's elaborated on the base of the official statistical and other available data for the past years till the first scenario year – 2021. That's why for the years following the first scenario years, **BAU Scenario** corresponds to the development under the existing conditions, but without implementing any mitigation policies and measures.

Realistic Low Emission Development Scenario (RLEDS) is a projection of the level of GHG emissions in some separate sector or totally for all sectors (depending on assumptions in place), taking into account all mitigation policies and measures (sectoral or total) that have been formally (i.e. legally) adopted (with finance allocation) and still having mitigation effect or being implemented (it's WM scenario in terms of definitions given in many sources related to the **2006 IPCC Guidelines** ([35])) by 2021 (as a first scenario year), as well as those which have not yet been formally adopted (without finance allocation) but have been agreed to be implemented in order to comply with the country reduction commitments (it's WAM scenario in terms of definitions given in many sources related to the **2006 IPCC Guidelines**). As it's seen from the definition, RLEDS in some sectors or in all sectors comprises both “with measures” (WM) and “with additional measure” (WAM) scenarios corresponding the relevant policies and measures. Here's the LEAP projection of this scenario taking into account national circumstances and implemented mitigation actions which are described in detail in the above-mentioned monograph ([14]).

Best Low Emission Development Scenario (BLEDS) is a projection of the level of GHG emissions in some separate sector or totally in all sectors that takes into consideration all mitigation policies and measures of the RLEDS by 2021 (as a first scenario year), that is added with additional assumptions in order to reach net-zero emission level by some year in the future. In fact, the scenario is based on the necessary conditions and assumptions of reaching net-zero emission level in the future. This scenario in some sectors or totally for all sectors (depending on assumptions in place) should be considered the most needed and important pathway for each country in light of the Paris Agreement and above-mentioned Conference of Parties decisions.

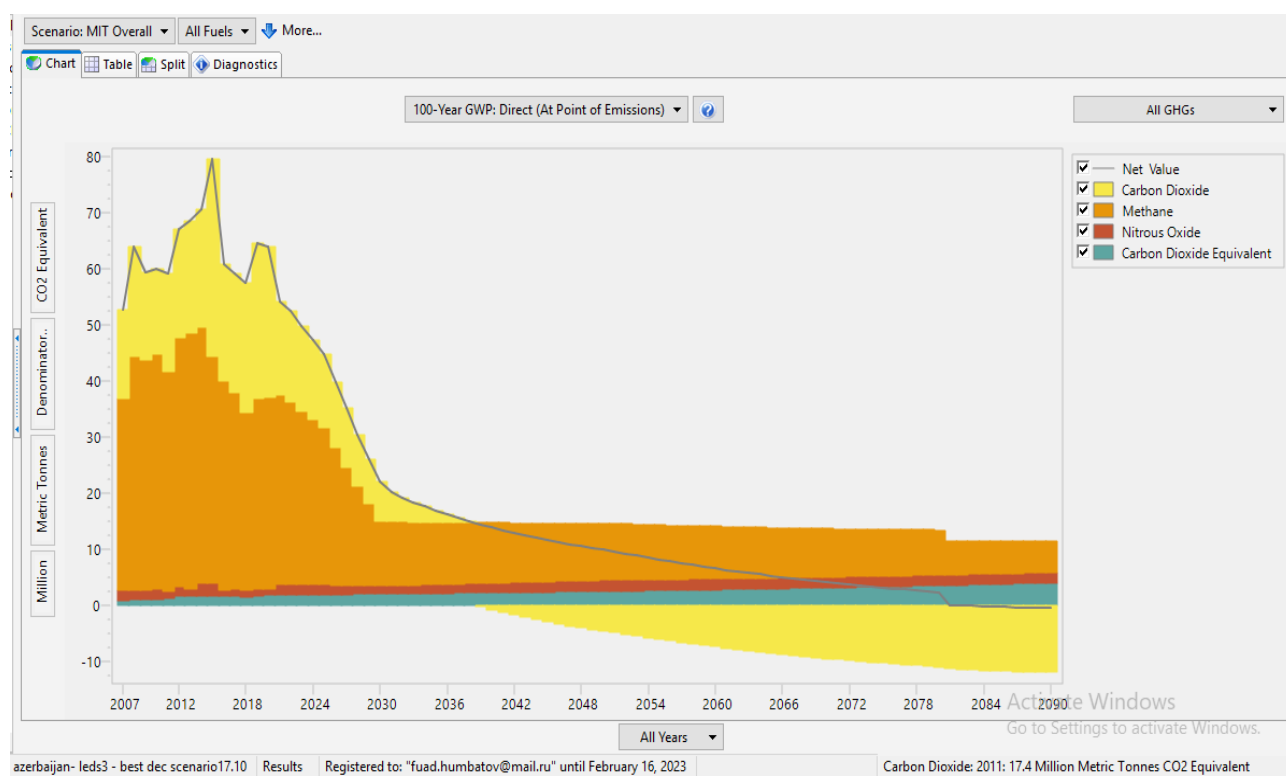
Best Low Emission Development (BLED) Scenario includes all the mitigation policies and measures of the Realistic Low Emissions Development Scenario (RLEDS). Besides them, it comprises additional assumptions in each sector (Energy, IPPU, Agriculture, LULUCF, Waste Management ([23])). For example, the GHG reduction assumptions only in the Energy sector within the **BLED Scenario** are following:

- Annual oil production reduction by 1% beginning from 2021 within the global trend on reduction of oil production;
- Annual wood consumptions decrease by 3% in the Commercial and Public sectors of the country beginning from 2021;

- Natural gas production reduction by 1% beginning from 2021
- Natural gas leakages reduction up to 1% by 2050;
- Annual gas consumption decrease by 1% in the Household since 2021;
- Annual decrease of motor gasoline consumption by 1% in the Household, Agriculture (Forestry, fishing) since 2021;
- Annual decrease by 5% of the thermal energy production and its gradually substitution by renewable energy production according to the relevant state programs;
- Enlargement of renewable energy sources (RES) capacity in the electricity production up to 5,5 GW by 2050

All these assumptions are quite feasible due to the overarching policies and measures of greening of economy (expanding use and production of renewable energy sources (RES), green hydrogen production, energy effectiveness measures, climate smart technologies etc.) incorporated to the mentioned five national priorities of the “Azerbaijan 2030: National Priorities for Socio-Economic Development” document approved by the relevant Order of the President of the Republic of Azerbaijan issued on February 2, 2021.

In order to measure the overall total effect of mitigation policies and measures within **Best Low Emission Development Scenario (RLEDS)** in the Energy sector we'll provide comparative analysis of the GHG emissions reduction generated during the **BLEDS** and the **BAU Scenario** via LEAP modelling. For this purpose, all the above-mentioned assumptions and measures have been analyzed and modelled in LEAP and included to BLED Scenario:



Graph. GHG coverage projection within the BLED Scenario (LEAP model)

The table corresponding to the mentioned Graph is following:

GHG	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
CO2	16.7	16.3	15.2	14.1	13.1	11.8	10.5	9.3	8.1	7.0	5.2	4.3
CH4	33.8	32.5	31.0	29.5	28.1	24.5	21.0	17.7	14.6	11.7	11.5	11.4
N2O	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.5
CO2 eq.	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0
TOTAL	54.3	52.5	49.9	47.3	44.7	39.8	35.1	30.5	26.1	22.0	20.1	19.2

GHG	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
CO2	3.5	2.8	2.1	1.5	0.9	0.3	-0.3	-0.8	-1.3	-1.8	-2.2	-2.6	-3.0
CH4	11.3	11.2	11.1	11.1	11.0	10.9	10.8	10.8	10.7	10.6	10.6	10.5	10.4
N2O	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9
CO2 eq.	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3
TOTAL	18.3	17.6	16.9	16.2	15.6	15.0	14.4	13.9	13.3	12.8	12.4	12.0	11.6

GHG	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058
CO2	-3.4	-3.8	-4.1	-4.4	-4.6	-5.0	-5.3	-5.6	-5.9	-6.1	-6.4	-6.7	-7.0
CH4	10.4	10.3	10.2	10.2	10.1	10.0	10.0	9.9	9.8	9.7	9.6	9.6	9.5
N2O	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
CO2 eq.	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7
TOTAL	11.2	10.8	10.5	10.2	9.9	9.6	9.2	8.8	8.5	8.1	7.8	7.5	7.2

GHG	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071
CO2	-7.2	-7.5	-7.7	-7.9	-8.2	-8.4	-8.6	-8.8	-9.0	-9.2	-9.4	-9.6	-9.8
CH4	9.4	9.3	9.3	9.2	9.1	9.0	9.0	8.9	8.8	8.8	8.7	8.6	8.6
N2O	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
CO2 eq.	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1
TOTAL	6.9	6.6	6.3	6.0	5.7	5.5	5.2	5.0	4.7	4.5	4.3	4.1	3.8

GHG	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081
CO2	-9.9	-10.1	-10.2	-10.4	-10.5	-10.7	-10.8	-10.9	-11.1	-11.4
CH4	8.5	8.4	8.4	8.3	8.3	8.2	8.1	8.1	8.0	6.0
N2O	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
CO2 eq.	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5
TOTAL	3.6	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3	0.0

(million tons of CO2 equivalent)

As it's seen from the last table corresponding to the Graph, i.e. the projection of the BLEDS, within this scenario GHG emissions reaches net zero emission level in 2081, i.e. all emissions by sources and removals by sinks become equal. For each country it's extremely important to have a GHG pathway bringing the country to the carbon neutrality. By the way, according to the relevant methodology of calculation of total effects of above-mentioned mitigation policies, measures, as well as assumptions within this pathway, the year of net zero emissions could be earlier or later than 2081, depending on the relevant assumptions that could be strengthened or weakened dictated by the national circumstances of the socio-economic development.

Moreover, within the BLEDS pathway Azerbaijan could successfully reduce its emissions even up to 86% level by 2050 compared to the 1990 emissions, that is much more under the 2050s goal of 40% reduction of emissions. "40% reduction" goal by 2050 has been included to the NDC2 of the country. New NDC3 with more ambitious targets than in the previous NDCs will be also submitted to the Secretariat of UNFCCC before COP29 that is going to be held in Baku on 11.11.-12.11.24.

As it's indicated in the BLEDS Scenario assumptions, one of the effective mitigation measures in terms of GHG emissions reduction is enlargement of the share of RES in the total energy production. In this regard, a huge contribution could be done by the relevant activities in the liberated territories (Karabakh and Eastern Zangazur region), i.e. within "green" energy zone project. These territories of Azerbaijan have the proven potential of 7200 megawatts (7.2 gw) of solar energy and 2000 megawatts of wind energy. It proves that only solar energy potential is approximately equal to the actual overall electricity production capacity of the country. The relevant Decree of the President of Azerbaijan approved the order on "measures to establish a green energy zone in these territories of the Republic of Azerbaijan" ([37]). Moreover, it should be noted that 25 percent of the country's water resources are located in the mentioned regions, which means 2.47-2.56 billion cubic meters (or cubic km) of reserves per year. In this regard, Tartar, Bazarchay, Hakari rivers and their tributaries, as the most abundant rivers, have a great potential for the construction of network of hydropower plants.

Taking into account the mentioned capacities and circumstances, in recent years, strategically important steps have been taken up with some international energy companies for generation of large-scale production capacities of renewable energy in Azerbaijan and green energy export. As a result, the country is expected to become an important and reliable partner for EU and other regions, supplying green energy on the base of renewable energy resources and hydrogen. All these steps enable promotion of green energy transmission from the South Caucasus region to EU countries that was reflected in the "Agreement on a strategic partnership in the field of green energy development and transmission between the Governments of the Republic of Azerbaijan, Georgia, Romania and Hungary" which was signed on 17.12.22 in Bucharest ([38]). The agreement focuses mainly to integrate a growing share of RES, stronger electricity interconnections between Romania, Georgia, and Azerbaijan, i.e. electric cable will connect countries on both sides of the Black Sea and further towards the Caspian Sea region and will help reinforce regional cooperation of countries, provide environmental, energy security issues of all parts of agreement, by bringing electricity from renewable sources to the European Union via Romania and through Hungary.

These kind of projects aiming establishment of "green zones", "net zero emission zones", "green corridors" of renewable energy production and transportation in the region will undoubtedly push development of the regional RES market, entail upscaling of regional cooperation.

BIBLIOGRAPHY

1. https://azertag.az/en/xeber/Vision_2030_National_priorities_for_robust_socio_economic_development_in_Azerbaijan-1846113 (дата обращения: 06.09.2024)

2. F. Dell'Anna, Energy Policy, 149, 112031 (2021)
3. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-update-5050-chance-of-global-temperature-temporarily-reaching-15%C2%B0c-threshold> (дата обращения: 05.09.2024)
4. <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/> (дата обращения: 05.09.2024)
5. Fuad Humbatov, On the applicability of the “*Uti Possidetis Juris*” principle during the delimitation of the Caspian Sea among the littoral states. Journal “Central Asia and the Caucasus”, Sweden, vol. 60 (2009), №6.
6. Fuad Humbatov. Carbohydrogen resources and oil strategy of the Republic of Azerbaijan. Proc. of Int. Conf. on Modeling and forecasting of the socio-economic processes, Lviv, Ukraine, 2015, vol.1, pp.42-45
7. Fuad Hübətov, Qlobal Dəyər Zəncirində (Global Value Chains) kiçik və orta sahibkarlığın daha geniş təmsil olunmasının və KOS-ların İnnovasiya Ekosistemlərinə və rəqəmsal iqtisadiyyata nüfuz etməsinin təmini problematikasına dair. “Post 2015: Qlobal çağırışlar şəraitində Azərbaycan Respublikasının davamlı inkişafı” mövzulu elmi-praktiki konfransın materialları, Bakı, 2015, s. 24-34.
8. Fuad Humbatov, The impact of the “South Gas Corridor” project on the energy security and sustainable development of Caspian Basin countries and EU, Proc. of Int. Conf. on “Providing of sustainable development of the Republic of Azerbaijan in a world-wide economic crisis” org. by State Academy of Public Administration under the President of Azerbaijan, Baku, 2016, pp. 15-24.
9. Fuad Hübətov, Davamlı inkişafda Texnoloji Nailiyyətlər Əmsalı və Cənubi Koreya təcrübəsi, Müasir dövrdə davamlı inkişafın əsas istiqamətləri. Respublika Emi-Praktik konfransın materialları, Bakı, 2017, s.133-142.
10. Fuad Hübətov, Davamlı inkişafda texnoloji nailiyyətlər əmsalı və riyazi təhsil məsələləri. AR Prezidenti yanında Dövlət İdarəçilik Akademiyasının Dövlət İdarəçiliyi: Nəzəriyyə və təcrübə jurnalı, № 2 (58) 2017, c. 201-211
11. Fuad Humbatov, “Energy diplomacy in modern international relations”, monography, Baku, 2018, 356 p
12. Fuad Humbatov, Role of the “Southern Gas Corridor” project in Sustainable development of EU and Caspian Basin Countries, Public Administration of the Academy of Public Administration under the President of the Republic of Azerbaijan: Journal of Theory and Practice, No. 4 (61) 2019, pp. 43-92
13. Fuad Humbatov, “Measures to mitigate the effects of climate change in the Republic of Azerbaijan and their assessment”, monograph, Baku, 2021, 229 p.
14. Fuad Humbatov, “Low emission development outlook and its role in the environmental security system of the Republic of Azerbaijan”, monograph, Baku, 2021, 256 p.
15. Fuad Humbatov, Environmental crimes of Armenia against the Republic of Azerbaijan, South Caucasia in the context of social, economic and political progress in the post-cold war era, Turkey, Iksad Publications- 2021, , p.354, chapter VII, pp. 231-264.
16. Greenhouse Gas Reduction Strategies in the Transport Sector: Preliminary Report, OECD/ITF, 2008

17. Harnish, J.I. Wing, S., Jacoby, H.D., Prinn, R.G., Primary Aluminium Production: Climate Policy, Emissions and Costs 1998
18. Assessment report on “Impact of global climate change on the Republic of Azerbaijan” by the “Azercosmos” OJSC, April 2022.
19. Research on the Energy Sector of Azerbaijan, 2013, Japan International Cooperation Agency (JICA), Tokyo Electric Power Services Co., LTD
20. Speech of the head of the State Agency on Renewable Energy Sources of the Republic of Azerbaijan at the UEF, Baku, 03.12.2021
21. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU)
22. <https://www.oecd-ilibrary.org/environment/low-emission-development-strategies-leds5k451mzrnt37-en> (дата обращения: 06.09.2024)
23. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (дата обращения: 05.09.2024)
24. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english.pdf
25. https://transparency-partnership.net/system/files/document/20190424_Intro%20to%20MRV_Jigme.pdf
26. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (дата обращения: 05.09.2024)
27. <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions> (дата обращения: 06.09.2024)
28. <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/> (дата обращения: 05.09.2024)
29. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change> (дата обращения: 05.09.2024)
30. <https://www.iddri.org/en/publications-and-events/policy-brief/long-term-low-emissions-development-strategies-and-paris> (дата обращения: 05.09.2024)
31. <https://apa.az/en/xeber/finance-news/Mikayil-Jabbarov-Target-to-double-Azerbaijans-GDP-by-2030-will-be-challenging-340723> (дата обращения: 05.09.2024)
32. <https://president.az/az/articles/view/56723> (дата обращения: 07.09.2024)
33. <https://unfccc.int/documents/299472> (дата обращения: 05.09.2024)
34. <https://leap.sei.org/> (дата обращения: 06.09.2024)
35. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0766.pdf>
36. <https://president.az/en/articles/view/55909> (дата обращения: 06.09.2024)
37. <http://e-qanun.az/framework/47397> (дата обращения: 07.09.2024)
38. <https://president.az/en/articles/view/58221> (дата обращения: 07.09.2024)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР «СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ И ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ» 16–17 мая 2024

УДК 620.9

А.Т. Мирзаев,
*кандидат технических наук, доцент,
главный диспетчер Координационного
диспетчерского центра «Энергия»*

СОТРУДНИЧЕСТВО ЭНЕРГОСИСТЕМ В РАМКАХ ОБЪЕДИНЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Аннотация. В статье рассматриваются современное состояние Объединенной энергосистемы Центральной Азии (ОЭС ЦА), а также основные направления сотрудничества между энергосистемами. Выполнен краткий анализ по интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистемах региона и задачи по обеспечению устойчивости работы энергосистем. Приведены актуальные вопросы, требующие решения в связи с масштабной интеграцией ВИЭ и планируемым вводом рынка электрической энергии в энергосистемах Центральной Азии в рамках взаимного сотрудничества.

Ключевые слова: Объединенная энергосистема Центральной Азии, сотрудничество, интеграция, возобновляемые источники энергии.

A.T. Mirzaev,
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Chief Dispatcher of the Coordination Dispatch Center "Energia"*

COOPERATION OF ENERGY SYSTEMS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE UNITED ENERGY SYSTEM OF CENTRAL ASIA

Abstract. The article discusses the current state of the United Energy System of Central Asia (UES CA) and the main directions of cooperation between energy systems. A brief analysis of the integration of renewable energy sources (RES) into the region's energy systems and the associated tasks for ensuring the stability of energy system operations has been conducted. Current issues requiring resolution due to the large-scale integration of RES and the planned introduction of the electricity market in the energy systems of Central Asia, within the framework of mutual cooperation, are presented.

Keywords: United Energy System of Central Asia, cooperation, integration, renewable energy sources.

Объединенная энергетическая система Центральной Азии (ОЭС ЦА) формировалась на территории четырех государств – Узбекистана, Таджикистана, Туркменистана, Кыргызстана и прилегающих к ним пяти областях Юга Казахстана.

Создание ОЭС Средней Азии началось в 1960 году, когда на параллельную работу по линиям электропередач напряжением 110 и 220 кВ были подключены узбекская энергосистема, энергосистемы Юга Кыргызстана, Севера Таджикистана и Шымкентский узел Южного Казахстана [1].

На период создания ОДУ Средней Азии в Объединенную энергосистему Средней Азии входили четыре энергосистемы с установленной мощностью на 01.01.1961 г. – 1157 МВт, максимум нагрузки 921 МВт, годовой выработкой 6,5 млрд кВт·ч. Объединение энергосистем резко повысило надежность и качество электроснабжения потребителей, дало возможность рационально использовать гидро- и топливные ресурсы [1].

Конфигурация ОЭС Центральной Азии проектировалась как единое целое, без учета национальных границ союзных республик, и работала, как и многие другие энергообъединения, изолированно от Единой энергосистемы Советского Союза [1].

В текущих режимах в составе Объединенной энергосистемы Центральной Азии параллельно работают энергосистемы Казахстана, Кыргызстана и Узбекистана. Энергосистемы ОЭС Центральной Азии и Юга Казахстана через электрические сети ЕЭС Казахстана также работают параллельно с ЕЭС Российской Федерации. Энергосистемы в основном связаны между собой ЛЭП напряжением 220–500 кВ. С декабря 2009 года таджикская энергосистема работает изолированно от ОЭС Центральной Азии. В настоящее время идет процесс восстановления параллельной работы таджикской энергосистемы. Составлен сетевой график подключения к ОЭС Центральной Азии с завершением работ в июне месяце текущего года.

Основными направлениями сотрудничества между энергосистемами Центральной Азии в данный период являются:

- торговля электрической энергией;
- развитие межгосударственных электрических сетей;
- совместное строительство электрических станций;
- планирование совместного развития энергетических систем

Энергосистемы ОЭС Центральной Азии и Туркменистана в последние годы активно сотрудничают в сфере торговли электрической энергией и по оказанию системных услуг. Туркменская энергосистема экспортирует электрическую энергию практически круглый год, но так как она не работает параллельно с ОЭС Центральной Азии, энергосистема осуществляет поставки выделенными генераторами на Мары ГЭС и Лебаб ГЭС, подключенные к сетям энергосистемы Узбекистана. Экспорт осуществляется в энергосистемы Кыргызстана и Узбекистана. При поставке электрической энергии через электрические сети третьих стран заключаются также договоры на транзит электроэнергии, в частности при импорте из Туркменистана Кыргызстан заключает договор на транзит с Узбекистаном.

Кроме того, энергосистемы Таджикистана и Узбекистана в целях рационального использования водно-энергетических ресурсов ежегодно заключают договоры на поставки электрической энергии в летнее время из Таджикистана в Узбекистан. При этом минимизируются холостые сбросы воды на ГЭС Таджикистана, а в энергосистеме Узбекистана снижается расход топлива, а также проводится ремонтная кампания на тепловых электростанциях. В последнее время в осенне-зимний период осуществляются поставки электрической энергии из Казахстана и Узбекистана в Кыргызстан в целях сохранения объема воды в Токтогульском водохранилище. С этой же целью в текущий осенне-зимний период были также поставки электроэнергии из Российской Федерации в Кыргызстан транзитом через сети казахской энергосистемы. Кроме того, энергосистемы Узбекистана, Таджикистана и Туркменистана осуществляют поставки электроэнергии в энергосистему Афганистана.

Очень важным и чувствительным вопросом в регионе является использование водных ресурсов для ирригации и выработки электрической энергии. Порой эти две задачи входят в

противоречие, так как если энергосистемы Кыргызстана и Таджикистана воду в большинстве используют для выработки электрической энергии, в Узбекистане и Казахстане, где преобладает тепловая генерация, вода в большей части используется для охлаждения генераторов и полива сельхозугодий. В настоящее время в данном вопросе наметились положительные тенденции, направленные на рациональное использование водно-энергетических энергоресурсов в рамках сотрудничества в области совместного строительства гидроэлектрических станций.

Так, Кыргызстан, Узбекистан и Казахстан подписали меморандум о намерении по проекту строительства Камбаратинской ГЭС-1. Ведётся работа по созданию совместного предприятия с участием сторон. Ведутся переговоры между Таджикистаном и Узбекистаном и между Таджикистаном и Казахстаном по условиям поставок электроэнергии с Рогунской ГЭС. По последней информации узбекская и таджикская сторона пришли к соглашению по данному вопросу.

В настоящее время Таджикистан и Узбекистан ведут совместную работу над проектом строительства двух гидроэлектростанций общей мощностью 320 МВт на реке Зарафшан в Согдийской области Республики Таджикистан. В странах создано АО «ТАУЗ Гидро», занимающееся управлением проектами для этих целей.

В рамках Координационного электроэнергетического совета Объединенной энергосистемы Центральной Азии, членами которого являются Системные операторы национальных энергосистем, где наблюдателем также участвует АО «СО ЕЭС» Российской Федерации, проводят совместную работу по определению перспектив развития национальных энергосистем и ОЭС Центральной Азии в целом. В рамках такого сотрудничества в 2023 году была завершена разработка Концепции совместного развития Объединенной энергосистемы Центральной Азии (ОЭС ЦА) и Единой энергетической системы (ЕЭС) Казахстана. Концепция была разработана Алматинским университетом энергетики и связи совместно со специалистами КДЦ «Энергия». В данной работе было проанализировано современное состояние энергосистем, входящих в ОЭС ЦА, определены узкие места, препятствующие развитию торговли и обеспечению устойчивости работы, рассмотрены планы развития национальных энергосистем и выданы рекомендации по структуре генерации и развитию сетей [2].

Одним из вопросов совместного развития ОЭС Центральной Азии является также рассмотрение возможности подключения на параллельную работу энергосистемы Туркменистана. Туркменская энергосистема в настоящее время работает в параллельном режиме с Ираном, а с энергосистемами ОЭС Центральной Азии – в «островном» режиме, с выделенными генераторами для экспорта электрической энергии. С учетом развития торговли электрической энергией с энергосистемами ОЭС ЦА Туркменистану, на наш взгляд, целесообразнее было бы перейти на параллельную работу с ОЭС ЦА. Такая работа с ОЭС ЦА позволит:

- использовать энергосистему Туркменистана как транзитную и расширить Центрально-Азиатский регион торговли электроэнергией, планируемый к расширению до Южной Азии (CASA-1000), до Западной Азии (Иран, Турция и примыкающие к ним Армения и Грузия);
- широко использовать эффект часовых поясов во внутрисуточной торговле, а также сезонные взаимобмены (зима-лето) между регионами.

В последние годы в энергосистемах ОЭС Центральной Азии наряду с модернизацией и обновлением традиционного генерирующего оборудования с вводом высокоэффективных парогазовых установок и модернизацией гидрогенерирующих установок идет процесс интеграции в энергосистемы региона возобновляемых источников энергии. В основном в эксплуатацию вводятся солнечные фотоэлектрические станции и ветровые электростанции.

В энергосистеме Казахстана уже функционирует (2023 г.) порядка 2600 МВт ВИЭ, из них 1202,6 ФЭС и 1394,6 МВт ВЭС. Министерство энергетики анонсирует ввод до 2030 года порядка 16 ГВт генерации на основе ВИЭ.

В Узбекистане в настоящее время (2023 г.) работают ФЭС общей мощностью 1520 МВт и ВЭС 100 МВт. При этом планируется внедрение до 2030 г. 8,64 ГВт ФЭС и 17 ГВт ВЭС, а также системы хранения энергии мощностью на 7 ГВт·ч.

В энергосистему Кыргызстана планируется в течение 2-3 лет внедрить ВИЭ мощностью 3–4 ГВт.

В Таджикистане в 2024 году ожидается ввод двух ФЭС общей мощностью 60 МВт.

Масштабное внедрение ВИЭ с переменчивым и прерывистым характером выработки электроэнергии оказывает серьезное влияние на стабильность режима работы энергосистем. Мировой опыт показывает, что увеличение доли ВИЭ, которым присущи переменчивость (ВЭС, ФЭС) и прерывистость (ФЭС), требует принятия специальных мер по компенсации их небалансов [3–6].

Интеграция ВИЭ – объективная необходимость, но для эффективной управляемости энергосистемой необходимо учесть несколько моментов [3–6]:

а) Практику заполнения ожидаемого дефицита генерирующих мощностей в основном за счет ВИЭ следует ограничить (масштабное внедрение ВИЭ без принятия специальных мер по обеспечению резервирования их выработки может отрицательно сказаться на устойчивости работы энергосистем).

б) Необходимо избегать концентрированного строительства в одном месте крупных объектов ВИЭ, делать больший упор на распределенную генерацию. Так, планируемое строительство в Узбекистане Устюртской ВЭС мощностью 2,5 ГВт чревато одновременной потерей этой мощности при ветре более 25–30 м/с, что может привести к системной аварии. То же касается крупных ФЭС.

в) Ввод ВИЭ обязательно должен сопровождаться созданием необходимых резервов и вводом накопителей энергии:

- литий-ионные накопители имеют высокую скорость реакции, но не могут выполнять функцию энергоснабжения на длительный, более 1 часа, период. Их необходимо строить на подстанциях Системного оператора, а также при ФЭС и ВЭС, и использовать для противоаварийного управления и компенсации небалансов в энергосистеме (в НЭС Узбекистана планируется построить 3500 МВт ВЭС на 7 ГВт·ч);

- для переноса избытков энергии в пиковые часы нагрузок целесообразно строить:

- ГАЭС;
- гравитационные накопители;
- криогенные технологии накопления.

В связи с высокой планируемой долей ВИЭ и общим увеличением нагрузки в Казахстане, Узбекистане, Кыргызстане и Таджикистане будут увеличиваться небалансы мощности на границах между ЕЭС Казахстана и ОЭС ЦА. При этом в условиях параллельной работы с ЕЭС России, которая осуществляет централизованное регулирование частоты в ЕЭС СНГ, небалансы ОЭС ЦА будут отражаться на интерфейсе ЕЭС Казахстана и ЕЭС России и могут перегружать транзит Север-Юг Казахстана. Отключение транзита Север-Юг Казахстана при больших набросах мощности со стороны ОЭС ЦА, что не исключено при масштабном внедрении ВИЭ, может привести к увеличению дефицита в ОЭС ЦА и недопустимому снижению

частоты, при котором будут отключаться объекты ВИЭ и ПГУ. Для исключения отключения уже предельно загруженного транзита Север-Юг в энергосистеме Казахстана прорабатывается вопрос строительства линии постоянного тока от ЭКГРЭС-1 до Жамбыла.

С учетом масштабной интеграции ВИЭ и планируемым вводом рынка электрической энергии в энергосистемах Центральной Азии необходимо уделить внимание следующим актуальным вопросам:

1. Энергосистемы ОЭС ЦА и ЕЭС Казахстана характеризуются протяженными коммуникациями и неравномерностью распределения нагрузки и генерации, что определяет особенности режимов ОЭС с точки зрения проблем обеспечения устойчивости, перегрузки оборудования. В ряде случаев имеют место динамические переходные процессы при возникновении аварийных возмущений с последующим ослаблением системообразующей сети. Необходимо скоординировать усилия по решению проблемы «узких» мест.
2. Для сохранения устойчивой работы необходимо обеспечить регулирование перетоков мощности и частоты между странами созданием Централизованной координирующей системы автоматического регулирования частоты и мощности (ЦКС АРЧМ) в ОЭС ЦА (в КДЦ «Энергия») с поэтапным масштабированием в энергосистемы Кыргызстана, Узбекистана и Таджикистана.
3. Для обеспечения устойчивости работы энергосистем, а также ОЭС ЦА в целом требуется создание централизованной системы противоаварийной автоматики (ЦСПА) Центральной Азии в КДЦ «Энергия».
4. Так как Казахстан переходит на балансирующий рынок электроэнергии и планируется поэтапный переход к рынку электроэнергии в Узбекистане, возникает необходимость создания региональной автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АС-КУЭ) в КДЦ «Энергия».

Литература

1. 50 лет диспетчерскому управлению Объединенной энергосистемой Центральной Азии. – Ташкент: КДЦ «Энергия», 2010.
2. Разработка совместной концепции развития ЕЭС Казахстана и ОЭС Центральной Азии. – Алматы, 2023.
3. Аллаев К.Р. К вопросу интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему Узбекистана. – Ташкент: Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – 2022 .– № 1.
4. Насиров Т.Х., Непомнящий В.А., Шамсиев Х.А. Влияние ветровых и солнечных электростанций на управляемость и надежность функционирования энергосистем / Республиканская научно-техническая конференции «Новые технологии – основа развития энергетики Узбекистана», ТГТУ, декабрь 2020.
5. Шамсиев Х.А. Проблемы при интеграции ВИЭ в энергосистему Узбекистана и рекомендации по их решению / Практический семинар «Расширение трансграничного сотрудничества в области энергетики за счет внедрения энергии ветра и солнца в энергосистемы государств – участников СНГ для достижения ЦУР 7», Алматы, декабрь 2021.
6. Бум возобновляемой энергетики чреват новыми отключениями без адекватных инвестиций в надежность энергосистемы. <https://www.forbes.com/energy/?sh=37242e4de33c> (дата обращения: 06. 06. 2024)

XVII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «РОЛЬ СТРАН БРИКС+ В ДОСТИЖЕНИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ»

21–22 ноября 2024 г.

УДК 620.9

*Бовей Го,
доцент
Китайский народный университет*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И ГЛОБАЛЬНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Аннотация. В современном мире энергетическая отрасль играет ключевую роль в решении некоторых насущных проблем, с которыми сталкивается человечество. Модернизация этого важного сектора имеет жизненно важное значение не только для повышения энергоэффективности и устойчивости, но и для укрепления глобального энергетического управления, способного удовлетворить будущие потребности. В презентации рассматриваются ключевые проблемы глобального энергетического управления, значение модернизации энергетики и впечатляющий прогресс Китая в преобразовании своего энергетического ландшафта.

Ключевые слова: энергомодернизация, глобальное управление в энергетике, инновации в чистой энергетике, энергетическая безопасность.

*Bowei Guo,
Associate professor
Renmin University of China*

ENERGY INDUSTRY MODERNIZATION AND GLOBAL ENERGY GOVERNANCE

Abstract. In today's world, the energy industry plays a pivotal role in addressing some of the most pressing challenges facing humanity. Modernizing this critical sector is not only vital for enhancing energy efficiency and sustainability but also for fostering global energy governance capable of meeting future demands. This presentation explores the key challenges of global energy governance, the significance of energy modernization, and China's remarkable progress in transforming its energy landscape.

Keywords: Energy Modernization, Global Energy Governance, Clean Energy Innovation, Energy Security.

I. Key Challenges in Global Energy Governance

Global energy governance faces three interconnected challenges that require immediate and strategic responses.

The first challenge is energy inequality and poverty. Energy inequality remains a significant global issue, particularly in underdeveloped regions such as rural Africa, where access to sufficient and affordable energy is limited. This lack of energy access hinders economic development, exacerbates poverty, and widens social disparities.

The second challenge is energy security vulnerabilities. Energy security is increasingly under threat, as evidenced by incidents like the Nord Stream pipeline sabotage in 2022. Such events reveal the vulnerabilities of energy infrastructure and highlight the risks posed by geopolitical tensions, emphasizing the need for more resilient and secure energy systems.

The third challenge is climate change and its impacts. The intensifying effects of climate change, manifested in the form of frequent droughts, floods, and wildfires, disrupt energy systems and underscore the urgent need for sustainable energy solutions. Addressing climate change requires a governance framework that balances sustainability, equity, and economic stability.

These challenges necessitate a cohesive and inclusive approach to energy governance that emphasizes collaboration and innovation to achieve long-term solutions.

II. The Importance of Energy Modernization

Energy modernization is a cornerstone of global efforts to address the aforementioned challenges. It can be defined through three key dimensions.

The first dimension is stable energy. A stable energy supply ensures resilience against crises, such as oil price fluctuations and geopolitical conflicts. Modernized energy infrastructure, such as advanced grid systems, enhances system reliability and minimizes the risks of large-scale disruptions.

The second dimension is affordable energy. Affordability involves adopting cost-effective technologies and improving energy efficiency to reduce production and consumption costs. By making energy more accessible, particularly to underserved populations, modernization contributes to social equity and economic growth.

The third dimension is sustainable energy. Sustainability focuses on deploying renewable energy technologies, such as solar, wind, and electric vehicles, to reduce carbon emissions and transition to a low-carbon economy. A sustainable energy system is critical for combating climate change and achieving environmental goals.

By addressing stability, affordability, and sustainability, energy modernization aligns with the global objective of building an inclusive and resilient energy future.

III. China's Approach to Energy Modernization

China has emerged as a global leader in energy modernization, with notable progress in two key areas: modernizing traditional energy sources and industrializing clean energy innovation.

1. Modernizing Traditional Energy Sources

China has invested heavily in renewing its energy infrastructure, with a particular focus on ultra-high voltage (UHV) transmission lines. These advancements have significantly improved grid stability and enabled long-distance energy transfer.

Energy digitization has further enhanced operational efficiency through the adoption of big data analytics, smart grids, and predictive technologies. These tools allow for real-time monitoring and optimization of energy systems, ensuring reliable and efficient energy delivery.

China's commitment to decarbonization is another cornerstone of its modernization efforts. By aligning with its dual carbon goals, China is transitioning toward a low-carbon energy system,

which includes integrating renewable energy sources and implementing carbon trading mechanisms.

2. Industrializing Clean Energy Innovation

China's success in clean energy innovation is driven by a centralized R&D system, robust domestic markets, and a focus on systematic competitiveness. The country's "new national system" fosters collaboration between government, industry, and academia, enabling rapid advancements in wind, solar, and energy storage technologies.

China's large domestic market also plays a critical role in scaling up new technologies. For instance, the extensive adoption of electric vehicles (EVs) has driven down costs, making EVs more accessible both domestically and globally. Additionally, a comprehensive supply chain system supports the industrialization of clean energy technologies, ensuring efficiency and cost-effectiveness.

IV. Implications for Global Energy Governance

China's achievements in energy modernization have broader implications for global energy governance. The country's strategic collaborations on international projects, such as the Sino-Russian Yamal LNG initiative, demonstrate the potential of cooperative energy ventures. Harmonizing clean energy policies across borders is essential for achieving global carbon reduction goals and fostering sustainable development.

For other countries, such as Russia, adapting to the evolving energy landscape involves strengthening strategic planning, promoting regional partnerships, and accelerating the digital transformation of their energy sectors. Investments in clean energy, coupled with financial incentives and green finance initiatives, can enable countries to diversify their energy mix and reduce carbon intensity.

V. Conclusion

The modernization of the energy industry is essential for addressing global challenges such as climate change, energy inequality, and security vulnerabilities. By prioritizing stability, affordability, and sustainability, modernized energy systems can pave the way for a more inclusive and resilient future.

China's systematic approaches, including its emphasis on clean energy innovation and international cooperation, set a benchmark for global energy governance. These efforts highlight the importance of shared goals and collaborative strategies in achieving a sustainable and interconnected energy future. As nations work together to address common challenges, the path to a cleaner and more resilient world becomes increasingly attainable.

This presentation provides a comprehensive exploration of the topic, offering a roadmap for understanding the critical role of energy modernization in shaping global governance strategies.

Г.О. Ярыгин,
*кандидат политических наук,
доцент кафедры американских исследований
Санкт-Петербургский государственный университет
199034, Россия, Санкт-Петербург
e-mail: g.yarygin@spbu.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ: ОПЫТ КИТАЯ

Аннотация. Китай, являясь крупнейшей экономикой мира, лидером по объемам энергопотребления и выбросов углекислого газа в атмосферу, в то же время представляет собой крупнейшую площадку применения технологий искусственного интеллекта для адаптации национального энергопотребления и декарбонизации. В статье представлен анализ работы своеобразного гигантского полигона для испытаний передового опыта по системному применению искусственного интеллекта в целях декарбонизации: выявляются зеленые, позитивные, и красные, негативные, эффекты эксплуатации алгоритмов ИИ в целях сохранения окружающей среды. В заключении приводятся аргументы, на настоящем этапе препятствующие масштабированию успешного опыта КНР в данной сфере в рамках БРИКС. Принимая во внимание геополитический и геоэкономический масштаб БРИКС, можно предположить, что преодоление обозначенных препятствий позволиткратно нарастить зеленый эффект применения ИИ в целях декарбонизации на глобальном уровне.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, декарбонизация, энергосбережение, Китай.

Grigory Yarygin,
*PhD, Associate Professor,
American Studies Department
Saint Petersburg State University
199034, Russia, Saint Petersburg
e-mail: g.yarygin@spbu.ru*

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION FOR ENERGY CONSERVATION AND GHG EMISSIONS REDUCTION: CHINESE PERSPECTIVE

Abstract. Being the largest economy in the world and the leader in energy consumption and carbon dioxide emissions into the atmosphere, China, at the same time, represents the largest platform for the use of artificial intelligence technologies to adapt national energy consumption and decarbonization. The article presents analysis of a giant ground for testing best practices for the systemic use of artificial intelligence for decarbonization: green, positive and red, negative effects of AI algorithms operation in order to preserve the environment. In conclusion, arguments are presented that at the present stage impede the scaling of the successful experience of China in this area within BRICS. Taking into account the geopolitical and geo-economic scale of BRICS, overcoming of these obstacles will multiply the green effect of AI use for decarbonization on the global level.

Keywords: Artificial Intelligence, decarbonisation, energy consumption, China.

Китай, будучи одной из крупнейших экономик мира, также является лидером по выбросам CO₂ в атмосферу. Необходимо констатировать, что китайская модель экономического развития ориентирована не на ограничение потенциала развития и его воздействия на окружающую среду, а на адаптацию потенциала развития к возможному снижению негативного воздействия на окружающую среду. На долю КНР приходится до 30% глобальных выбросов углекислого газа в атмосферу. Китай реализует разнообразные стратегии по сокращению угле-

родного следа своего экономического развития. Одна из стратегий строится на применении ИИ в целях декарбонизации, создания климатических моделей и выработки тактических (еще не стратегических) рекомендаций.

На настоящем этапе ИИ интегрирован в администрирование экономических и хозяйственных процессов. Сбор и обработка информации об эффектах такой деятельности все чаще происходит автоматически и автономно на основе алгоритмов ИИ. Процесс принятия решений искусственным интеллектом при этом все еще контролируется оператором.

Применение ИИ в Китае в настоящее время регулируется «Временными мерами по управлению услугами генеративного искусственного интеллекта» от 2023 г.¹.

Ключевую экспертную роль для обеспечения процесса принятия решений правительством Китая играет Китайская академия информационных и коммуникационных технологий, аффилированная с Министерством промышленности и коммуникационных технологий.

В 2022 г. Академия разработала Белую книгу о контенте, генерируемом искусственным интеллектом². Этот документ раскрывает преимущества применения технологий ИИ для различных сфер обращения текстовых, аудио-, видеоматериалов (преимущественно сферы средств массовой информации и социальных медиа). Однако наиболее важным представляется, что данный документ содержит специальный раздел о рисках применения технологий ИИ и потенциальном злонамеренном использовании технологий искусственного интеллекта.

В текущих технологических и политических реалиях Китай является второй страной в мире после США по уровню развития исследований и масштабам применения ИИ.

Применение технологий искусственного интеллекта в целях управления и сохранения окружающей среды имеет позитивные и негативные эффекты.

Красные (негативные) эффекты ИИ:

Современные технологии ИИ находятся на ранней стадии информационного и технологического развития и представляют собой очень ресурсоемкий инструментарий.

- 1) Обучение ИИ крайне энергозатратно и требует значительных ресурсов воды.
- 2) Обучение ИИ является длительным ресурсоемким процессом.
- 3) Использование ИИ энергозатратно. Масштабы применения демонстрируют восходящую тенденцию: количество операций растет, количество итераций растет, объем потребляемых ресурсов для обеспечения этих операций и их итераций растет.

Так, например, одна итерация модели ИИ до 30 секунд потребляет ресурс энергии, равный затратам энергии для быстрой зарядки смартфона средней мощности, и 200 мл воды. ChatGPT ежедневно потребляет 500 тыс. кВт·ч.

Представляется важным подчеркнуть, что сегодня применение технологий ИИ не только не сокращает выбросы парниковых газов, но даже не компенсирует выбросы, связанные непосредственно с работой ИИ. Алгоритмы неизбежно станут более эффективными, а техноло-

¹生成式人工智能服务管理暂行办法 https://www.cac.gov.cn/2023-07/13/c_1690898327029107.htm (Дата обращения: 4.11.2024)

²人工智能生成内容 (AIGC) 白皮书 <https://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202211/P020221111501862950279.pdf> (Дата обращения: 4.11.2024); <https://interpret.csis.org/translations/artificial-intelligence-generated-content-aigc-white-paper-excerpt/> (Дата обращения: 4.11.2024)

гии, обеспечивающие работу алгоритмов, более экономичными, менее ресурсоемкими, однако это потребует неопределенного времени, в течение которого феномен искусственного интеллекта не будет «зеленым».

Цифровизация в целом имеет значительный экологический след: растет дополнительное энергопотребление, происходит технологическое загрязнение окружающей среды (загрязнение электронным мусором) и пр.¹

Обеспечивающие цифровизацию центры обработки данных (ЦОД) (серверы, сетевое оборудование) потребляют в значительных объемах энергию и воду. Компании, традиционно разрабатывающие цифровые технологии, а сегодня обратившиеся к искусственному интеллекту, для снижения финансовых и ресурсных издержек, связанных с реализацией своих проектов, все чаще прибегают к малой атомной энергетике и сформировали значительный опыт на этом пути. Так, ряд крупных компаний США, работающих в секторе технологий ИИ (Amazon, Microsoft, Google и некоторые другие), для поставок «безуглеродной» электроэнергии своим дата-центрам прибегают именно к ядерной энергетике (обычно речь идет о малых модульных реакторах (SMR), таких как X-Energy и Kairos. Вместо воды в качестве теплоносителя Kairos использует расплавленную соль, X-Energy использует гелий. Архитектура таких реакторов не подразумевает использование насосов для циркуляции хладагента. Таким образом, устраняется один из факторов аварийности, который для реакторов других моделей является ключевым. В реакторах этого вида не применяются стержни ядерного топлива. Их заменили тысячи топливных «кристаллов»². Малые модульные реакторы могут быть мобильными, размещаться на платформах, транспортируемых грузовиками, и располагаться в местах строительства ЦОДов без подключения последних к существующим электросетям.

Примеров атомных энергетических компаний, занимающихся разработками в сфере малой ядерной энергетике, и уже сегодня выполняющих обеспечивающую роль для обеспечения бесперебойной разработки и применения технологий ИИ, достаточно много, ими являются американские: Constellation Energy, Oklo, NuScale Power, X-Energy Reactor Company, TAE Technologies, Kairos Power, Uranium Energy, Energy Fuels, BWX Technologies и Centrus Energy, а также канадская компания General Fusion³.

Такая практика получила распространение в США, по меньшей мере, с 2017 г. Вероятно, она находит свое применение и в Китае, однако, в англоязычном сегменте СМИ выявить подобные упоминания затруднительно.

Зеленые функции, выполняемые искусственным интеллектом, в целях декарбонизации.

1. Мониторинг качества окружающей среды (состава воздушных масс, размеров лесных массивов) и выявление источников выбросов.

2. Оптимизация производства энергии:

А) ИИ позволяет построить цифрой двойник практически любого производства энергии с оценкой его экологического следа.

¹ Ярыгин Г.О. Экологизация цифровизации // Российский совет по международным делам. – 2022. – 15 декабря. <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/ekologizatsiya-tsifrovizatsii/>

² Ядерные реакторы и нейросети: как атомная энергия помогает развитию ИИ. Индустрия 4.0. (Дата обращения: 21.11.2024) <https://trends.rbc.ru/trends/industry/673ee1529a7947c4613369f7>

³ Там же.

Б) ИИ в режиме реального времени осуществляет мониторинг и учет выбросов углерода, связанных с производством определенного вида энергии. Так как эти процессы обычно линейны, ИИ вырабатывает стратегии по оптимизации производства не только с точки зрения экономически обоснованного хозяйственного процесса, но и в целях сокращения выбросов углерода. Важным аспектом является настройка алгоритма ИИ для определения баланса двух обозначенных императивов.

3. Оптимизация транспортировки энергии: управление энергетическими сетями, оптимизация их работы. ИИ отслеживает, оценивает, прогнозирует спрос на электроэнергию. На основе этих данных управляет мощностями.

На основе этих же данных ИИ балансирует транспорт энергии, генерируемой возобновляемыми источниками энергии и традиционными электростанциями. Таким образом, ИИ позволяет минимизировать использование ископаемого топлива и сократить объемы эмиссии.

4. Оптимизация потребления энергии.

4.1. Создание цифровых двойников объектов, потребляющих энергию.

4.2. Цифровые двойники зданий: промышленных и непромышленных. Оптимизация температурных режимов (отопления/охлаждения), режимов освещения, режимов работы электроприборов (бытовой и оргтехники, насосов, лифтового оборудования и т.д.) Оптимизация на основе режима работы зданий, а также на основе погодных условий.

4.3. Цифровые двойники цифровой инфраструктуры промышленных объектов. ИИ определяет оптимальные периоды для обновления программного обеспечения, проведения профилактических работ, перевода оборудования в режим пониженного энергопотребления для снижения энергозатрат таких объектов.

4.4. Цифровые двойники транспортной инфраструктуры. Оптимизация эмиссии, связанной с производством и материалами инфраструктуры, обслуживанием и обновлением инфраструктуры

4.5. Цифровые двойники транспорта. Маршрутизация, динамичная маршрутизация в режиме реального времени с целью сокращения времени пребывания транспорта на дороге с работающим двигателем, оптимизации скорости перемещения транспорта по дорогам. Адаптация расположения зарядных станций для электротранспорта, оптимизация энергонагрузки для таких станций в течение дневного цикла.

5. Оценка негативного воздействия на состояние окружающей среды. Технологии ИИ не предвзято и в режиме реального времени производят оценку негативного воздействия антропогенной деятельности на окружающую среду. В данном контексте важным представляется набор ценностей и приоритетов, заложенных в алгоритм ИИ. Несмотря на то, что ИИ в данном случае выполняет только администрирующую функцию по оперативному сбору и оценке данных, высокое значение будут иметь рекомендации, которые ИИ разработает на основе полученных данных для лиц, принимающих решения в отношении той или иной антропогенной деятельности.

Опыт Китая в применении ИИ для декарбонизации.

Координирующим центром по разработке концепции применения искусственного интеллекта в энергетических целях в национальных масштабах является Департамент новой энергии Национального энергетического управления при поддержке Министерства по науке и технологиям.

На настоящем этапе в КНР технологии ИИ в целях декарбонизации применяются в следующих областях:

Регулирование эмиссии углекислого газа городских поселений:

В крупных городах энергопотребление и эмиссия приходится на следующие источники: 1) энергопотребление транспорта, 2) энергопотребление зданиями (до 60%).

Одним из наиболее успешных китайских проектов применения искусственного интеллекта для производства чистой энергии на основе ВИЭ, последующего анализа и адаптации энергопотребления чистой энергии городами, перенаправления чистой энергии, произведенной сверх нужд городов потребителям к другим городам потребителям, является использование ИИ в Синьцзян-Уйгурском автономном районе (СУАР). На протяжении нескольких лет ИИ в масштабах одного автономного района «обучался» на основе данных об объемах производимой чистой энергии ВИЭ, требующихся объемах энергии, режимах ее потребления, нагрузках на передающие энергии сети и др. К настоящему времени данная модель ИИ способна управлять производством чистой энергии в автономном районе, удовлетворяющим не только внутренний спрос, но и обеспечивающий «экспорт» чистой энергии в энергодефицитные города за пределами района.

Умные сети

Подавляющая часть генерации на основе ВИЭ находится в «трех северных районах» Китая, на них, например, приходится до 80% выработки ветряной энергии. Лидером в использовании новых источников энергии является упомянутый ранее Синьцзян-Уйгурский автономный район. Выработка электричества в СУАР происходит неравномерно, излишки энергии в требующихся объемах перенаправляются в Пекин, Тяньцзинь, Хэбэй, Шаньдун, Восточно-Китайскую энергосистему и Центральную китайскую энергосистему. Рекомендации по объемам производства, накопления, экспорта и транспорта, в зависимости от нагрузки на сети традиционно произведенной энергии вырабатывает ИИ. Такие рекомендации разрабатываются не только в режиме реального времени, но на перспективу, так как применяемая модель ИИ изучила не только циклический дневной-ночной и сезонный спрос, но и включает в модель расчетов вводимые в строй мощности энергопотребления (последний тезис в настоящее время относится только к СУАР).

Всего в 18 регионах провинциального уровня (провинции и автономные округа) Китая в достаточно больших населенных пунктах уровня города действуют умные электрические сети, которые управляются ИИ. ИИ распределяет электроэнергию по сетям районов, минимизирует потери.

Китайская компания Агир разработала технологию ИИ для управления энергообеспечением отдельных зданий в Гонконге. Сегодня она применяется уже для управления кварталами.

Картирование лесных массивов

ИИ применяется в целях геопространственного картирования территории КНР на основе спутниковых снимков территории с целью составления подробной видовой карты лесных угодий, а также отслеживания их изменений в квартальной динамике. На основе получаемых данных алгоритмами ИИ производится мониторинг поглощающей способности лесов, анализ темпов сведения лесов, производится расчет и оценка негативного эффекта вырубки леса. Получаемые данные включаются в динамическое измерение текущего уровня углерода, его годовых флуктуаций в национальном масштабе.

Данная модель ИИ применяется Министерством природных ресурсов КНР, которое в 2023 г. обновило географические карты Китая на основе работы этой модели ИИ.

Наблюдение за погодными условиями

Алгоритмы ИИ, обрабатывающие метеоданные, применяются для определения пиков нагрузки на энергосети, объемов потребления и видов энергии (генерируемой из традиционных источников или ВИЭ) в периоды разных погодных циклов. Это позволяет избежать дефицита энергоснабжения, а также минимизировать ущерб энергосистемам от критических погодных проявлений или стихийных бедствий. Согласно публикациям в англоязычных СМИ, Китайское метеорологическое управление масштабно тестирует модели ИИ для прогнозирования погоды. Вероятно, речь идет о собственной ведомственной разработке технологии ИИ. Система получила название Фэнью. На современном этапе система способна за десятки секунд составлять высокоточный прогноз погоды на ближайшие 10 дней и достоверный прогноз на последующие 10 дней. Применение модели ИИ Фэнью позволяет не только управлять генерацией энергии, определять наилучшие доступные периоды для применения определенных ВИЭ, но и повысить готовность к ухудшению погодных условий, снизить издержки, связанные с повреждением инфраструктуры и последующим восстановлением, имеющим неизбежно повышенный углеродный след.

Умная промышленная инфраструктура

На основе анализа моделей цифровых двойников алгоритмы ИИ интегрируются в администрирование технологических процессов производственных комплексов.

Например, Baidu использует ИИ-системы для оптимизации производственных процессов на своих фабриках. При этом снова встает вопрос о тех ценностях и приоритетах, которые закладываются разработчиками в применяемые модели ИИ.

Проблемы заключаются в следующих аспектах:

- 1) определение баланса рентабельности производства и сокращения выбросов углерода;
- 2) сложность с оптимизацией и координацией работы кибербезопасности и систем обновления программного обеспечения, которые алгоритмы ИИ в обычных условиях стремятся производить в ночные периоды, когда нагрузка на энергосистему предприятия ниже, когда технологические процессы могут не выполняться. Однако такой подход к обновлению программного обеспечения не применим для предприятия 24-часового рабочего цикла.

Недропользование

Китайская национальная нефтегазовая корпорация (CNPC – China National Petroleum Corporation), Китайская нефтяная и химическая корпорация (Sinopec – China Petroleum and Chemical Corporation), Китайская национальная морская нефтяная корпорация (CNOOC – China National Offshore Oil Corporation), а также крупные нефтесервисные компании AntonOIL, Kerui и Jereh в партнерстве с высокотехнологичными компаниями разработали и применяют индивидуальные коммерчески ориентированные модели ИИ с разнообразным функционалом¹. Так, например, Китайская национальная нефтегазовая корпорация в сотрудничестве с компанией Хуавей создала платформу для когнитивных

¹ Искусственный интеллект в нефтегазовой индустрии Китая // Нефтегазовая вертикаль. – 2024. – № 10. <https://ngv.ru/articles/iskusstvennyy-intellekt-v-neftegazovoy-industrii-kitaya/> (Дата обращения: 5.11.2024).

вычислений «Е8», обеспечивающую анализ данных для разведки и добычи нефти, а также для управления производством.

Энергетическая компания	ИИ	Функционал
CNPC	E8	Цифровые двойники. Управление производством.
Sinopec	Oilfield Smart Cloud Industrial Internet Platform	Цифровые двойники. Управление производством.
CNOOC		Управление данными для разведки и разработки.

Для интерпретации сейсмических данных, для бурения и закачивания скважин, интеллектуальной разработки пласта, разработки коллекторов китайские компании применяют разнообразные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN), вероятностные нейронные сети (PNN), глубокие нейронные сети (DNN), генеративно-состязательную сеть (GAN) для классификации и распознавания форм сейсмических волн»¹, часто западных компаний.

Проблемы распространения опыта Китая в странах БРИКС.

Масштабировать практики применения технологий ИИ для декарбонизации на данный момент затруднительно по следующим причинам:

1) Технологии ИИ / алгоритмы являются коммерческим продуктом, обеспечивающим рыночные преимущества. Компании-владельцы, действуя в конкурентной среде, будут стремиться к сохранению своего превосходства.

2) Модели ИИ обучаются на основе данных, которые по умолчанию относятся к сведениям, относящимся к государственной тайне (т.е. при раскрытии кода знание алгоритмов и результатов их работы позволяет восстановить исходные данные).

3) Китай подчеркивает, что искусственный интеллект является технологией двойного назначения. Раннее раскрытие технологий и применяемых алгоритмов ИИ в такой чувствительной сфере, как энергетика, создает поле для злонамеренного применения ИИ недоброжелателями. Китай является одной из первых стран мира, которая в официальных документах указывает не только на теоретические возможности неправомерного применения ИИ, но обозначает такие как уже существующие угрозы национальной безопасности государства².

4) Отсутствие правовой возможности координировать применение ИИ в столь масштабном объединении, как БРИКС, проблематично в условиях отсутствия международного нормативно-правового регулирования ИИ.

5) В силу геополитических причин Китай (нарастающего торгового, экономического, технологического противостояния с США) начал применять свод правил экспортного контроля, охватывающий многие химические вещества, сырье, оборудование и металлы, которые обычно используются в глобальной цепочке поставок технологий, оборонного оборудо-

¹ Искусственный интеллект в нефтегазовой индустрии Китая // Нефтегазовая вертикаль. – 2024. – № 10. <https://ngv.ru/articles/iskusstvennyy-intellekt-v-neftegazovoy-industrii-kitaya/> (Дата обращения: 5.11.2024).

² Базаркина Д.Ю., Пашенцев Е.Н., Михалевич Е.А. Регулирование рисков, связанных со злонамеренным использованием искусственного интеллекта в США, ЕС и Китае // Современная Европа. – 2024. – № 6. – С. 156–167.

дования, авиации и космических аппаратов и т.п.¹ Меры экспортного контроля возможно регулировать и вывести из-под их действия компании стран БРИКС, однако масштабная реализация такой возможности представляется маловероятной.

Китайскую модель применения искусственного интеллекта для энергосбережения и сокращения выбросов парниковых газов можно охарактеризовать как успешную. Однако современные общемировые условия использования ИИ подразумевают фрагментарность его применения. Фрагментарность проявляется в правовых, политических, экономических, этических и, как следствие, географических ограничениях применения ИИ для сохранения окружающей среды. По этой причине китайская модель не может быть перенесена и применена в других юрисдикциях БРИКС, но может быть воспроизведена, что, неизбежно, сделает этот процесс более дорогостоящим и длительным.

УДК 620.9, 620.93

*Жанбулатова Райхан Сайлаубековна,
доктор философии (PhD), старший преподаватель,
Евразийский национальный
университет им. Л.Н. Гумилева /
Энергетические аспекты Казахстана,
Астана, Казахстан*

ПОЛИТИКА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН: ОСОБЕННОСТИ, ВОЗМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности, вызовы и возможности, связанные с декарбонизацией экономики Казахстана в контексте глобальных усилий по борьбе с изменением климата. Особое внимание автором уделяется процессу достижения углеродной нейтральности к 2060 году, включая цели по сокращению выбросов парниковых газов, переходу на возобновляемые источники энергии и развитию водородной энергетики. Казахстан активно участвует в международных климатических соглашениях, таких как Парижское соглашение. Автором проведен SWOT-анализ, который выявляет ключевые сильные и слабые стороны, а также угрозы и возможности в области декарбонизации. В качестве основных проблем автор указывает на зависимость от углеводородов, нехватку финансирования и технологий.

Ключевые слова: декарбонизация, устойчивое развитие, энергетическая безопасность, водородная энергетика, Республика Казахстан.

*Zhanbulatova Raikhan
PhD, senior lecturer,
L.N. Gumilyov Eurasian National University/
Research Center “Energy Aspects of Kazakhstan”,
Astana, Kazakhstan*

DECARBONISATION POLICY IN KAZAKHSTAN: FEATURES, OPPORTUNITIES AND RISKS

Abstract. This article addresses the features, challenges and opportunities related to the decarbonization of the Kazakhstan economy in the context of global efforts to combat climate change. The special focus is made on the

¹ China to tighten export curbs on critical metals ahead of Trump's return. November 16, 2024. <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Supply-Chain/China-to-tighten-export-curbs-on-critical-metals-ahead-of-Trump-s-return> (Дата обращения: 19.11.2024)

process of achieving carbon neutrality by 2060, including goals for reducing greenhouse gas emissions, switching to renewable energy sources and developing hydrogen energy. Kazakhstan widely participates in international climate agreements such as the Paris Agreement. The author conducted a SWOT analysis that identifies key strengths and weaknesses, as well as threats and opportunities in decarbonization. The author underlines the main problems, which are: the dependence on hydrocarbons, lack of funding and technology.

Keywords: decarbonisation, sustainable development, energy security, hydrogen energy, Kazakhstan.

Современный мир все больше зависит от рисков, среди которых изменение климата и энергетическая безопасность остаются наиболее важными. Безусловно, экзистенциальная угроза изменения климата является основным фактором поворота глобальной экономики к декарбонизации. В частности, «негативные последствия изменения климата особенно остро ощущаются в Центральной Азии из-за Аральской трагедии. Повышение температуры воздуха в нашем регионе вдвое превышает средний мировой показатель. Количество чрезвычайно жарких дней увеличилось в два раза, растаяла треть массивов ледников» [1].

Указанные растущие риски для человечества, связанные с изменяющимся климатом, обусловили необходимость для Казахстана внести свой вклад в усилия международного сообщества и постепенно переходить на низкоуглеродное и, в итоге, на углеродно-нейтральное развитие.

Отмечая 70-ю годовщину создания ООН, в сентябре 2015 года на очередной сессии Генеральной Ассамблеи международное сообщество указало на взаимосвязь между экологической, социальной и экономической устойчивостью будущего развития. 25 сентября 2015 года принята резолюция «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития до 2030 года». Согласно данной резолюции, 193 государства – члена ООН обязались развивать глобальные усилия, чтобы обеспечить устойчивый, всеохватный и поступательный рост, социальную интеграцию и защиту окружающей среды в условиях партнерства и мира. В Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года изложены 17 интегрированных целей в области устойчивого развития (ЦУР), обеспечивающих баланс между социальной, экономической и экологической устойчивостью. Цели климатических действий прописаны в ЦУР 13, но они также связаны со многими другими ЦУР, такими как Хорошее здоровье и благополучие (ЦУР 3), Доступная и чистая энергия (ЦУР 7), Достойная работа и экономический рост (ЦУР 8), Устойчивое развитие городов и населенных пунктов (ЦУР 11) и Ответственное потребление и производство (ЦУР 12) [2].

Безусловно, важным шагом в направлении к устойчивому развитию стало подписание соглашения по климату во время 25-й конференции сторон Рамочной Конвенции ООН по изменению климата в Париже 12 декабря 2015 г. На сегодняшний день к Парижскому соглашению присоединились 194 государства [3].

Цель Парижского соглашения – ограничить повышение глобального уровня температуры до 1,5 °C до 2100 года, сократить выбросы парниковых газов на 43% к 2030 году. Каждая страна должна самостоятельно определять свою политику посредством реализации определяемых на национальном уровне вкладов (ОНУВ) [3].

В Парижском соглашении была сформирована основа для развития механизмов экстерриториального сокращения выбросов. Статья 6 соглашения обозначает совместные «экстерриториальные» подходы, которым могут следовать страны-участницы, чтобы расширить охват своих политических решений по климату за пределы национальных границ. Примером данного подхода является то, что 16 мая 2023 г. в Европейском Союзе (ЕС) вступил в силу механизм трансграничного углеродного регулирования (СВАМ).

Согласно этому решению, до 1 января 2026 года будет длиться переходный период, во время которого импортеров обяжут подавать отчеты о количестве выбросов парниковых газов при

производстве их продукции [4]. Начиная с 1 января 2026 года в ЕС будет взиматься пошлина на импорт отдельных видов продукции, соразмерная степени, в которой выбросы парниковых газов от их производства превышают установленную норму. В качестве индикатора будет считаться объем выбросов 10% компаний ЕС, ведущих деятельность в определенной отрасли, с наибольшим уровнем выбросов на единицу продукции согласно отчетным данным. СВММ дополняет Систему торговли квотами на выбросы (ETS) ЕС, которая нацелена на сокращение выбросов углерода в странах ЕС на 55% к 2030 году по сравнению с уровнем 1990 года и в конечном итоге достижение нулевого уровня выбросов к 2050 году [5].

Республика Казахстан подписала Парижское соглашение 2 августа 2016 года и ратифицировала его 6 декабря 2016 года. Перед официальным подписанием Соглашения в сентябре 2015 года Казахстан продемонстрировал свою приверженность цели Парижского соглашения, представив свой ОНУВ в РКИК ООН. В частности, Казахстан планирует обеспечить углеродную нейтральность к 2060 году.

ОНУВ Казахстана предполагает следующие цели по сокращению выбросов парниковых газов:

- Безусловное сокращение выбросов ПГ на 15% к декабрю 2030 года по сравнению с 1990 годом;
- Сокращение выбросов ПГ на 25% к декабрю 2030 года по сравнению с 1990 годом при условии дополнительных международных инвестиций, доступа к механизму передачи низкоуглеродных технологий, средств Зеленого климатического фонда и гибкого механизма для стран с переходной экономикой.

На сегодняшний день наблюдается устойчивая тенденция к снижению выбросов ПГ в сфере энергетики и в сельском хозяйстве Казахстана (табл. 1)

Таблица 1. Изменение объемов выбросов ПГ в Казахстане в разбивке по секторам экономики в 1990 и 2020 годах, млн тонн CO₂-экв.

Секторы экономики (основные источники ПГ)	1990 г.	2020 г.	Изменения на 2020 г. в отношении к 1990 г., %
Энергетический сектор	316,92	272,50	-14,02
Сельское хозяйство	44,74	40,72	-8,98
Промышленность	19,29	22,29	+ 15,54
Землепользование и лесное хозяйство	-3,91	8,38	+314,30
Отходы	4,65	7,35	+58,17
Всего	381,69	351,24	-7,98
Примечание: составлено согласно источнику [6]			

Поскольку энергетический сектор является источником наибольшего количества выбросов ПГ в Казахстане, можно заметить, что в республике активно поддерживаются инициативы по диверсификации энергетических проектов для усиления перехода к низкоуглеродной энергетике в перспективе. И если уточнить, что на 2022 год около 80% всех ежегодных выбросов ПГ в Казахстане связаны с энергетическим сектором, а в его рамках 87% выбросов энергетического сектора приходятся на угольные электростанции, следовательно, переход с угля на природный газ или возобновляемые источники энергии в сфере производства электроэнергии повлечет за собой существенное снижение выбросов ПГ в энергетике Казахстана.

Важным представляется, что 2 февраля 2023 года в Казахстане принята Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года [6].

Она предусматривает декарбонизацию промышленных процессов путем:

- использования альтернативных строительных материалов вместо цемента, стали, алюминия с меньшей или нулевой интенсивностью выбросов ПГ;
- увеличения объемов переработки отходов для снижения потребности в переработке сырья как основного источника выбросов от сектора;
- внедрения новых технологий производства с нулевым уровнем выбросов ПГ в сочетании с улавливанием и хранением углерода;

Кроме того, в декабре 2023 года Казахстан присоединился к Глобальному обязательству по сокращению выбросов метана (Global Methane Pledge) [7]. Инициированное США и ЕС Глобальное обязательство ставит целью сокращение антропогенного выброса метана не менее чем на 30% к 2030 году по сравнению с уровнем 2020 года. Выполнение GMP позволит предотвратить потепление на 0,2°C к 2050 году, а также сохранить пределы роста глобального потепления на уровне не более 1,5 °C.

Следует отметить, что Казахстан рассматривает как один из важных компонентов своего будущего энергобаланса атомную энергетику. Считается, что развитие атомной энергетики позволит достичь углеродной нейтральности к 2060 году, увеличить долю чистых источников энергии и обеспечить надежное энергоснабжение [8]. Казахстан присоединился к декларации ООН по трёхкратному увеличению использования атомной энергии.

Предлагаемый ниже SWOT-анализ процессов декарбонизации Казахстана (табл. 2) показывает текущее положение Казахстана в процессе декарбонизации и выявляет ключевые области для дальнейшего развития и улучшения.

Таблица 2. SWOT-анализ процессов декарбонизации Казахстана

Strengths	Weaknesses
1. Запасы солнечной, ветровой и гидроэнергетики, что открывает широкие возможности для перехода на возобновляемые источники энергии. 2. Наличие стратегий и программ по устойчивому развитию и декарбонизации. 3. Участие в международных соглашениях. 4. Наличие проектов по строительству новых объектов возобновляемых источников энергии.	1. Зависимость от традиционных видов энергии (нефти, газа и угля) делает переход сложным и рискованным. 2. Проблемы с финансированием в сфере чистой энергии. 3. Нехватка современных технологий. 4. Нехватка квалифицированных кадров в области зеленых технологий и устойчивого развития. 5. Геополитические и геоэкономические риски.
Opportunities	Threats
1. Возможность привлечения инвестиций в проекты по возобновляемой энергетике. 2. Развитие новых технологий: Возможности для внедрения инновационных технологий в «зеленую» экономику. 3. Сотрудничество с международными институтами для получения помощи и консультаций.	1. Конкуренция со стороны других стран, стремящихся к лидерству в области «зеленой» энергии. 2. Рост социальной напряженности как реакции населения на изменения в угольной и нефтяной отраслях. 3. Волатильность мировых рынков может повлиять на финансирование инициатив по декарбонизации.

Как можно видеть, новые возможности для страны открываются в области привлечения «зеленых» финансов, трансфера безуглеродных технологий, интеграции в мировой углеродный рынок, реализации углеродных и климатических проектов под эгидой Парижского соглашения, а также участия в новых международных рынках «зеленых» энергоресурсов и инновационных технологий. И имеются позитивные сдвиги, в частности, развитие возобновляемых источников энергии в Казахстане находится на стадии активного роста. Как отмечается, Республика Казахстан «обладает огромным потенциалом для развития ветровой и солнечной энергетики, а также для производства «зелёного» водорода» [1], особенно в южных и западных регионах.

По нашему мнению, Казахстан имеет достаточные преимущества для развития всех звеньев цепочки добавленной стоимости в водородной энергетике: научно-исследовательские работы – производство водорода – транспортировка – использование. Особо значимо то обстоятельство, что Казахстан, обладает запасами природного газа – основы в производстве «голубого» водорода – и, следовательно имеет потенциал для его производства, а также инфраструктуру для его транспортировки и хранения. И, стоит отметить, что в Казахстане идет формирование предпосылок развития водородной экономики. Вошел в силу новый экологический Кодекс РК, соответствующий мировым стандартам в плане развития зеленой энергетики, а также сравнительно недавно была утверждена Концепция развития водородной энергетики в Республике Казахстан до 2040 года [10].

Однако можно утверждать, что доля возобновляемых источников энергии в Казахстане значительно ниже, чем в среднем по миру, и составляет незначительную часть от общего энергобаланса. В основном, энергетика Казахстана базируется на ископаемом топливе. Хотя Казахстан обладает значительным потенциалом для развития возобновляемых источников энергии, рост их достаточно медленный (до 6% в энергобалансе страны), и финансирование (как одна из главных проблем отрасли), остается в процентном соотношении все еще низким (менее 5%) [6]. Сохраняющаяся зависимость от традиционных источников энергии (нефти, газа и угля) делает, таким образом, энергопереход достаточно сложным.

Немало и других вызовов на пути безуглеродного развития. На наш взгляд, введение Европейским Союзом механизма трансграничного углеродного регулирования 16 мая 2023 г., международное распространение механизмов ценообразования на выбросы парниковых газов, вывод инвестиций из проектов и активов, связанных с ископаемым топливом, – все эти факторы должны быть учтены при разработке и реализации национальных и отраслевых планов достижения углеродной нейтральности, чтобы снизить риски и повысить привлекательность экономики Казахстана.

Представляется очевидным, что глубокая декарбонизация экономики Казахстана может быть достигнута только при условии серьезных преобразований в институциональной и правовой среде, рыночных, инфраструктурных, технологических и социальных изменений [10]. В складывающейся ситуации государству нужно продемонстрировать, что страна располагает «выгодными» ресурсами, разработка, добыча и транспортировка которых возможна по относительно низкой цене и с незначительным углеродным следом, создать четкую нормативную среду и, что немаловажно, обеспечить своевременное принятие решений, касающейся этих вопросов. Именно эти факторы смогут помочь создать условия для внешнего инвестирования.

Резюмируя, можно указать, что политика декарбонизации – это, безусловно, сложный процесс, который требует кардинальных перемен в использовании энергоресурсов и технологий. Несмотря на определенные сложности, Казахстан своей политикой показывает активную роль в глобальных действиях по борьбе с изменением климата. Самое определяющее, в стране существует четкое понимание, что декарбонизация экономики может быть достигнута только при условии последовательных преобразований.

Источники

1. Адаптация неизбежна и необходима». Что сказали президенты стран Центральной Азии на COP28 – Газета. uz// <https://www.gazeta.uz/ru/2023/12/02/cop28-summit/> (дата обращения: 9.01.2025)
2. 17 Goals to Transform Our World // <https://www.un.org/sustainabledevelopment/> (дата обращения: 8.01.2025)
3. The Paris Agreement // <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement> (дата обращения: 9.01.2025)
4. Углеродный налог ЕС: вызов или возможность для Казахстана // https://www.inform.kz/ru/uglerodnyy-nalog-es-vyzov-ili-vozmozhnost-dlya-kazahstana_a4073088 (дата обращения : 12.01.2025)
5. How the EU's carbon border tax will affect the global metals trade // <https://www.fxstreet.com/analysis/how-the-eus-carbon-border-tax-will-affect-the-global-metals-trade-202305020941> (дата обращения : 12.01.2025)
6. Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года – ИПС "Әділет"// <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121> (дата обращения: 9.01.2025)
7. Совместное заявление Казахстана и США об ускорении мер по снижению выбросов метана для выполнения Глобального обязательства по метану – Официальный сайт Президента Республики Казахстан// <https://www.akorda.kz/ru/sovmestnoe-zayavlenie-kazahstana-i-ssha-ob-uskorenii-mer-po-snizheniyu-vybros-ov-metana-dlya-vypolneniya-globalnogo-obyazatelstva-po-metanu-211523> (дата обращения: 8.01.2025)
8. Казахстан присоединился к декларации ООН по трёхкратному увеличению использования атомной энергии // <https://forbes.kz/articles/kazahstan-prisoedinilsya-k-deklaratsii-onn-po-trehkratnomu-uvvelicheniyu-ispolzovaniya-atomnoy-energii/amp> (дата обращения: 9.01.2025)
9. Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Республике Казахстан до 2040 года // <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/650913?lang=ru> (дата обращения: 9.01.2025)
10. Концепция низкоуглеродного развития (КНУР) Республики Казахстан // [7c8ae7ed6122c702bbd2b861136c0391_original.4145018.pdf](https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/650913?lang=ru)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР «ЭНЕРГЕТИКА И КЛИМАТ: СОХРАНЯЮЩИЕСЯ ПРОБЛЕМЫ В МЕНЯЮЩЕМСЯ МИРЕ»

15–16 мая 2025

УДК 339.5

*Ирина Миронова,
независимый эксперт*

ГАЗОВЫЙ РЫНОК ТУРЦИИ И СТРЕМЛЕНИЕ К СОЗДАНИЮ ГАЗОВОГО ХАБА В РАЗВИВАЮЩЕМСЯ ЕВРАЗИЙСКОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ЛАНДШАФТЕ

*Irina Mironova,
Independent Expert*

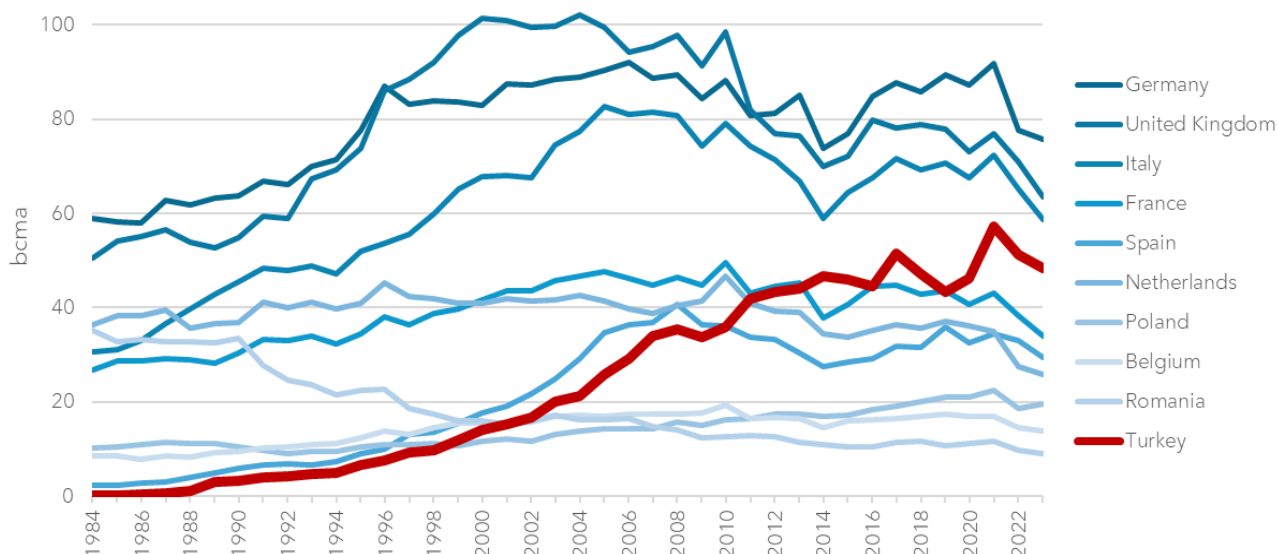
TÜRKIYE'S GAS MARKET AND HUB ASPIRATIONS IN THE EVOLVING EURASIAN ENERGY LANDSCAPE

Strategic Role of Natural Gas in Türkiye's Energy Balance

Türkiye is the fourth largest gas market in Europe and plays a critical role in the region's energy landscape. It handles approximately 10% of the European Union's gas imports through transit and serves as a key LNG enabler for Eastern Europe. With an estimated spare import capacity of 25–30 billion cubic metres per year, it supplies LNG, Azerbaijani gas, and Russian gas to neighbouring countries. The country's strategic ambition is to become the Eastern equivalent of the TTF, positioning itself as a regional gas pricing hub.

Top-10 natural gas consumers in Europe

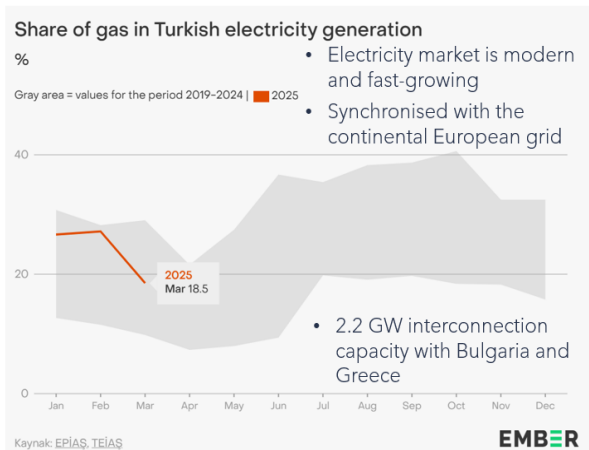
Source: Energy Institute



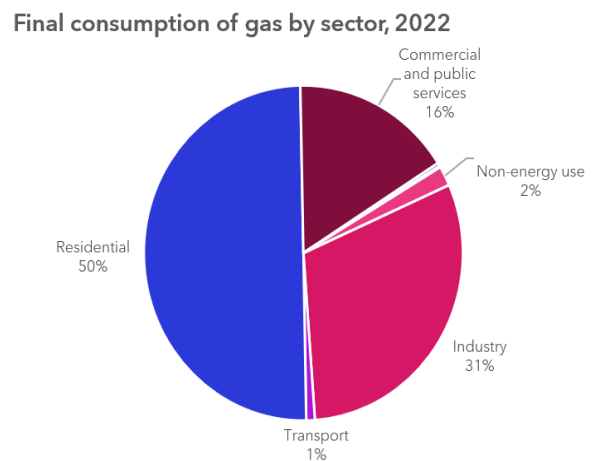
Natural gas plays an important role in Türkiye's energy mix, accounting for 26.2% of total primary energy consumption – just behind oil (30%) and ahead of coal (25%). It is vital for residential heating, power generation, and as a feedstock in industrial processes such as the production of chemicals and plastics.

Structure of natural gas consumption in Türkiye

29% → POWER GENERATION



71% → FINAL CONSUMPTION



Sources: Ember, IEA

In 2023, total gas imports reached 50 bcm, with pipeline imports making up 73%. Key pipeline suppliers included Russia (20.5 bcm), Azerbaijan (10.3 bcm) and Iran (5.4 bcm).

In recent years, the LNG segment of the market has undergone notable developments:

- **LNG Market Dynamics 2023:** LNG demand fell, largely due to the economic impact of the February 2023 earthquake and unseasonably mild winter conditions. Nevertheless, Turkey commissioned a new FSRU terminal at Saros, improving its import flexibility.
- **LNG Market Dynamics 2024:** During the peak winter months, Türkiye's LNG imports surged 43% year-on-year to 26 Mtpa, briefly making it the world's fourth-largest LNG importer after Japan, China, and South Korea. This increase was driven by a 68% year-on-year jump in **winter gas-for-power demand** and regulated retail pricing that insulated consumers from global price spikes.

Algeria emerged as the top LNG supplier (42% of Türkiye's LNG imports), followed by the U.S. (28%), while Russia increased its share from 3% to 11%.

Domestic natural gas prices, particularly for the residential sector, remain heavily regulated. In Winter 2024, BOTAŞ sold gas at prices closer to Henry Hub benchmarks than to European TTF levels. This policy led to a surge in downstream demand while shielding consumers from international volatility.

Türkiye's Gas Hub Aspirations: Regional Context and Constraints

Türkiye envisions transforming itself into a regional energy hub, leveraging its extensive pipeline infrastructure and LNG terminals to serve as a conduit between suppliers in the Middle East, Rus-

sia, the Caucasus, and European markets. The country already supplies gas to Hungary, Bulgaria, Romania, and Serbia and aims to expand its role to include pricing and trading – akin to Europe’s TTF platform in the Netherlands.

Minister Alparslan Bayraktar underscored this ambition in 2024: “We aim to become not only a gas hub where prices are formed, but also a physical export centre delivering gas to buyers in Europe.”

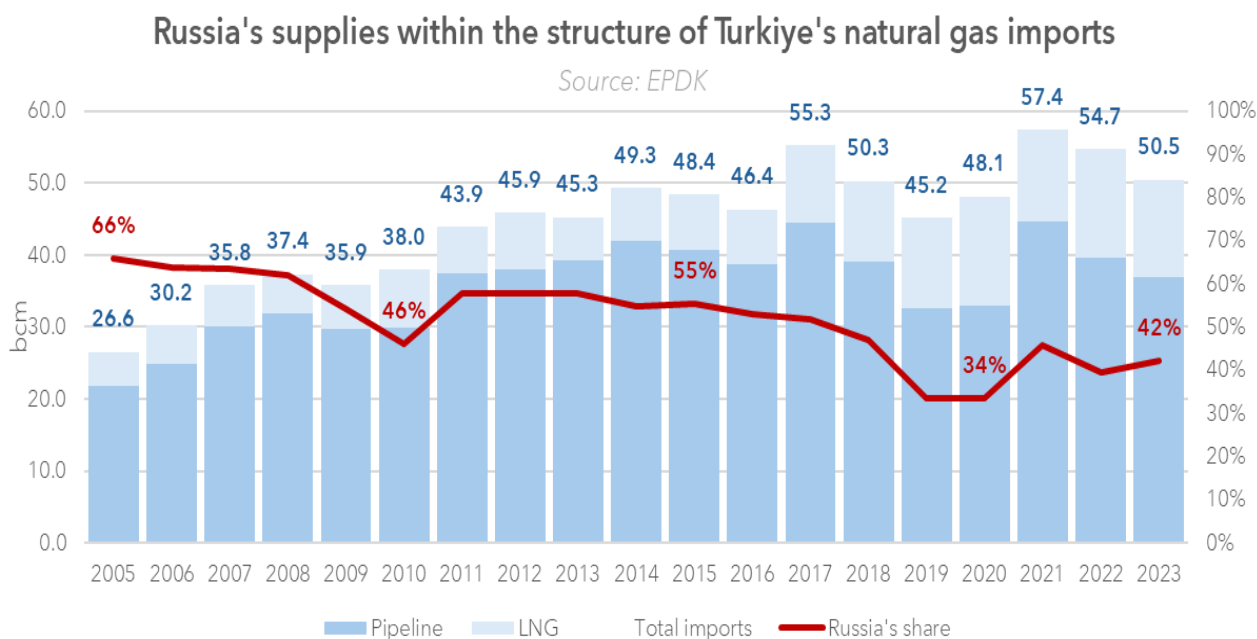
However, the EU’s evolving regulatory stance poses challenges. On May 6, 2025, the European Commission published a Roadmap to End Dependency on Russian Energy, proposing to:

- Ban all new contracts and spot purchases of Russian gas by the end of 2025.
- Phase out Russian gas imports entirely by 2027.
- Increase traceability and transparency in gas origin across EU markets.

These policies aim to prevent Russian gas from entering European markets via indirect channels, including potential re-exports from Türkiye.

If Russian pipeline imports to Türkiye do not exceed its domestic demand, Türkiye could argue that onward exports to Europe originate from non-Russian sources.

Currently, Russia supplies over 42% of Türkiye’s gas imports.



Despite Türkiye’s deep links with Russia, including a co-sponsored trading platform at the Istanbul Financial Centre, gas volumes can be ‘anonymised’ at the hub level. This could enable Türkiye to maintain volumes to Europe while formally complying with EU rules, provided physical flows and contractual structures are sufficiently separated.

Turkey’s legal and market frameworks also align with European models. The natural gas market is liberalised, with over 40 licensed wholesale suppliers and a balancing regime that the IEA (2021) described as “fully compliant with EU norms.” However, BOTAŞ retains a dominant role, and third-party access, while nominally open, remains limited in practice.

Strategic Choices: LNG, Energy Infrastructure, and the Clean Transition

Looking forward, Ankara faces a strategic choice: pursue its gas hub vision in the face of tightening European regulation, or pivot towards clean energy leadership in the Eastern Mediterranean.

Any pipeline options from the Middle East face substantial challenges of political and security nature. Thus, the choice of LNG seems like a more viable option which offers flexibility and access to a variety of geographical sources.

However, the problem is sendout pipeline capacity in the Western direction remains a key bottleneck in any of the strategic choices regarding natural gas (pipeline or LNG).

Türkiye is also poised to become a regional clean energy connector:

- It could anchor a broader Eastern Mediterranean power grid, integrating existing projects like the Egypt–Saudi interconnector, and the Greece–Cyprus–Israel "Great Sea Interconnector".
- Türkisch–Syrian grid integration could become a new node in this system, supporting renewable energy penetration and regional stability.

These developments could allow Türkiye to redefine its energy leadership not only as a fossil fuel transit state but as a key player in the clean energy transition.

Conclusion: Türkiye at a Crossroads

Türkiye's ambition to become a gas hub is supported by physical infrastructure, regulatory convergence with the EU, and strategic location. However, the initiative faces political and commercial uncertainty, particularly amid EU moves to decouple from Russian gas. Going forward, Türkiye's dual strategy – enhancing its LNG and pipeline capacities while investing in regional power connectivity and clean energy – could offer a more resilient path to long-term energy relevance.

As Türkiye recalibrates its energy diplomacy, the question is no longer "**whose side is Türkiye on?**", but rather "**how can Türkiye best serve its own interests in a changing energy world?**"

Sources

1. Türkiye's gas/energy market: IEA (<https://www.iea.org/countries/turkiye/natural-gas>), Ember (<https://ember-energy.org/data/turkiye-electricity-data-tools/>), Balance Point Research (<https://balancepointresearch.com/turkey-power-of-prices-on-display-during-win24/>).
2. European Commission on Russian gas: European Commission (https://commission.europa.eu/news/roadmap-fully-end-eu-dependency-russian-energy-2025-05-06_en), Reuters (<https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/eu-set-out-plan-phasing-out-final-russian-gas-supplies-2025-05-06/>), Politico (<https://www.politico.eu/article/eu-to-propose-blanket-ban-russia-gas/>), DW (<https://www.dw.com/en/why-the-eus-push-to-cut-russian-energy-ties-is-so-difficult/a-72454611>), EuroNews (<https://www.euronews.com/my-europe/2025/05/07/historic-mistake-von-der-leyen-rules-out-return-to-russian-fuels-after-the-war>).
3. Regional strategic context for Türkiye: Chatham House (<https://www.chatham-house.org/2024/12/turkeys-energy-hub-ambitions-have-new-momentum-after-assads-fall>), Carnegie Europe (<https://carnegieendowment.org/research/2025/04/how-eastern-europe-overhauled-its-natural-gas-market?lang=en>).

*Андрей Сапожников
Российская часть рабочей группы
Делового Совета
БРИКС по энергетике*

БРИКС: ОБМЕН ОПЫТОМ

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы углубления энергетического сотрудничества стран БРИКС в контексте реализации обязательств по декарбонизации и достижению углеродной нейтральности. Проведен сравнительный анализ структуры энергетических балансов, уровней энергообеспеченности и национальных стратегий перехода к низкоуглеродной экономике, что позволяет выявить возможности трансфера технологий и лучших управленческих практик. Особое внимание уделяется институциональным механизмам обмена опытом, развитию принципов циркулярной экономики, включая повторное использование промышленных ресурсов и отходов, а также внедрению цифровых и предиктивных решений для повышения надежности энергетической инфраструктуры. Показано, что системная координация и обмен знаниями способны ускорить устойчивую и справедливую трансформацию энергетических систем государств-участников.

Ключевые слова: БРИКС; энергетический переход; декарбонизация; углеродная нейтральность; международное энергетическое сотрудничество; обмен технологиями и знаниями; циркулярная экономика; повторное использование ресурсов и отходов; ресурсная эффективность; предиктивная диагностика оборудования.

*Andrey Sapozhnikov,
Working Group on Energy
Russian part of
the BRICS Business Council*

BRICS: Lessons to be Learned From Each Other

Abstract. This paper examines the prospects for enhanced energy cooperation among BRICS countries in the context of decarbonization commitments and long-term carbon neutrality targets. A comparative analysis of energy balances, levels of energy self-sufficiency, and national transition strategies identifies opportunities for technology transfer and the dissemination of best practices. Particular attention is given to institutional mechanisms that enable knowledge exchange, the advancement of circular economy principles, including industrial waste reutilization and waste-to-resource strategies, and the deployment of digital and predictive solutions to improve infrastructure reliability. The study demonstrates that structured cooperation and systematic experience sharing can accelerate a just and sustainable transformation of energy systems across member states.

Keywords: BRICS; energy transition; decarbonization; carbon neutrality; international energy cooperation; technology and knowledge exchange; circular economy; waste-to-resource strategies; resource efficiency; predictive diagnostics.

The leaders' summit in South Africa in 2023 resulted in a decision to expand the size of BRICS, and the practical implementation of this decision took place in 2024 during the Russian presidency.

Such a large-scale expansion naturally creates prerequisites for cooperation in a number of areas. The geographical distance between some BRICS member states imposes limitations on the

interaction within the energy sector. At the same time, this diversity fosters a collaborative environment where members can share their experiences and collectively achieve the goals of decarbonization.

BRICS countries have different levels of energy self-sufficiency, fuel and energy balance structures, energy infrastructure, and domestic energy market operation models. The same goes for Nationally Determined Contributions, or NDCs, under the Paris Agreement. Obviously, as all members agree, the goal of achieving these targets should align with the principles of a just transition. This means not only reaching a sustainable, net-zero economy, but also ensuring that the path to this goal is fair and inclusive for everyone involved.

All BRICS countries have formally committed to achieving carbon neutrality. Brazil, Ethiopia, South Africa, and the UAE aim to achieve this target by 2050, while China, Russia, Saudi Arabia and Indonesia have set a deadline of 2060, and India has set a target year of 2070.

For most of these countries, the energy sector plays a vital role in the transition to a low-carbon economy and in the achievement of the carbon neutrality commitments.

Brazil has a high share of electricity generation from renewable energy sources, primarily hydropower as well as focusing on biofuels. Brazil's 10-Year Energy Expansion Plan (MME, 2022) includes the construction of additional nuclear power plants.

Russia has plans to pursue low-carbon energy further. Its development initiatives include the construction of generating capacity based on renewable energy sources, such as solar, wind, and hydro power.

India intends to diversify its energy portfolio by incorporating a range of non-fossil fuel sources, including renewables, biomass, nuclear energy, and hydropower.

By the end of 2023, China's cumulative installed capacity reached approximately 2,900 GW, marking a year-over-year increase of 14%. In 2023, the total energy output was nearly 9,500 TWh, marking a 7% increase compared to 2022. Cumulative installed capacity of renewables reached 1,500 GW, including hydropower, wind power, and solar power, accounting for more than 50% of the total installed capacity.

South Africa has announced its plans to diversify its energy generation, with a strategy that incorporates a mix of both renewable and non-renewable sources, including abatement technologies.

Egypt is committed to scale up low-carbon energy production. The country aims to increase the supply of electricity generated from renewable sources, diversify its energy mix, and attract direct investment to provide a range of fossil fuels, renewable energy, and nuclear technologies.

The UAE aims to diversify its energy portfolio by leveraging natural gas, solar, and nuclear energy.

Ethiopia has set ambitious targets in its 10-Year Perspective Plan (2021-2030) to promote the energy transition. The country is planning to diversify and increase its power generation capacity to more than 17 GW from various renewable energy sources by 2030.

These goals are ambitious. In many of the areas mentioned above, the BRICS countries are recognized leaders both in terms of technological expertise and know-how, as well as in the implementation of energy projects leveraging these advancements.

A crucial enabler in achieving carbon neutrality could be various platforms dedicated to sharing experiences and expertise.

One effective approach to facilitate this exchange is through business communities, associations, and similar entities. BRICS Business Council serves as a consultative body within the wider BRICS organization. It comprises national secretariats from member countries and several specialized working groups, which include leading companies from their respective sectors. One of these groups is the Working Group on Energy, Green Economy and Climate.

As an advisory body, its primary responsibility is to prepare recommendations and proposals for the leaders of the BRICS countries.

These recommendations and proposals are intended either to address some of the existing global challenges from the perspective of the Working Group's profile, or to develop proposals or initiatives related to some of the promising areas.

While all recommendations and initiatives are publicly available in the BRICS Annual Report, there are a few worthy of a particular mention here. One, is the Working Group's BRICS Energy Cooperation Forum. Two forums have already taken place, at which participants exchanged experience and proposed new solutions that could be scaled up. This mechanism can be regarded as an enabler for a fair energy transition and achieving decarbonization goals.

In order to underline the value of information exchange and the visibility of important achievements, this thesis should be backed up with practical examples.

A number of BRICS countries have coal-generation as part of their energy mix. As a result of coal-powered power plant operation, ash and slag waste is generated. While often regarded as waste, in reality, it is a resource for a whole range of industries. This channeling of waste from one sector into production of another is fully in line with the concept of circular economy and resource reuse.

For instance, China produced 396-420 million tonnes of ash and slag waste in 2023. But the key indicator in this case is not the amount of waste produced, but that the degree of recycling was close to 90% and as previously noted, it serves as a resource for several sectors, such as for cement production; production of building materials: bricks and concrete; road construction and land reclamation.

India has also achieved good results. Their utilization rate is around 67%. Where 25% goes to cement production, 9% to brick production and the same amount to road construction. These examples show the huge unrealized potential in this industry for Russian companies as the current share of utilization is about 6-8%.

From a business perspective, knowledge exchange plays a vital role, with many initiatives benefiting from the best practices shared by BRICS partners. Considering this through the lens of practical experience, at En+ Group we recognize the significant economic and environmental potential and are committed to contributing to the circular economy by carefully evaluating our partners' experiences, engaging in stakeholder dialogues as well as in other relevant activities.

For example, we already have successful cases in Siberia, in the region where we are present. One of the promising and already tested directions is the use of ash and slag in concrete for road construction, which allows to reduce the need for primary raw materials.

Another example – the study and scale up of ash utilization in production of building materials: concrete, aerated concrete, and cement.

BRICS through various mechanisms and platforms also allows to showcase strong projects as best practice for others' implementation.

For example, an Automated Predictive Diagnostic System implemented across our power generation sites.

Equipment failures at hydropower plants can result in significant financial losses, production shutdowns, increased repair costs, and other potentially harmful effects, including environmental ones. Conventional maintenance methods that are based on schedules or a reactive approach often prove to be ineffective. These methods prioritize responding to malfunctions rather than preventing them.

Our solution is an automated predictive diagnostic system that uses nonparametric modeling methods to compare the current state of the equipment with reference values of each asset's technical parameters. The system utilizes data from the asset's sensors and employs a set of specific algorithms to detect deviations. This allows for the identification of signs of wear or malfunction before they develop into critical conditions.

The Automated Predictive Diagnostic System is designed for and could be applied within a wide range of industrial enterprises where continuity of processes and minimization of equipment downtime is essential.

These include: Manufacturing enterprises (power plants and other enterprises where the uninterrupted operation of equipment is critically important for production); Companies with a large fleet of equipment; and Industries with high safety requirements (chemical, nuclear, or food industries, where equipment failure can have serious consequences).

We would be pleased to share our experience in this area with all interested partners from the BRICS countries. Notably, this solution has been shortlisted for the final phase of the 2025 BRICS Solutions Awards, which is held alongside annual BRICS Business Forum.

This competition is not merely a contest across various categories but also serves as a showcase of the best projects and practices recognized by a distinguished expert community.

The examples presented highlight new opportunities that emerge from reviewing international best practices, as well as the platforms and channels through which expertise can be shared. And the scope of such exchanges is virtually unlimited, reflecting the extensive scale at which these insights may be applied.

BRICS partnership in the energy sector exemplifies how diversity can be leveraged for collective progress. Each member country brings unique strengths, which, when combined, create opportunities for shared growth and resilience.

Through structured cooperation, BRICS nations are advancing technological solutions such as bio-fuels, hydro, wind, and solar power, among others, while also exchanging best practices and supporting one another in the transition to sustainable energy systems. Their collaborative platforms promote research, policy exchange, and the development of new energy sources, while addressing critical issues such as energy access and security.

The key takeaway is clear: by sharing expertise, investing in innovation, and respecting each nation's unique context, BRICS countries can accelerate the global transition to clean energy and ensure affordable, reliable power for all.

*Лусеано Лозеканн,
доцент, директор издательства
Федеральный университет Флуминенсе*

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД И ВОЗМОЖНОСТИ СОТРУДНИЧЕСТВА
ПО ВИЭ И ГАЗУ МЕЖДУ СТРАНАМИ БРИКС+**

*Luciano Losekann,
Associate Professor
Diretor Eduff
Fluminense Federal University*

**ENERGY TRANSITION AND POTENTIAL FOR COOPERATION
ON RENEWABLES AND GAS AMONGST THE BRICS COUNTRIES**

Introduction

The global energy system is structured around fossil fuels, which are the main source of greenhouse gas emissions. Decarbonization and global warming mitigation efforts focus primarily on restructuring countries' energy mixes and necessarily involve energy policies that support the diffusion of clean energy sources. Currently, more than 150 countries have adopted some form of incentive for renewables. These transformations involve many possibilities regarding their nature and pace, given that the challenges posed by the energy transition and the strategies adopted by each country are heterogeneous, considering economic, institutional and energy mix differences. Each experience has its own specific objectives and the energy policy instruments are diverse.

The BRICS, group of developing countries, are markedly characterized by very different energy systems, socioeconomic structures and institutional frameworks, which points to particular trends in energy transition. On the other hand, the group shares objectives around sustainable development, aiming at opportunities for complementarity and cooperation in the energy area. The presentation aimed to present the main policies for the dissemination of renewable sources and natural gas in the five countries that formed the BRICS before the 2024 expansion and to evaluate the initiatives and opportunities for cooperation in the energy sector.

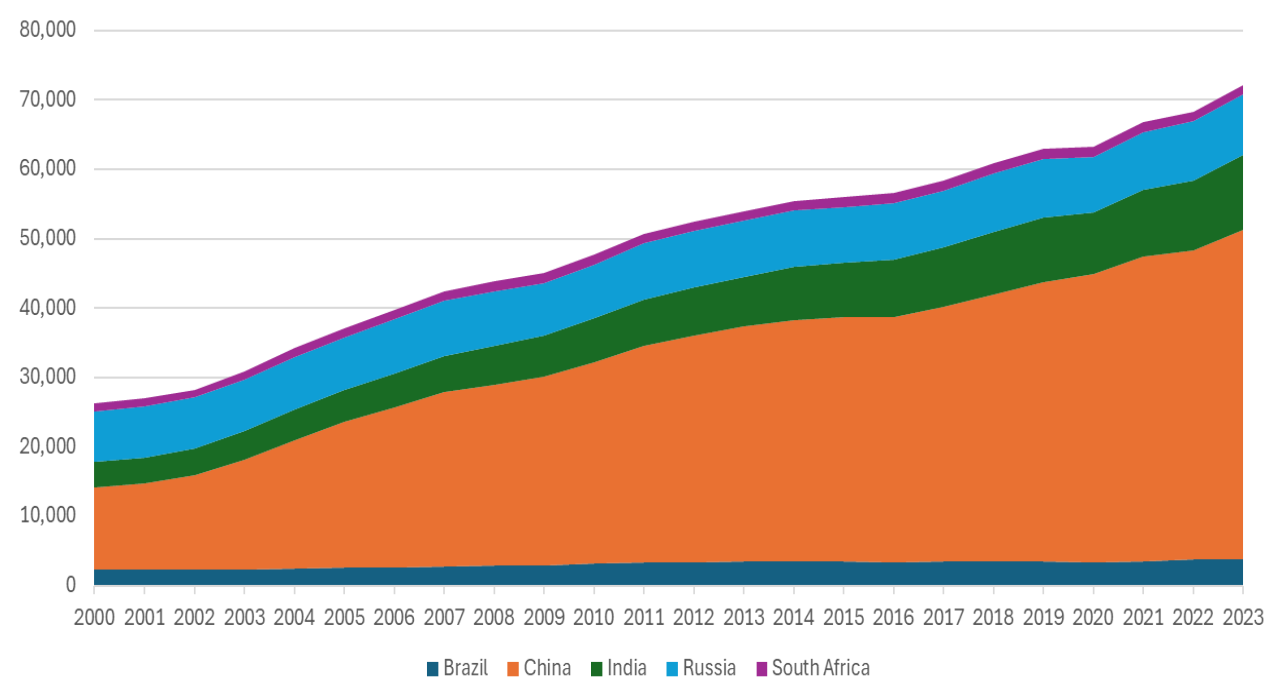
Diffusion of renewable sources and natural gas in the BRICS

The BRICS are large consumers of energy, having demanded around 40% of the world total. The group's energy consumption grew at a rate of 3.3% per year (p.a.) in the last decade, well above the world average of 1.9%. This consumption dynamic is led by China and India.

The BRICS countries have a highly concentrated primary energy consumption in fossil fuels. Fossil fuels are the main energy source, with coal predominating in China, India and South Africa and natural gas in Russia. Brazil has a more diversified fossil fuel consumption, including oil and derivatives, gas and coal, which account for 49% of the total. The diversity and abundance of energy sources, as well as the high share of renewable sources in the electricity system and in the transport sector, distinguish the Brazilian case (Figure 2).

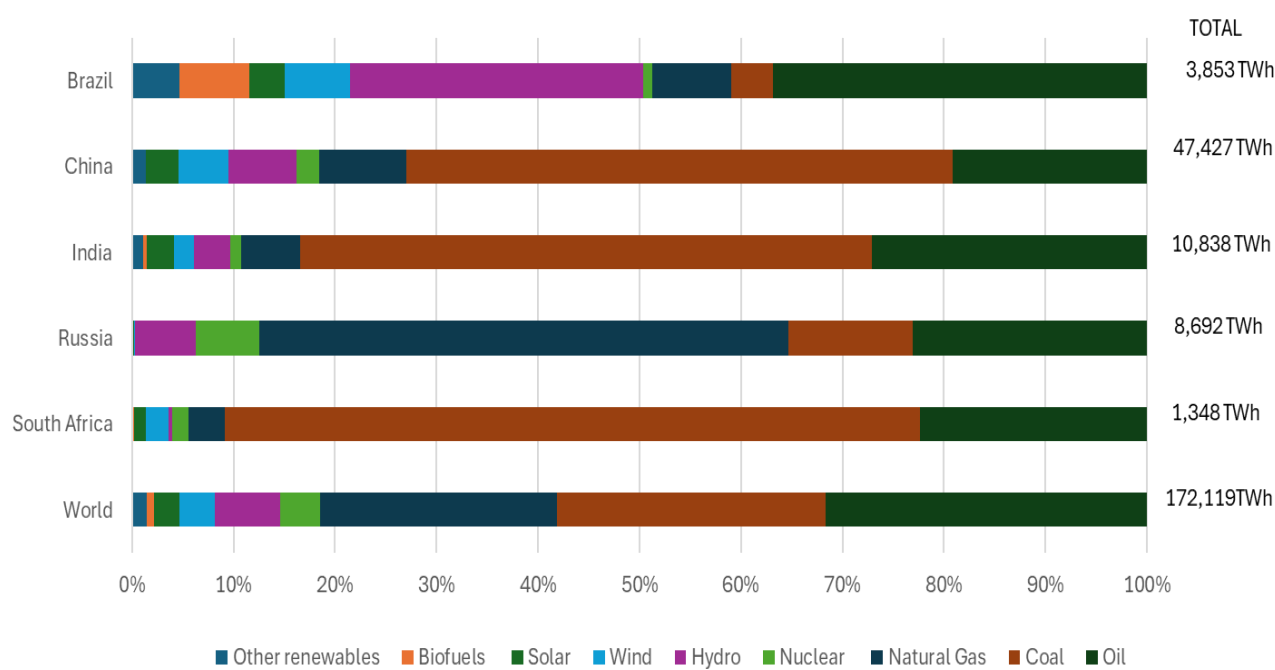
The BRICS electricity systems are equally concentrated in fossil fuels, with the exception of Brazil due to the predominant use of hydroelectricity, in addition to sugarcane products and wind energy (Figure 3). In this scenario, natural gas plays an important role in the BRICS decarbonization policies, as it replaces more polluting sources and offers reliability and flexibility to the electricity systems in the face of the penetration of renewable energy.

Figure 1 – Evolution of primary energy consumption of BRICS, 2000-2023 – TWh



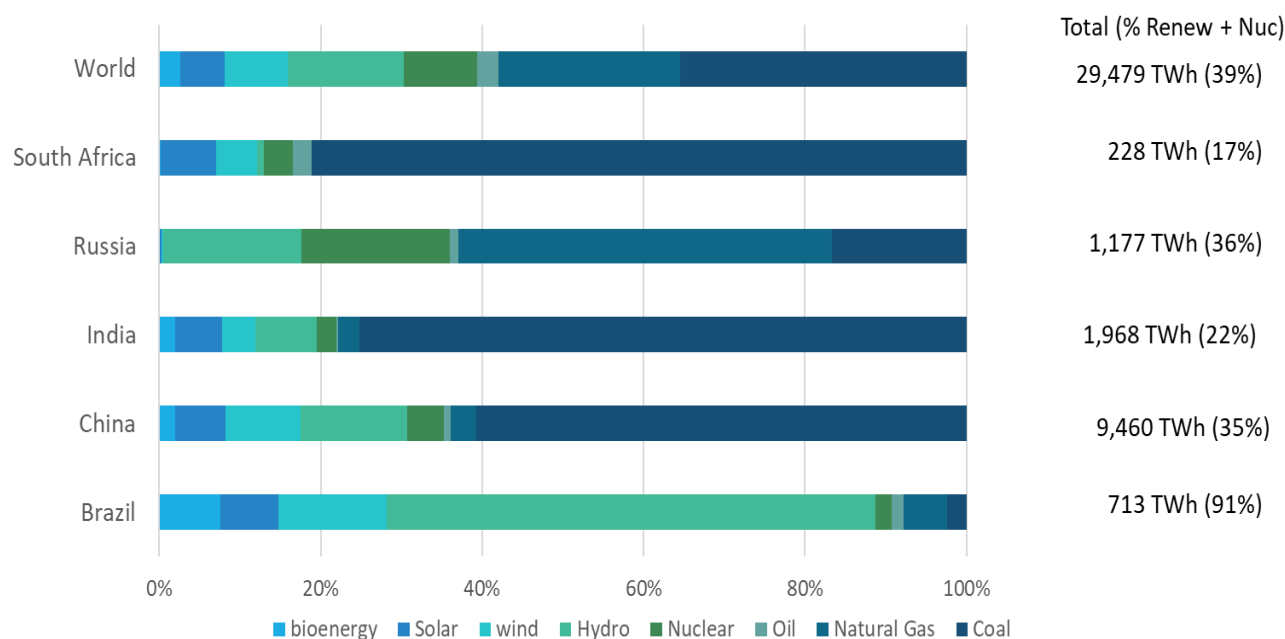
Source: Energy Institute – Statistical Review of World Energy (2024) / Our world in data

Figure 2 – Final primary energy consumption of BRICS – 2023



Source: Energy Institute – Statistical Review of World Energy (2024) / Our world in data

Figure 3 – Electricity Generating Mix in BRICS – 2023



Source: Energy Institute – Statistical Review of World Energy (2024) / Our world in data

The decarbonization of the energy sector via the electrification of end uses is one of the main energy transition strategies of the BRICS, which have a growing share in the global renewable generation capacity, especially China, India and Brazil, which are among the main demanders of these technologies.

Cooperation for the dissemination of renewable sources and natural gas in the BRICS

Three key factors structure the energy cooperation of the BRICS: support for the development of national energy systems, technological cooperation and better conditions for investment in energy.

In the area of Research, Development and Innovation (R&D, I), intra-BRICS cooperation gradually gains emphasis through specialized training, consultancy, knowledge exchange and technology transfers. In 2018, the BRICS created the Energy Research Cooperation Platform, which brings together experts, companies and research institutes with the aim of coordinating the common interests of the BRICS in promising areas of R&D, new technologies and innovation policies.

The BRICS bring together emerging economies that, as a rule, have fewer technological and financial resources and face the challenge of expanding infrastructure and access to energy while implementing new low-carbon economic models, placing financing as a critical point in the energy transition. In 2014, the BRICS launched the New Development Bank (NDB) as a cooperation mechanism to finance infrastructure projects and promote development. The financing system is also supported by the BRICS Interbank Cooperation Mechanism, which brings together the financial institutions of the five countries to mobilize private investment in infrastructure projects.

Intra-BRICS cooperation also occurs within the scope of bilateral trade and investment relations, where energy complementarities present several possibilities for collaboration.

China is the largest investor and has strong technological capacity in low-carbon energy, generating broad potential for technological cooperation, especially in the fields of battery storage, photovolta-

ic solar panels, electric vehicles, routes for hydrogen production and digitalization of electricity installations. China is also a large energy consumer, which allows trade agreements with producing countries in the group, such as Russia and Brazil.

Hydrogen has the potential to become an important axis of integration and energy cooperation in the BRICS, in which countries with more developed technological bases, such as China and Russia, can play the role of technology suppliers, while Brazil, South Africa and India can become exporters of clean hydrogen with the development of integrated renewable generation and electrolyzer projects. In other words, a collaborative approach to hydrogen in the BRICS could complement national initiatives, allowing countries to capture complementarities in demand and production patterns and unlock synergies in the use and development of infrastructure, potentially making electricity a commodity traded by distant countries, beyond the limits of transmission networks. In addition, countries can unlock public and private funds for R&D and promote financing projects in hydrogen technology routes, in addition to increasing the focus on cross-cutting research areas.

Conclusions

The BRICS have a high share of global energy consumption and production, especially from fossil fuels, but have been expanding their commitment to reducing CO₂ emissions, albeit late in relation to OECD countries. It is worth noting that natural gas could represent an important step in the BRICS decarbonization process. Despite the peculiarities present in national energy transition processes, the BRICS demonstrate the strengthening of international cooperation in energy as a fundamental mechanism for expanding investments and developing new sustainable processes and technologies, improving policies and programs, and exploiting trade gains, contributing to sustainable development.

УДК 662.99

Пинь Сунь, старший преподаватель

Юань Ван, Вэй Дай,

Институт прикладной экономики,

Фэн Сун, председатель кафедры экономики энергетики

Бовей Го, доцент

Народный университет Китая

Ян Ван, доцент

Чэнчэн Ван

Национальная метеорологическая служба

Ключевая лаборатория исследований прогнозирования климата

Национальный климатический центр Китая

НЕПРЕДВИДЕННОЕ И ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ ВЛИЯНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА И СВЯЗАННЫЕ С НИМ СОЦИАЛЬНЫЕ ИЗДЕРЖКИ: ДАННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА КИТАЯ

Pin Sun, Assistant Professor

Yu'an Wang, Wei Dai,

School of Applied Economics,

*Feng Song, Chairwoman of
the Department of Energy Economics
Bowe Guo, Associate Professor
Renmin University of China
Yang Wang
Associate professor
Chenpeng Wang
China Meteorological Administration
Key Laboratory for Climate Prediction Studies
National Climate Centre*

**(UN)INTENDED CONSEQUENCE OF EXTREME HEATWAVES
ON AIR POLLUTION AND ITS SOCIAL COST:
EVIDENCE FROM THE POWER SECTOR IN CHINA**

The intensifying effects of climate change are bringing more frequent and severe extreme weather events with significant implications for air quality and public health.¹ Recent projections further indicate a dramatic rise in lifetime exposure to unprecedented climate extremes among younger generations worldwide, underscoring the escalating global threat. Among these risks, extreme heatwaves can influence the efficiency of energy use in fossil fuel-intensive sectors. This is particularly critical in the power sector, where fossil fuel power plants – especially prevalent in developing countries—remain the backbone of electricity supply. In 2024, thermal power generation accounted for 58.7% of global electricity production, with coal-fired generation plants contributing 34.5% (IEA, 2025). China, the world’s largest electricity producer and consumer, relies heavily on thermal power, which constituted 61.6% of its total generation in 2024 – 58.4% of which came from coal-fired generation plants. Similar patterns prevail in other developing economies: coal-fired generation shares reached 84.1% in South Africa, 73.4% in India, and 66% in Indonesia (World Bank, 2024). These countries’ energy security and industrialization are deeply intertwined with coal dependence, while escalating heatwaves amplify their environmental and health costs. But few researchers have studied its true impact as well as the accompanied social cost. A notable exception is Liu et al. (2024), who employed satellite remote sensing to detect elevated pollutant concentrations near coal-fired generation plants during heatwaves. However, one particularly underexamined consequence of extreme heat is its impact on the operational efficiency of fossil fuel-based energy systems.

The efficiency degradation of power generation units under extreme heatwaves through two primary mechanisms. First, cooling system inefficiency: elevated ambient temperatures reduce cooling water effectiveness, increasing fuel consumption per unit of electricity generated and consequently raising pollutant emissions. Second, altered aerothermal dynamics: the increase of ambient temperature will lead to the decrease of air density, and then reduce the oxygen content in unit volume of air. The relatively insufficient oxygen supply leads to insufficient fuel combustion, which not only reduces the combustion efficiency of the boiler and requires more fuel to generate the same heat, but also significantly increases the generation and emission of pollutants.

In this study, therefore, we aim to quantify the extent to which extreme heatwaves affect air pollution by degrading energy use efficiency in the power sector. Specifically, we address two key questions: (1) To what extent do extreme heatwaves increase emissions from the power sector through efficiency losses? (2) What are the resulting social costs of this additional pollution?

¹ The IPCC Sixth Assessment Report shows that global surface temperatures have risen by 1.09° C compared to pre industrial levels from 2011 to 2020, with the probability and intensity of extreme events increasing by about five times.

To investigate these questions, we begin by developing a theoretical framework that outlines the potential channels through which extreme heatwaves can influence pollutant emissions from power plants. This model guides our empirical strategy for isolating the impact of heatwaves on air pollution via the energy efficiency loss channel. In the empirical analysis, we exploit regional and temporal variation associated with an extreme heatwave event that hit Guangzhou, China, in 2022. We combine this event with high-frequency, plant-level data on temperature, electricity generation, emissions, and air quality. Our findings reveal that, even after accounting for the effect of increased electricity demand, extreme heatwaves still contribute to a 41.6% rise in PM_{2.5} due to efficiency losses in power generation. To validate these results, we examine other pollutants such as sulfates (SO₄²⁻) and nitrates (NO₃⁻), finding consistent evidence of heatwave-induced pollution increases. Furthermore, we document heterogeneous effects by fuel type: coal-fired generation plants suffer significantly greater efficiency losses than gas-fired generation plants resulting in an additional 20.2% increase in PM_{2.5} emissions.

Finally, we, using exposure-response function and statistical lifetime value model, estimate that the additional social cost attributable to heatwave-induced pollution from the power sector could reach 73.7 billion yuan annually, or approximately 67.2 yuan per MWh. Internalizing this cost would raise fossil fuel power generation costs by 18.5%. A hypothetical transition from coal- to gas-fired generation plants would reduce these social costs by 56.6 billion yuan—roughly 76.8% of the total. These findings underscore the urgent need for policymakers to incorporate heatwave-related pollution costs into power dispatch decisions and to accelerate the development of pollution pricing mechanisms such as emissions trading markets, as advocated by Greenstone et al. (2025).

Overall, this study makes three key contributions to the understanding of the potential impacts of climate change on environmental and energy systems. First, it uncovers a previously overlooked mechanism by which extreme heatwaves worsen air pollution—through reductions in energy use efficiency during power generation, rather than solely through increased electricity demand as emphasized in prior research. Second, using high-frequency, plant-level operational data combined with granular weather and emissions information across China, the study provides robust causal evidence that extreme heat leads to significant increases in PM_{2.5} and other pollutants, with coal-fired generation plants experiencing substantially greater efficiency losses than gas-fired generation plants. Third, it quantifies the resulting social cost of this pollution—estimated at 73.7 billion yuan annually—and shows that a shift from coal- to gas-fired generation plants could reduce these costs by over 75%, offering actionable insights for climate-resilient power system management and the design of pollution pricing mechanisms such as emissions trading schemes.

Additionally, our findings also delivers two key policy recommendations. First, promoting a transition from coal- to gas-fired generation plants can yield substantial benefits: a full replacement scenario in Guangdong could reduce social costs by 76.8%, or 32.6 billion yuan. Policymakers are advised to support this transition through electricity pricing reforms, carbon credit allocations, and optimized dispatch systems that prioritize gas-fired generation plants during extreme heatwave periods. Second, we advocate for the development of regional emissions trading systems that internalize externalities and guide firms to reduce marginal emissions during heatwaves—drawing on the success of experimental programs like those documented in Greenstone et al. (2025).

Sources:

1. Greenstone, M., Pande, R., Ryan, N., & Sudarshan, A. (2025). Can Pollution Markets Work in Developing Countries? Experimental Evidence from India. *The Quarterly Journal of Economics*, 140(2), 1003–1060.

2. IEA (2025), Global Energy Review 2025, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025>, Licence: CC BY 4.0
3. Liu, S., Shu, L., Zhu, L., Song, Y., Sun, W., Chen, Y., Wang, D., Pu, D., Li, X., Sun, S., Li, J., Zuo, X., Fu, W., Yang, X., & Fu, T. (2024). Underappreciated emission spikes from power plants during heatwaves observed from space: Case studies in India and China. *Earth's Future*, 12(2), e2023EF003937.
4. World-Bank (WB), & Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). (2016). The cost of air pollution: Strengthening the economic case for action.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР “ИНТЕРНАЛИЗАЦИЯ ВНЕШНИХ ЭФФЕКТОВ: ФИНАНСИРОВАНИЕ СМЯГЧЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ”

15 октября 2025

УДК 339

*Авинаш Кумар,
Президент по ESG
Earthood*

РЫНОК УГЛЕРОДНЫХ ЕДИНИЦ В ИНДИИ

*Avinash Kumar,
President ESG
Earthood*

CARBON CREDITS MARKET IN INDIA

1. The Carbon Credit Market in India: Pioneering a Market-Driven Path to Net Zero

India has entered a defining phase in its climate journey with the establishment of the **Indian Carbon Market (ICM)** – a unified, transparent, and science-based framework designed to drive cost-effective decarbonization across sectors. Through the **Carbon Credit Trading Scheme (CCTS)** notified in June 2023 under the amended **Energy Conservation Act (2001)**, India has officially transitioned from policy-led efforts to a **market-led approach** to achieving its climate goals.

2. Why Carbon Markets Matter

Global carbon markets are essential tools in the fight against climate change. Over **70 countries** already operate or are developing **Emission Trading Systems (ETS)**, covering nearly one-fourth of global greenhouse gas (GHG) emissions.

By putting a **price on carbon**, these systems reward low emitters, penalize inefficiency, and stimulate innovation. India – the world’s **third-largest emitter** – recognizes that sustainable growth requires a strong carbon pricing mechanism aligned with its **Nationally Determined Contributions (NDCs)** and **Net Zero 2070** goal.

3. India’s Climate Commitments and Market Response

India’s NDCs include:

- Reducing **emission intensity by 45%** from 2005 levels by 2030.
- Achieving **50% of installed power capacity** from non-fossil fuel sources.

- Creating a **carbon sink of 2.5–3 billion tonnes CO₂** through increased forest and tree cover.

The ICM supports these targets by transforming **emission reductions into tradable economic value**, thereby integrating sustainability with competitiveness.

4. How the ICM Works

The ICM functions through two interlinked components:

- **Compliance Market:** For obligated sectors with GHG intensity reduction targets such as power, steel, cement, and refineries.
- **Voluntary Market:** For entities voluntarily reducing or offsetting emissions to meet their ESG or Net-Zero goals.

Emission reductions are verified under robust MRV (Monitoring, Reporting, Verification) protocols and issued as Carbon Credit Certificates (CCCs).

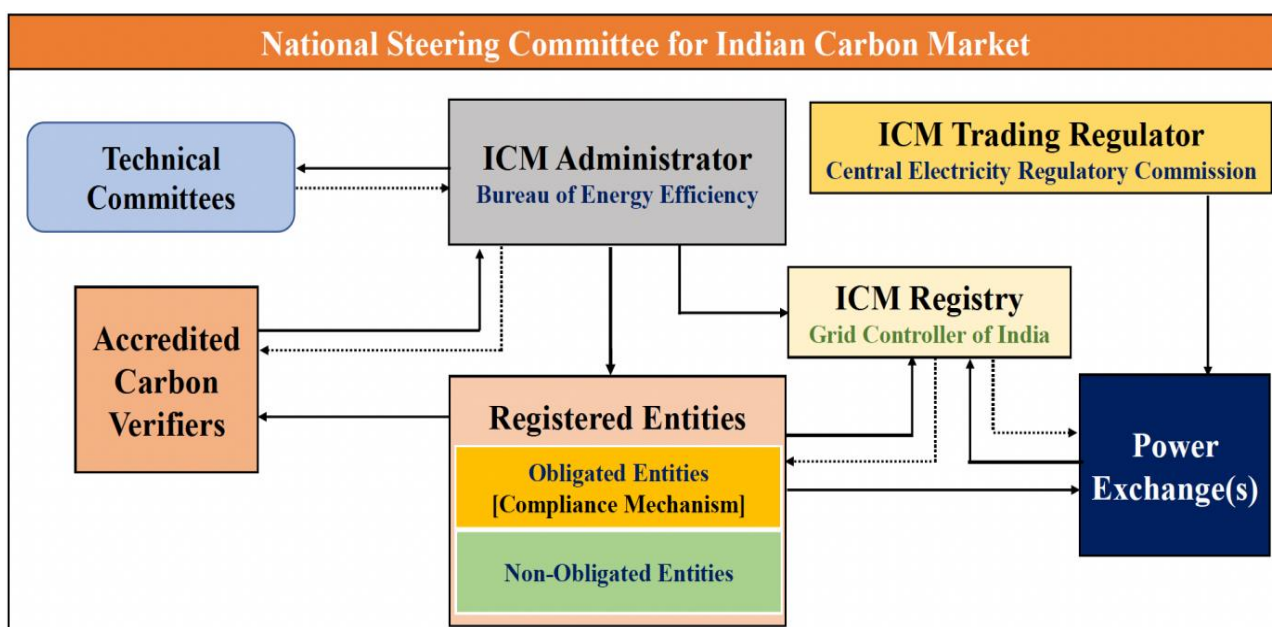
These credits are traded on power exchanges (IEX, PXIL) under CERC regulation and recorded in the ICM Registry, managed by Grid-India.

5. Institutional Framework: Governance and Oversight

The **Bureau of Energy Efficiency (BEE)** acts as the ICM Administrator, developing methodologies, accrediting verifiers, and managing baselines.

The **CERC** regulates trading, ensuring fairness and transparency, while the **Grid Controller of India** maintains the registry of all credits.

Accredited Carbon Verifiers (ACVs) ensure independent, third-party verification – building market credibility.



6. Green Credit Programme (GCP): Complementary, Not Competing

The **Green Credit Programme (GCP)**, launched by the **Ministry of Environment, Forest and Climate Change (MoEFCC)**, complements the ICM by rewarding **non-carbon environmental actions** like afforestation, water conservation, and waste management.

While both operate as market mechanisms, their **focus and legal basis differ** – ICM is rooted in carbon reduction, while GCP incentivizes wider sustainability outcomes.

Both frameworks are expected to **interlink** under a **National Framework for Carbon and Green Credit Markets**, ensuring transparency and avoiding double counting.

7. Key Developments Since 2023

- **June 2023:** CCTS officially notified under the Energy Conservation Act.
- **2024:** Draft operational guidelines released; stakeholder consultations initiated.
- **2024–25:** Carbon Credit Registry under Grid-India established and tested.
- **Verifier Accreditation Framework** launched by BEE with NABCB.
- **Pilot Sectors (2025):** Steel, Cement, Thermal Power, and Refineries identified.
- Integration of **RECs and ESCerts** planned under a unified digital registry.

8. Path Forward

Between **2025–26**, India will launch **pilot trading of Carbon Credit Certificates**, expanding to more sectors and voluntary projects by **2026–27**. From **2027 onwards**, the ICM aims to align with **Article 6 of the Paris Agreement**, enabling cross-border carbon trade.

The BEE is strengthening **digital MRV systems**, capacity building, and alignment with **ISO 14064** and **UNFCCC transparency standards**. The goal is clear – a **robust, high-integrity market** that drives decarbonization and attracts **climate finance**.

9. Conclusion: India's Market-Driven Climate Transition

The **Indian Carbon Market** marks a decisive step in India's low-carbon transformation. It shifts climate action from **policy obligation to economic opportunity**, empowering industries through innovation, flexibility, and transparency. Anchored in strong governance and science-based targets, the ICM creates a **unified ecosystem** where compliance, voluntary action, and finance converge.

India's path to **Net-Zero by 2070** will be powered not just by policies, but by markets that reward sustainability and accountability. The ICM is the bridge between ambition and action – turning every tonne of reduced carbon into measurable economic and environmental value.

About Earthood

Earthood is a pioneering force in the carbon offset verification industry with a reputation as an internationally acclaimed auditing & certification firm, providing strategic support and services in the realm of Climate Change, Net Zero, Sustainability, and Agriculture. Earthood is widely regarded as the top choice for clients seeking solutions to the most complex and ground-breaking projects, regardless of their location worldwide. Our outstanding reputation is backed by our accreditations from more than 21 leading organizations such as the United Nations (UN), VERRA, Gold Standard, Global Carbon Council & Social Carbon Standard, to name a few.

*И.А. Нагайцев,
аспирант,
Сибирский государственный
индустриальный университет*

ОБЗОР ТРЕНДОВ НА ДОБРОВОЛЬНЫХ РЫНКАХ УГЛЕРОДНЫХ ЕДИНИЦ

Аннотация. В статье рассмотрены ключевые тренды на добровольных рынках углеродных единиц, причины снижения заинтересованности со стороны компаний в покупке углеродных единиц и факторы роста будущего спроса на углеродные единицы.

Ключевые слова: углеродные единицы, добровольные рынки углеродных единиц, климатическая повестка, парниковые газы.

*I.A. Nagaitsev,
Postgraduate student
Siberian State Industrial University*

OVERVIEW OF TRENDS IN VOLUNTARY CARBON UNIT MARKETS

Abstract. The article examines key trends in voluntary carbon unit markets, the reasons for the declining interest on the part of companies in buying carbon units, and the growth factors of future demand for carbon units.

Keywords: carbon units, voluntary carbon unit markets, climate agenda, greenhouse gases.

В рамках международных соглашений по достижению цели сокращения выбросов парниковых газов (далее – ПГ) [1], разработаны различные инструменты, позволяющие странам и отдельным компаниям снижать свои выбросы парниковых газов.

Помимо прямого сокращения выбросов, существует рыночный механизм – добровольный углеродный рынок. Он позволяет заинтересованным сторонам компенсировать свои выбросы парниковых газов, финансируя проекты по снижению эмиссии или увеличению поглощения парниковых газов, реализуемые по всему миру.

Участие в добровольных углеродных рынках позволяет компаниям:

- достичь своих корпоративных целей или обязательных требований по снижению выбросов ПГ;
- увеличить инвестиционную привлекательность за счет соответствия повестке.

Наибольшую популярность у компаний имеют следующие добровольные рынки углеродных единиц (далее – УЕ): Verra (VCS – verified carbon standard), Gold Standard (GS), ACR (American Carbon Registry), GCC (Global Carbon Council) – данные реестры принимают проекты в рамках своих методологий и методологий механизма чистого развития [2].

Вышеприведенные добровольные рынки углеродных единиц выпускают углеродные единицы от различных типов проектов, основными типами проектов являются:

- Nature Restoration (восстановление природных ресурсов). Проекты, использующие подходы, увеличивающие уровень поглощения ПГ в биосфере за счет восстановления живой биомассы и нарушенных почв.

- REDD+ – сокращение выбросов углекислого газа за счет предотвращения как запланированной, так и незапланированной вырубки лесов.
- Non-CO2 Gases (снижение выбросов ПГ, не относящихся к CO₂). Все проекты, связанные с сокращением выбросов ПГ, отличных от углекислого газа.
- Energy Efficiency (энергоэффективность). Сокращение выбросов парниковых газов за счет повышения эффективности использования энергии промышленным и бытовым оборудованием, энергосистемами и энергетическими установками.
- Renewable Energy (возобновляемые источники энергии (далее – ВИЭ)). Создание новых мощностей по выработке электроэнергии из природных источников (биоэнергетика, геотермальная энергетика, гидроэнергетика, солнечная энергетика, ветряная энергетика, биотопливо и т.д.).

На рисунке 1 представлена динамика объема торговли углеродными единицами на добровольных углеродных рынках [3]

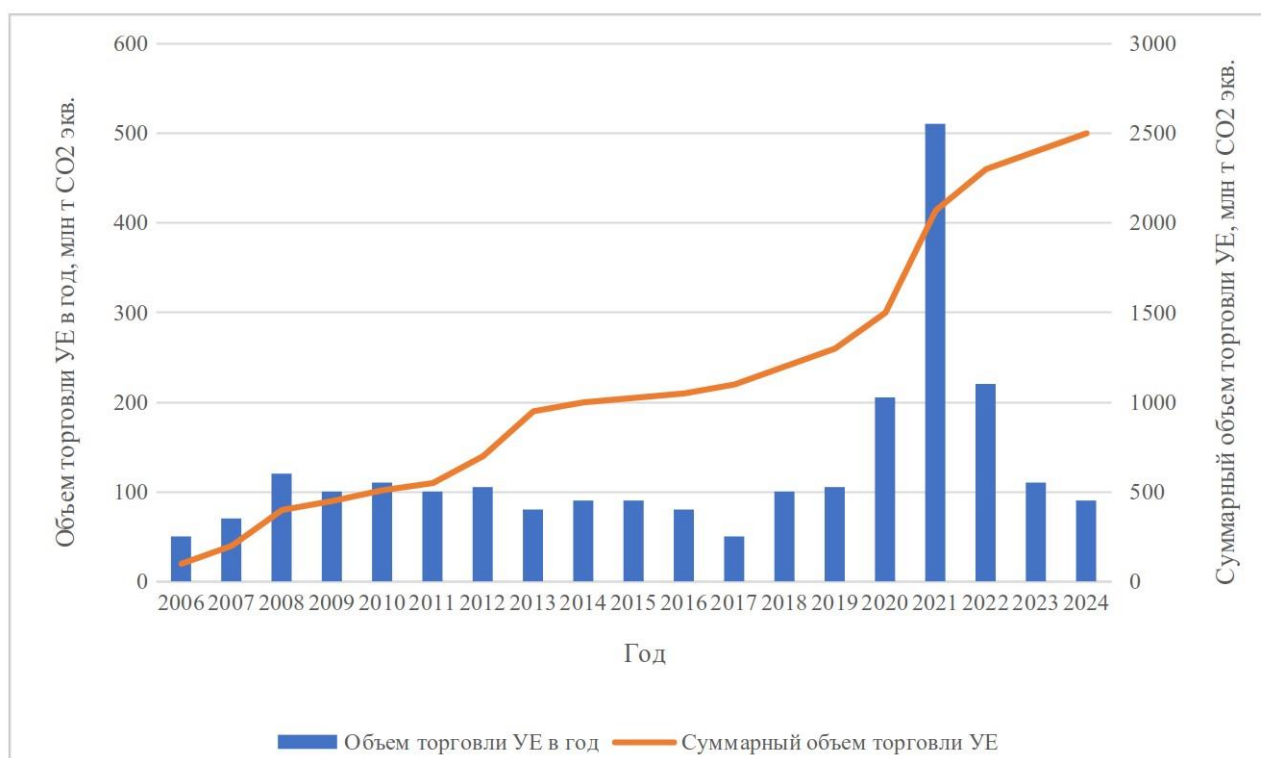


Рис. 1. Объем торговли УЕ на добровольных углеродных рынках [3]

Как следует из графика, в целом добровольные рынки углеродных единиц показывают спад третий год подряд, после роста в 2021 году. Импульсом к падению стали громкие скандалы и разоблачения, подорвавшие доверие к качеству климатических проектов и соответственно углеродных единиц от них.

Это подтверждается многочисленными исследованиями, которые показали, что часть проектов переоценивали эффект сокращения выбросов или минимизировали причиняемый ущерб от них.

С целью ужесточения требований и возвращения лояльности потребителей многие реестры пересмотрели свои стандарты и требования, в том числе уточнили списки принимаемых проектов. Одним из таких стандартов является Core Carbon Principles (CCP), разработанная Voluntary carbon Markets Integrity Initiative (VCMII) [4]. На рисунке 2 представлены 10 критериев соответствия данному стандарту, как реестров, так и методологий проектов.



Рис. 2. Критерии соответствия стандарту Core Carbon Principles [4]

В 2023 году началась сертификация добровольных углеродных реестров на соответствие требованиям CCP. На сегодняшний день такую сертификацию получили Gold Standard, Climate Action Reserve, American Carbon Registry и Verified Carbon Standard. В 2024 году соответствие проектов принципам CCP стало ключевым индикатором качества углеродных единиц.

Одним из драйверов будущего спроса на углеродные единицы в рамках добровольных реестров может стать механизм Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) [5]. Данный механизм охватывает авиационную отрасль и предусматривает снижение выбросов авиакомпаний за счет использования авиационного топлива со сниженным углеродным следом, такого как LCAF (Lower Carbon Aviation Fuels), SAF (Sustainable Aviation Fuels), а также и за счет углеродных единиц (UE).

Здесь также необходимо учитывать, что не все UE подходят под требования CORSIA, поскольку ее требования к реестрам, проектам и методологиям более жесткие и включают всестороннюю оценку проектов. Поэтому жесткие требования в будущем вызовут дефицит предложения UE на рынке из-за высокого спроса, даже несмотря на рост объема добровольного рынка углеродных единиц.

Выводы

Добровольные рынки углеродных единиц – один из широко применяемых инструментов снижения выбросов парниковых газов и достижения климатических целей. Они позволяют компаниям компенсировать свои выбросы ПГ, финансируя проекты по снижению эмиссии или увеличению поглощения ПГ, реализуемые по всему миру. В работе отмечено, что из-за

отрицательного опыта в части некорректности расчета сокращений выбросов ПГ при подготовке климатических проектов заинтересованность со стороны бизнеса снизилась начиная с 2022 г. С целью возврата доверия заинтересованных сторон к добровольным углеродным рынкам разрабатываются более жесткие стандарты к разработке климатических проектов. Данные стандарты способствуют прозрачности и корректности действий, связанных с углеродными единицами.

Источники

1. Парижское соглашение к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Генеральная Ассамблея. – 2015. – С. 42.
2. Механизм чистого развития. ООН. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism>
3. Объем торговли УЕ на добровольных углеродных рынках. CarbonCredits.Com
4. The Core Carbon Principles. <https://icvcm.org/core-carbon-principles> (дата обращения: 18.10 2025).
5. Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) <https://www.icao.int/CORSIA> (дата обращения: 18.10 2025).

ХVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЭНЕРГЕТИКА ХХІ ВЕКА: ЭКОНОМИКА, ПОЛИТИКА, ЭКОЛОГИЯ» «ЭНЕРГЕТИКА И КЛИМАТ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ МЕНЯЮЩЕГОСЯ МИРОПОРЯДКА»

12–13 ноября 2025 г.

УДК 330, 338

***Алексей Гривач,**
заместитель генерального директора
Фонд национальной энергетической безопасности*

КЛЮЧЕВАЯ РОЛЬ ИНВЕСТИЦИЙ В ТРАДИЦИОННУЮ ЭНЕРГЕТИКУ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Аннотация. Хотя в мире под давлением «зеленой» повестки тратится все больше и больше средств на ввод и интеграцию в общую сеть объектов ветровой и солнечной генерации, глобальный энергетический баланс остается традиционным. Около 87% потребностей человечества в энергии удовлетворяются за счет нефти, природного газа и угля. В этих условиях игнорировать потребности этих секторов в стабильных инвестициях – это не просто идеологическая ошибка, а настоящее преступление против устойчивого будущего.

Ключевые слова: энергетика, инвестиции, МЭА, ВИЭ, природный газ, нефть

***Alexey Grivach,**
Deputy Director General
National Energy Security Fund*

KEY ROLE OF TRADITIONAL ENERGY INVESTMENTS IN GLOBAL SUSTAINABILITY

Abstract. Despite and even in spite the fact that, under pressure from the "green" agenda, the world is spending ever more funds on commissioning and integrating wind and solar power facilities into the grid, the global energy balance remains traditional. Approximately 87% of planet's energy needs are met by oil, natural gas, and coal. Under these circumstances, ignoring those sectors' need for stable investment is not just an ideological error, but a real crime against the sustainable future.

Keywords: energy, investment, IEA, RES, natural gas, oil.

Если школьнику показать мировой энергетический баланс, а он на 87% обеспечивается нефтью, углем и природным газом, а так называемые новые возобновляемые источники энергии – ветер, солнце и модная биомасса с биотопливом – всего лишь 5%, то даже он скажет, что инвестиции в углеводороды – критически важны для устойчивости энергоснабжения мировой экономики и людей на планете Земля.

Поэтому я здесь выступаю в роли капитана Очевидность из старых интернет-мемов. С другой стороны, международная, и прежде всего западная, индустрия анализа и прогнозирова-

ния, а точнее программирования развития энергетики, многие годы и даже десятилетия находится под влиянием фактически религиозной концепции – что углеводороды это абсолютное зло, они греют воздух и вообще вот-вот закончатся, поэтому их нужно «отменить», а тех, у кого они остались, обложить экстерриториальными налогами за то, что путаются под ногами и мешают бежать на встречу быстро приближающемуся поезду прекрасного «зеленого» будущего.

Поэтому, выполняя роль вашего «кэпа», попробую объяснить ситуацию с инвестициями в энергетику на пальцах, а точнее на цифрах, которыми любезно делится Международное энергетическое агентство, еще в недавнем прошлом бескомпромиссный хедлайнер борьбы с ископаемыми источниками энергии.

Однако после прихода администрации Трампа и республиканского большинства в Конгрессе, пообещавшего прикрыть финансирование этой организации, руководство МЭА быстро скорректировало свою позицию и теперь гораздо тщательнее выбирает выражения в отношении углеводородов и генерирует более консервативные прогнозы в отношении развития традиционной энергетики.

Хотя не будем отказывать этим людям в последнем шансе. Может, они все же прислушались к голосу разума. Ведь, как писал Зигмунд Фрейд в своей работе «Будущее одной иллюзии», голос разума звучит тихо, но он не успокаивается до тех пор, пока его не услышат.

Итак IRENA – Международное агентство по возобновляемой энергии –полагает, что так называемый энергетический переход от нынешней структуры энергетики, где очевидно доминируют нефть, газ и уголь, к основанной на ВИЭ энергосистеме к 2050 году, который якобы позволит ограничить «глобальное потепление» 1,5 градусами Цельсия, потребует ни много ни мало 150 триллионов долларов за 27 лет. Не сложно подсчитать, что речь идет в среднем о 5,5 триллионов долларов ежегодных вложений. Совершенно очевидно, что цифра заниженная, но даже она в два раза выше среднего показателя инвестиций в мировую энергетику, сделанных за последние 10 лет.

По оценкам МЭА, они составили около 26 триллионов долларов. Обращает на себя внимание тот факт, что эти инвестиции заметно падали с 2015 по 2020 год. На 17%, или на 460 миллиардов долларов, а затем начали быстро расти и за последующие 4 года подскочили почти на 1 триллион и составили 3,23 триллиона долларов в ценах 2024 года. Агентство с радостью докладывало, что инвестиции в так называемые чистые источники энергии уже в 2016 году превзошли вложения в ископаемые виды топлива, а с 2020 года разрыв стал расти стремительно, и по итогам прошлого года инвестиции в «чистые» источники составили 63% от общего объема и превысили 2 триллиона долларов. Рост за 10 лет составил 67%. В то время как инвестиции в углеводороды, традиционные виды энергии упали на 20% за тот же период.

Таким образом, из 5550 Экзаджолей первичной энергии (данные из статистического обзора EI Statistical Review of World Energy 2025), которые человечество потребило за минувшие 10 лет 88% покрыты за счет нефти, газа и угля, на что потребовалось менее 12 триллионов долларов вложений. А 12% из атома, гидроэнергетики и ВИЭ «съели» без малого 15 триллионов долларов. При этом с учетом роста потребления энергии доля углеводородов за 10 лет сократилась всего на 2% пункта. С 89% в 2015 до 87% в 2024 году.

Можно представить, во сколько обойдутся оставшиеся до целевого показателя процентные пункты изменений глобального энергобаланса в радикальных сценариях «Net Zero» к 2050 году.

На самом деле в оценках МЭА достаточно допущений. К примеру, больше трети вложений в «чистую» энергию – это энергоэффективность и конечное потребление. Что с имеющимся энергобалансом в значительной степени будет относиться и к достижениям традиционной энергетики.

Но и без этого сегмента вложения в ВИЭ колоссальны, особенно по сравнению с их реальным вкладом в обеспечение человечества энергией. За 10 лет на строительство новых мощностей возобновляемой электроэнергетики – солнце, ветер и гидро было потрачено без малого 5 трлн долларов (в ценах 2024 года). И еще 3,5 трлн долларов ушло на расширение сетей, в основном под эти новые мощности ВИЭ. Всего за это время в мире было введено около 3,5 ТВт энергогенерации. Из них почти половина – солнце, еще 20% – ветер и 7% – гидро.

То есть, как минимум 7,5 трлн долларов вложений – это исключительно возобновляемая электроэнергетика. В относительных цифрах все масштабно, солнечная генерация выросла за 10 лет в 7 раз, ветер – в 3 раза. Гидро, правда, всего на 15%. Но при этом в 2024 году они на троих дали всего 9 тысяч ТВт·ч, то есть меньше, чем уголь. Угольная и газовая генерация за отчетный период выросли на 1,2 тысяч ТВт·ч и 1,4 тысяч ТВт·ч при на порядок меньшем инвестиционном ресурсе.

За 10 лет в глобальную газовую отрасль – от добычи до конечного потребления каждого кубометра – было инвестировано меньше 3,5 трлн долларов, а в уголь – чуть более 2 млрд долл. Не знаю, какая экономика сможет выдержать такой перекося. Тем более перекося, который должен продолжать расти в арифметической прогрессии.

В заключение хотел отметить еще несколько тревожных тенденций, связанных именно с ситуацией с инвестициями в традиционную энергетику, от которой мир зависит критически.

Во-первых, за последние 10 лет более чем на четверть снизились инвестиции в нефтяную и газовую сферу. Первая потеряла более 200 млрд долл. вложений, газ – 90 млрд долл. Где-то это связано с развитием технологий и оптимизацией затрат, но в целом – с учетом роста спроса на энергию, то есть отрасли остаются искусственно недоинвестированными. Следовательно, вероятность того, что в среднесрочной перспективе нас могут ждать новые топливные кризисы – очень высокая.

Во-вторых, инвестиции в уголь остаются на стабильном уровне, а в 2024 году подросли почти на 10% по сравнению с 2015 годом. Понятно, что использование газа в разы лучше для качества воздуха, чем сжигание угля. Но реальность требует поддержания более дешевой угольной генерации в бедных странах, в то время как богатые тратят триллионы на субсидии для ВИЭ. В результате в Европе уголь вытесняется возобновляемыми источниками вместе с газом, в США просто замещается газом, но в развивающихся странах он, напротив, остается и укрепляется в качестве приоритетного выбора, что, мягко говоря, не соответствует публичным нарративам зеленой повестки. А с учетом размеров этого самого развивающегося мира и масштабов его энергетической бедности картина и вовсе становится пугающей.

Источники

1. 74th edition, Statistical Review of World Energy, Energy Institute, London, 2025.
2. US Energy Information Administration Data (<https://www.eia.gov/>, дата обращения: 9.11.2025)
3. IEA World Energy Investments, 10th edition, IEA Publications, 2025. (<https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2025>, дата обращения: 9.11.2025).

*Эрик Омар Эскалона Агилар, доцент
Антонио Алексис Валдез Лоэра
Школа менеджмента&бизнеса
Хорхе Лейва Гонзалес, академик,
Школа гражданского строительства
Факультет инженерии, науки и технологий
Университет Бернардо О'Хиггинса*

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ: ДОКАЗАТЕЛЬСТВА И ОБЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ

Аннотация. В исследовании изучается долгосрочная динамика климата в Южном полушарии (с 1880 г. по настоящее время) с помощью анализа температурных аномалий и роста содержания CO₂ в атмосфере. Основой исследования являются данные НАСА о температуре и данные обсерватории Мауна-Лоа о концентрации CO₂ в атмосфере, обработанные с использованием статистического анализа в Stata.

Полученные данные показывают устойчивое потепление, которое стало особенно очевидным в 1970–1980-х годах, с наиболее заметным колебанием средних показателей в летний период, чем среднегодовых.

Уровень CO₂ неуклонно увеличивается с сезонными колебаниями, что поддерживает интерпретацию тесной связи между увеличением парниковых газов и повышением региональных температур.

В статье освещаются значительные экологические и социально-экономические риски, такие как нехватка воды, сельскохозяйственный стресс и вызванная климатом миграция; делается акцент на реализации политики смягчения последствий и адаптации, ориентированной на Чили и всё Южное полушарие.

Ключевые слова: изменение климата, колебание температуры, выбросы углекислого газа, Южное полушарие

*Erik Omar Escalona Aguilar, Associate Professor
Antonio Alexis Valdez Loera,
School of Management & Business
Faculty of Engineering, Science and Technology
Jorge Leiva González, Academic
School of Civil Engineering,
Faculty of Engineering, Science and Technology,
Bernardo O'Higgins University*

IMPACT OF CLIMATE CHANGE AND TEMPERATURE VARIATION: EVIDENCE AND GENERAL PERSPECTIVES IN THE SOUTHERN HEMISPHERE

Abstract. The study examines long-term climate dynamics in the Southern Hemisphere (1880-present) by analyzing temperature anomalies along with the growth of atmospheric CO₂. It is based on temperature data from NASA and CO₂ records from the Mauna Loa Observatory, processed using statistical routines in Stata.

The findings show sustained warming that has become particularly evident since the 1970s-1980s, with more marked variability in summer averages than in annual averages.

CO₂ increases steadily with seasonal oscillations, which supports the interpretation of a close link between the increase in greenhouse gases and the increase in regional temperatures.

The article highlights significant ecological and socioeconomic risks such as water scarcity, agricultural stress and climate-induced migration and calls for the implementation of mitigation and adaptation policies focused on Chile and the entire Southern Hemisphere.

Keywords: climate change; temperature variation; carbon dioxide emissions, Southern Hemisphere

1. Introduction and Scope of the Study

This summary condenses the main ideas of the article “Impact of Climate Change and Temperature Variation, Evidence and General Perspectives in the Southern Hemisphere” and its related presentation. Both documents analyse how climate change is modifying temperature patterns in the Southern Hemisphere and how these physical changes translate into environmental, social and economic risks.

The core problem addressed is the persistent increase in global temperature driven by anthropogenic greenhouse gas emissions since the Industrial Revolution. Although the phenomenon is global, the Southern Hemisphere presents specific vulnerabilities: Antarctic and Andean ecosystems, extensive coastal areas, and densely populated cities subject to droughts, heatwaves, wildfires and water stress. These impacts affect agriculture, water availability, energy systems, housing, infrastructure and public health.

The study argues that governments, firms and communities in the Southern Hemisphere require robust, long-term evidence on regional warming in order to design realistic mitigation and adaptation strategies. For this reason, the article focuses on the evolution of surface temperature anomalies and their relationship with atmospheric carbon dioxide (CO₂), linking the physical trends to climate risks and policy challenges.

2. Objectives and Conceptual Background

The overarching objective is to characterise long-term temperature variation in the Southern Hemisphere and relate it to the evolution of atmospheric CO₂ concentrations. More specifically, the work seeks to: (i) document the historical trajectory of temperature anomalies from 1880 onwards; (ii) examine seasonal and monthly patterns, with special emphasis on summer; (iii) analyse CO₂ dynamics using the Mauna Loa series; and (iv) discuss the implications of these trends for climate risk, governance and territorial planning in countries such as Chile and South Africa.

Conceptually, the article is framed by the contemporary climate-science consensus reflected in IPCC reports. Global warming is considered unequivocal, and the increase in mean temperature since the mid-twentieth century is attributed mainly to human emissions of greenhouse gases. At the regional level, the Southern Hemisphere has experienced persistent droughts, record heatwaves, forest fires, glacier retreat and coastal impacts, all of which interact with socio-economic structures and institutional capacities.

The presentation complements the written article by summarising climate risks in a synthetic table. It links typical hazards (water scarcity, desertification, wildfires, flooding, biodiversity loss) with exposed sectors (agriculture, forestry, energy, housing and transport) and macroeconomic effects (lower productivity, higher adaptation costs and potential increases in inequality). In this way, the study connects physical climate indicators with concrete development challenges.

3. Data, Methods and Use of Software

Empirically, the analysis relies on two main data sources. First, it uses the NASA GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP v4), which provides homogenised global series of surface temperature anomalies from 1880, including a specific series for the Southern Hemisphere. Second, it

incorporates atmospheric CO₂ concentration data from the Mauna Loa Observatory in Hawaii, one of the longest continuous instrumental records of global CO₂, beginning in 1960.

The methodological approach is descriptive but rigorous. Using Stata, the authors import and organise annual, seasonal and monthly temperature-anomaly series; construct graphs relative to the 1951–1980 climatological baseline; and disaggregate results by seasons and key months such as January and July. This allows the identification of turning points in the series, especially the transition from relatively stable values to persistent positive anomalies from the 1970s and 1980s onwards.

For CO₂, the Mauna Loa series is processed to estimate trend lines and interpolate intermediate values, highlighting both the long-term upward trajectory and the characteristic seasonal oscillation. Although no formal econometric models are estimated, the combined use of trends and interpolation helps distinguish short-term variability from structural change. Taken together, the temperature and CO₂ curves show an internally consistent narrative: human activities have pushed the climate system into a new warming regime that departs from historical norms.

4. Main Empirical Findings

The results for the Southern Hemisphere reveal a clear warming signal. When anomalies are measured relative to the 1951–1980 period, annual values remain close to zero during the first half of the twentieth century but rise steadily in the decades that follow. From the 1970s onward, positive anomalies become frequent, and from the 1990s they intensify, reflecting a consolidated long-term warming trend.

Seasonal analysis shows that summer months display stronger anomalies and greater volatility than the annual average. This is crucial from a risk perspective because summer is the period in which droughts, heatwaves and wildfires are most likely to occur. Winter and transitional seasons also contribute to the overall warming pattern, influencing snowpack, glacier mass balance and river flows, but summer behaviour is particularly relevant for water management, energy planning and ecosystem resilience.

The Mauna Loa CO₂ series indicates a continuous rise from around 315 ppm in 1960 to approximately 420 ppm in recent years. The trend is not only upward but accelerating, and the seasonal “sawtooth” pattern – linked to the uptake and release of CO₂ by terrestrial vegetation – is superimposed on this clear increase. The fact that concentrations have long exceeded 350 ppm and are approaching 450 ppm is interpreted as a warning sign of growing probability of crossing dangerous climate thresholds. The temporal correspondence between sustained CO₂ growth and the warming of the Southern Hemisphere supports the interpretation that human-induced emissions are the principal driver of the observed changes.

5. Climate Risks, Case Studies and Governance Challenges

On the basis of these trends, the article and presentation discuss multiple climate risks. Water stress and drought are central: reduced precipitation and higher temperatures intensify competition for water among households, agriculture, industry and ecosystems. The prolonged “megadrought” affecting central Chile is cited as an emblematic case, with significant effects on rural livelihoods, reservoirs, hydropower generation and urban supply.

Wildfires and heatwaves represent another critical risk. Higher temperatures and longer dry seasons increase the probability and intensity of large forest fires, as seen in Chile and Australia. These events cause human and economic losses, damage biodiversity and generate severe air-quality problems. In parallel, glacier retreat and snowpack reduction in mountain regions compromise long-term water security and hydropower potential.

To illustrate how climate risks interact with governance, the study analyses the water crisis in Cape Town, South Africa. Between 2015 and 2018, extreme drought brought the city close to “Day Zero,” when the municipal supply would have been cut. The local government responded with progressive tariffs, strict consumption limits, public-awareness campaigns and investment in alternative sources. The case shows both the vulnerability of metropolitan areas and the capacity of institutions and citizens to adapt rapidly when faced with imminent scarcity.

6. Policy Implications, Strategic Responses and Future Research

The analysis leads to several strategic conclusions. First, countries in the Southern Hemisphere should adopt an anticipatory approach to climate governance. Planning based exclusively on past climate conditions is no longer adequate. Instead, infrastructure design, land-use regulation, building codes and water-management policies must incorporate scenarios of higher temperatures and more variable precipitation.

Second, mitigation policies need to be deepened. The study highlights the importance of stricter environmental regulation for highly polluting activities, economic instruments such as carbon taxes or emissions trading, and explicit incentives for renewable energy and energy efficiency. Supporting technological innovation and low-carbon investment in transport, industry, agriculture and buildings is essential for aligning development with climate objectives.

Third, adaptation strategies must prioritise vulnerable territories and social groups. Programmes to secure drinking water in rural and peri-urban areas, support climate-resilient agriculture and invest in green infrastructure can reduce exposure and sensitivity to climate hazards. Social policy design should explicitly consider climate risks, given that climate shocks tend to magnify pre-existing inequalities and can undermine progress towards the Sustainable Development Goals.

Finally, the study underlines the need to strengthen climate-information systems and scientific collaboration. Long time-series, systematic monitoring and interdisciplinary research are indispensable for evidence-based decisions. The authors advocate greater interaction between scientists, policy-makers, private actors and civil society to co-produce knowledge and co-design realistic, context-sensitive solutions.

In conclusion, the article and its presentation show that the Southern Hemisphere is already immersed in a sustained warming process closely associated with the rapid rise in atmospheric CO₂. The empirical evidence supports the global scientific consensus on climate change and underscores the urgency of accelerating both mitigation and adaptation. Future research could deepen the spatial detail of analyses, quantify sector-specific impacts through econometric models, and compare resilience strategies across countries. Overall, the message is clear: climate change is a present and intensifying reality, and inclusive, evidence-based responses are urgently required.

Sources

1. Cai, W., Gao, L., Luo, Y., Li, X., Zheng, X., Zhang, X., Cheng, X., Jia, F., Purich, A., Santoso, A., Du, Y., Holland, D. M., Shi, J. R., Xiang, B., & Xie, S. P. (2023). Southern Ocean warming and its climatic impacts. *Science Bulletin*, 68(9), 946–960. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2023.03.049>
2. Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzig, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S., & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>
3. Cavanagh, R. D., Melbourne-Thomas, J., Grant, S. M., Barnes, D. K. A., Hughes, K. A., Halfter, S., Meredith, M. P., Murphy, E. J., Trebilco, R., & Hill, S. L. (2021). Future Risk for Southern Ocean

- Ecosystem Services Under Climate Change. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.615214>
4. Cordero, R. R., Feron, S., Damiani, A., Carrasco, J., Karas, C., Wang, C., Kraamwinkel, C. T., & Beaulieu, A. (2024). Extreme fire weather in Chile driven by climate change and El Niño–Southern Oscillation (ENSO). *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52481-x>
 5. Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 3(1), 52–58. <https://doi.org/10.1038/nclimate1633>
 6. Dardati, E. (2020). Ley de Marco de Cambio Climático en Chile. *Observatorio Económico*, 150, 5. <https://doi.org/10.11565/oe.vi150.399>
 7. Enqvist, J. P., & Ziervogel, G. (2019). Water governance and justice in Cape Town: An overview. *WIREs Water*, 6(4). <https://doi.org/10.1002/wat2.1354>
 8. Friedlingstein, P., Jones, M. W., O’Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Bakker, D. C. E., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Anthoni, P., Barbero, L., Bastos, A., Bastrikov, V., Becker, M., . . . Zaehle, S. (2019). Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data*, 11(4), 1783–1838. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>
 9. GISTEMP Team (2024): GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4. NASA Goddard Institute for Space Studies. Dataset accessed 20YY-MM-DD at <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.
 10. Houghton, R. (2014). The Contemporary Carbon Cycle. *Treatise on Geochemistry*, 399–435. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-095975-7.00810-x>
 11. IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
 12. Krishnapriya, M., Nayak, R. K., Naidu, C. V., Allaudheen, S., Bhuvanachandra, A., Dadhwal, V. K., & Seshasai, M. V. R. (2022): Consistency of seasonal variability in regional CO₂ fluxes from GOSAT-IM, NASA-GEOS, and NOAA-CT. *Journal of Earth System Science*, 131(3). <https://doi.org/10.1007/s12040-022-01934-w>
 13. Leiva González, J., & Onederra, I. (2022). Environmental Management Strategies in the Copper Mining Industry in Chile to Address Water and Energy Challenges—Review. *Mining*, 2(2), 197–232. <https://doi.org/10.3390/mining2020012>
 14. Leiva González, J., Diaz-Robles, L. A., Cereceda-Balic, F., Pino-Cortés, E., & Campos, V. (2022, August 2). Atmospheric Modelling of Mercury in the Southern Hemisphere and Future Research Needs: A Review. *Atmosphere*, 13(8), 1226. <https://doi.org/10.3390/atmos13081226>
 15. Lenssen, N., G. Schmidt, J. Hansen, M. Menne, A. Persin, R. Ruedy, and D. Zyss, (2019): Improvements in the GISTEMP uncertainty model. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 124, no. 12, 6307–6326, doi:10.1029/2018JD029522
 16. Louthan, A. M., & Morris, W. (2021). Climate change impacts on population growth across a species’ range differ due to nonlinear responses of populations to climate and variation in rates of climate change. *PLOS ONE*, 16(3), e0247290. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247290>

17. Muller, M. (2018). Cape Town's drought: don't blame climate change. *Nature*, 559(7713), 174–176. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05649-1>
18. Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K. J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T. A. M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H., & Jones, J. W. (2013). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268–3273. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>
19. Salinger, M. J. (2005). Climate Variability and Change: Past, Present and Future – An Overview. *Climatic Change*, 70(1–2), 9–29. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5936-x>
20. Sasaki, M., Barley, J. M., Gignoux-Wolfsohn, S., Hays, C. G., Kelly, M. W., Putnam, A. B., Sheth, S. N., Villeneuve, A. R., & Cheng, B. S. (2022). Greater evolutionary divergence of thermal limits within marine than terrestrial species. *Nature Climate Change*, 12(12), 1175–1180. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01534-y>
21. Tans, D. P. (2023). NOAA/GML (gml.noaa.gov/ccgg/trends/) and Dr. Ralph Keeling, Scripps Institution of Oceanography (scrippsco2.ucsd.edu/).
22. Winckler Grez, P., Aguirre, C., Farías, L., Contreras-López, M., & Masotti, T. (2020). Evidence of climate-driven changes on atmospheric, hydrological, and oceanographic variables along the Chilean coastal zone. *Climatic Change*, 163(2), 633–652. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02805-3>

УДК 620.92

Е.И. Теруков,
профессор, доктор технических наук
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА НА КРЕМНИИ: ОСНОВНЫЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ

Аннотация. Солнечная энергетика – одно из наиболее перспективных направлений развития возобновляемых источников энергии. По оценкам экспертов, к 2100 году солнце станет доминирующим источником энергии на планете. Во многих странах солнечная энергетика получила активную государственную поддержку и стремительно развивается.

Ключевые слова: солнечная энергетика, кремниевые солнечные элементы, перспективы развития.

E.I. Terukov,
Professor, Doctor of Sciences
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

SOLAR ENERGY BASED ON SILICON: KEY DEVELOPMENT TRENDS.

Annotation. Solar energy is one of the most promising areas for the development of renewable energy sources. According to experts, by 2100, the sun will become the dominant source of energy on the planet. In many countries, solar energy has received active government support and is rapidly developing.

Keywords: solar energy, silicon solar cells, development prospects.

Количество солнечной энергии, поступающей на Землю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и других энергетических ресурсов, в том числе возобновляемых. Использование всего лишь 0,0125% солнечной энергии могло бы обеспечить все сегодняшние потребности мировой энергетики, а использование 0,5% – полностью покрыть потребности в будущем. Полная установленная мощность солнечных батарей в мире к началу 2024 года превысила 1624 ГВт с годовым приростом в 2023 году 447 ГВт (рис. 1). Такой быстрый рост солнечной фотоэнергетики объясняется в основном удешевлением себестоимости производства фотоэлектрических модулей. Благодаря этому солнечная энергетика достигла в ряде «солнечных» регионов мира конкурентоспособности (паритета) с сетевой электроэнергией без дополнительных мер государственной поддержки.

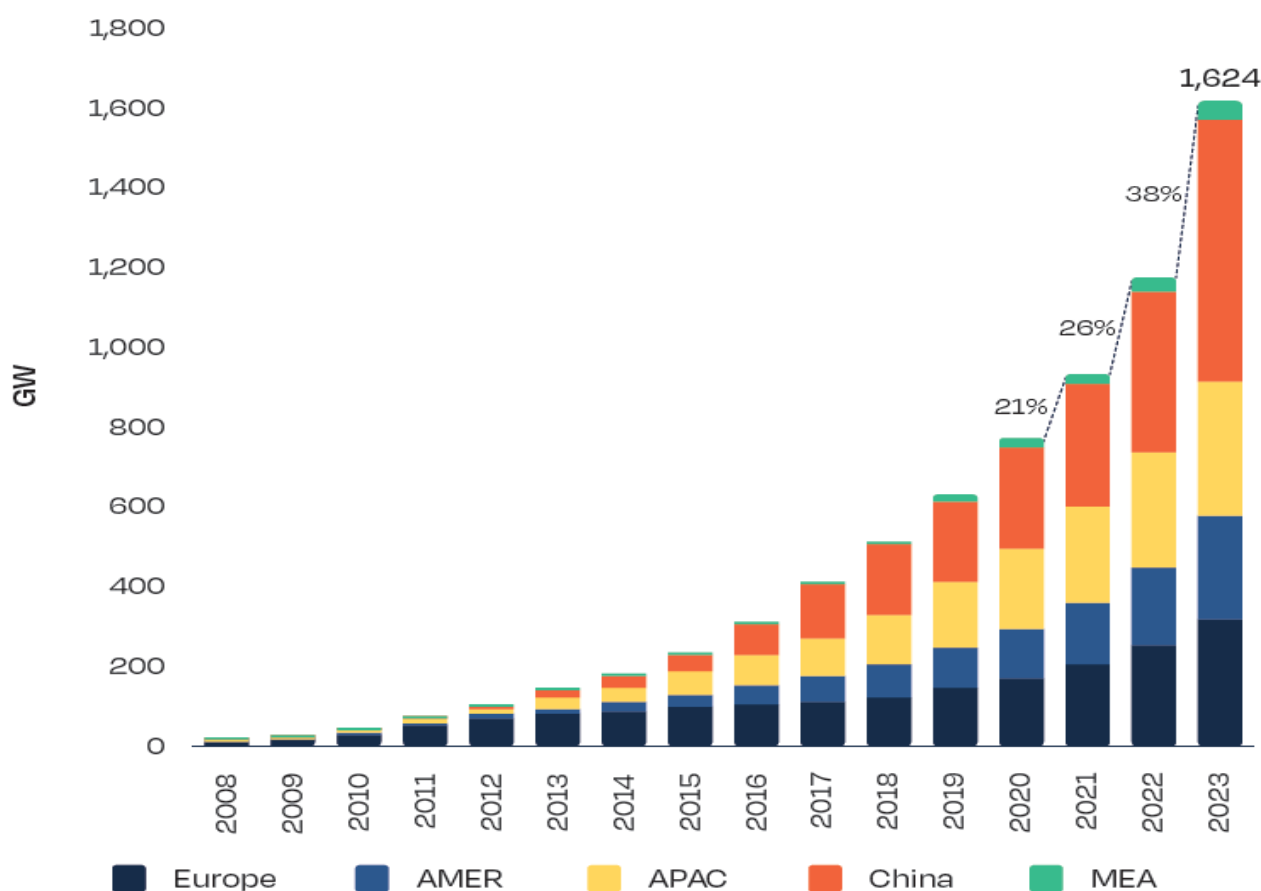


Рис. 1. Суммарные мощности солнечных электростанций, установленных в 2008–2023 годах в указанных регионах мира: Китай, APAC (Азиатско-Тихоокеанский регион), AMER (Американский континент), Европа и MEA (Ближний Восток и Африка)

На сегодняшний день существует несколько технологий создания солнечных элементов (СЭ) на базе различных полупроводников в качестве фотоактивного материала. Как правило, они делятся на два основных класса: 1) тонкопленочные (thin film) и 2) на основе кремниевых пластин (wafer type). К тонкопленочным ФЭП/ФЭМ относятся модули на основе тонких пленок аморфного кремния (a-Si), теллурида кадмия (CdTe), диселенида индия-галлия-меди (CIGS) и различных перовскитов [1]. Толщина пленок варьируется от нескольких нанометров (нм) до нескольких микрометров (мкм), что намного тоньше, чем

у ФЭП на основе кристаллического кремния, в которых используются кремниевые пластины толщиной до 180 мкм. Это позволяет тонкопленочным солнечным модулям быть гибкими и иметь меньший вес. С другой стороны, уменьшение толщины фотоактивного слоя позволяет создавать полупрозрачные тонкопленочные модули, которые могут быть интегрированы в элементы зданий. Несмотря на данные преимущества, существенным недостатком тонкопленочных модулей по сравнению со стандартными кремниевыми модулями является их низкая эффективность преобразования энергии (КПД) порядка 10–14% в зависимости от применяемого материала.

Несмотря на дешевизну по сравнению с кристаллическим кремнием, рыночная доля тонкопленочных солнечных модулей никогда не превышала 20% за последние два десятилетия и в последние годы снизилась примерно до 5%. Остальные 95% рынка солнечной энергетики занимают модули на основе монокристаллических кремниевых пластин, которые обладают более высокими показателями КПД (более 25%). Соответственно. Изначально кремниевые СЭ изготавливались с использованием кремниевых пластин p-типа по стандартной диффузионной технологии путем вжигания серебряной фронтальной контактной сетки и сплошного алюминиевого тыльного контакта при высокой температуре ($> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$). При этом наличие непосредственного сплошного контакта между кремнием и металлом на тыльной стороне приводило к большим рекомбинационным потерям, что ограничивало КПД на уровне 17%. Решение данной проблемы произошло в конце 1980-х годов, когда профессор Мартин Грин предложил использовать пассивацию тыльной стороны оксидом кремния для снижения рекомбинационных потерь. Так появился первый лабораторный PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) СЭ с КПД порядка 23% на пластинах монокристаллического кремния p-типа [2]. Параллельно с технологией PERC также развивались другие высокоэффективные технологии на основе монокристаллического кремния на подложке n-типа, такие как односторонние кремниевые СЭ (Interdigitated Back Contact (IBC) Cells), в которых оба n- и p-контакта расположены с тыльной стороны, что позволяет избежать оптических потерь от затенения фронтальной контактной сетки. Этот шаг позволил увеличить КПД до 25%. В качестве дальнейшей более высокоэффективной альтернативы PERC технологии, рассматривается использование технологии TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact) или же SHJ (Silicon Heterojunction) технологии. Если TOPCon технология основана на высокотемпературной пассивации поверхности СЭ туннельным оксидом для снижения рекомбинационных потерь, то SHJ-технология является низкотемпературной и базируется на пассивации поверхности кремниевых пластин с помощью тонких слоев гидрогенизированного аморфного кремния. Для обеих технологий были достигнуты КПД $> 27\%$ на полноразмерных кремниевых СЭ в лабораторных условиях, тогда как в условиях массового производства средний КПД составляет 25% [3, 4].

В одиночку солнечная энергетика вряд ли сможет заменить уголь, нефть и газ. В то же время, в сочетании с другими ВИЭ, она вполне способна в относительно недалеком будущем убрать с мировой арены углеводороды. В настоящее время в рамках зеленой повестки многие страны имеют достаточно амбициозные планы по дальнейшему развитию ВИЭ, включая солнечную энергетику. По одному из сценариев Международного агентства по возобновляемой энергетике (IRENA) [5], ранее весьма консервативного в вопросах ВИЭ, солнечная энергетика к 2050 г. станет номером один в мире – на ее долю придется 27% мирового производства электроэнергии.

Другими словами, к 2050 г. общий объем PV инсталляций превысит 8,5 ТВт (рис. 2). Прогнозируется, что солнечная и ветряная энергетика вместе станут главными источниками энергии в мире, и их доля в мировом энергетическом балансе будет превосходить доли углеводородов вместе взятые.

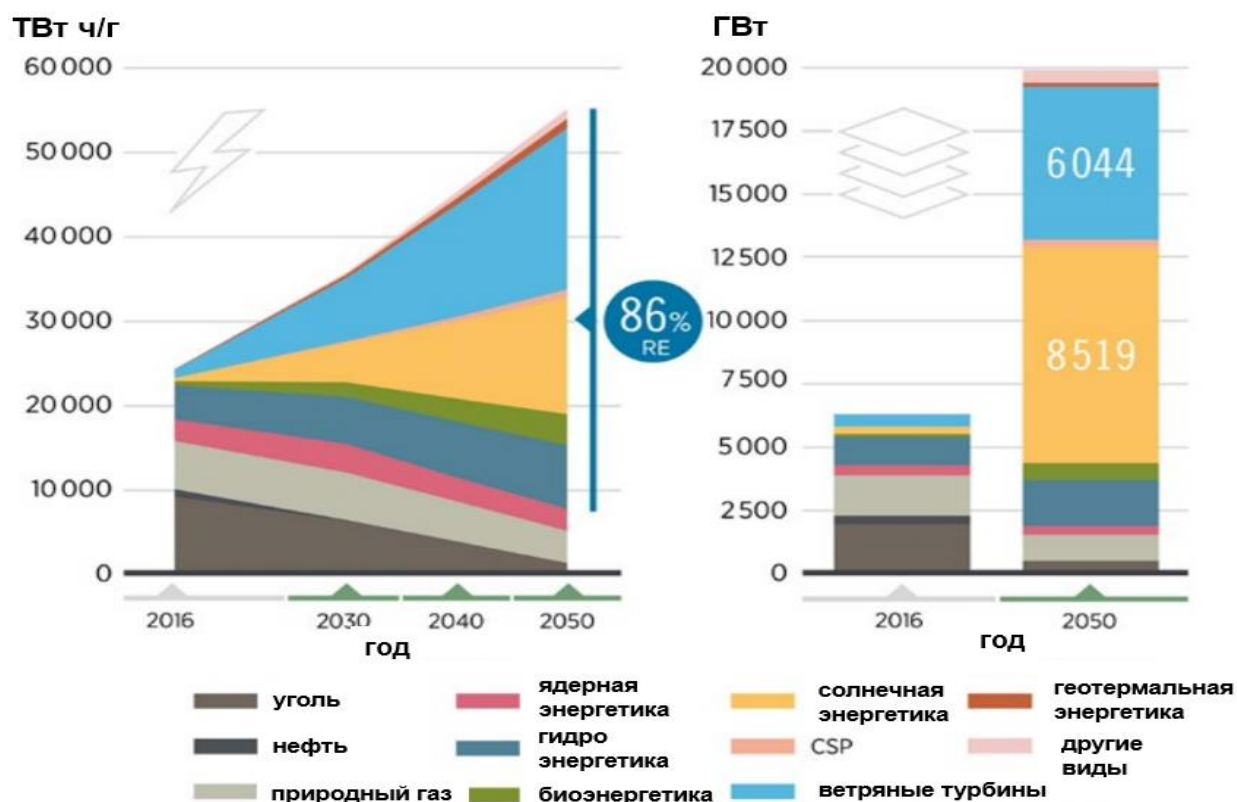


Рис. 2. Прогноз по мировому энергетическому балансу. IRENA [5]

Следует, однако, отметить, что производство солнечных электростанций на тераваттном уровне является достаточно затратным как в финансовом, так и в материальном плане. Текущий рост стоимости материалов фотоэлектрических систем (железо, алюминий, медь и т.д.) увеличивает расходы в данной области. Для кремниевых СЭ наиболее дефицитным материалом является серебро, которое используется при формировании контактной сетки. Для высокоэффективных TOPCon и SHJ СЭ расход серебра примерно на 50% и 100% выше, чем для PERC ячеек. Рост цен на серебро может замедлить процесс перехода от PERC технологии к TOPCon или SHJ-технологии. Индий (используемый для создания прозрачных проводящих слоев в SHJ-ячейках) является еще более критичным в этом плане материалом для расширения производства SHJ СЭ [6]. Поэтому при массовом расширении производства до ТВт-го уровня в будущем необходимо будет сокращать удельный расход данных критических материалов и/или разработать технологии, которые заменят эти редкие материалы на более доступные. Не стоит также забывать о проблеме утилизации такого большого объема солнечных модулей после окончания срока их эксплуатации.

Источники

1. Powalla M. et al. Thin-film solar cells exceeding 22% solar cell efficiency: An overview on CdTe, Cu(In,Ga)Se₂, and perovskite-based materials, Applied Physics Reviews, 2018, №5, 041602.
2. Green M. The Passivated Emitter and Rear Cell (PERC): From conception to mass production, Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2015. – №143. – P. 190–197.
3. Abramov A., Andronikov D., Abolmasov S. and Terukov E.I. Silicon Heterojunction Technology: a key to high efficiency solar cells at low cost, in High Efficient Low-Cost Photovoltaics, Recent Developments, 2nd Ed. (Springer Nature, Switzerland, 2020), pp. 113–132.

4. Yousuf H. et al. A review of TOPCon Solar Cell Technology, Current photovoltaic Research. – 2021. – № 9(3). – P. 75–83.
5. IRENA (2024), Future of Solar Photovoltaics, Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper), International Renewable Energy Agency, 2024.
6. Hallam B. et al., Challenges and Opportunities for Sustainable PV Manufacturing at the Terra-watt Level, PV Cell Conference, 2021.

УДК 622.22, 004.8

*Любовь Ярошенко,
кандидат. полит. наук,
руководитель направления
Дирекция по международному
сотрудничеству
En+ Group*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ ДЛЯ АДАПТАЦИИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

Аннотация. В статье представлен анализ ключевых направлений адаптации гидроэнергетики к изменению климата начиная с глобальных тенденций развития гидроэнергетики и роста климатических рисков и заканчивая конкретными кейсами адаптации каскадов гидроэлектростанций в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

Ключевые слова: гидроэнергетика, адаптация, климатические изменения, цифровизация.

*Liubov Yaroshenko,
PhD in PolScie,
Associate Director
Department for International Cooperation
En+ Group*

TECHNOLOGICAL INNOVATIONS FOR HYDROPOWER SECTOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Abstract. The article examines how technological innovation underpins hydropower sector adaptation to climate change, linking global trends in hydropower deployment with growing climate-induced hydrological risks and their operational implications. It highlights case studies from hydropower plants in the Asia-Pacific region and their approaches to adaptation.

Keywords: hydropower, adaptation, climate change, digitalization, AI-driven technologies.

Hydropower remains a cornerstone of the global clean power system, generating almost as much electricity as all other renewables combined and accounting for about 14.3% of global power production. In 2024, conventional hydropower capacity grew by roughly 1%, with 16.2 GW added worldwide, bringing installed capacity to about 1,254 GW. China dominates

new additions, commissioning 14.4 GW in 2024, thus embracing 6.66 GW of conventional hydropower and 7.75 GW of pumped-storage hydropower (PSH)¹, and underlining hydropower's flexibility value in systems with high variable renewables.

Climate change is altering hydrological regimes through higher temperatures, shifts in precipitation patterns, glacier melt, and more frequent extremes such as floods and droughts. According to the World Meteorological Organization data, in Asia² the average temperature in 2024 was about 1.04°C above the 1991–2020 average³, with warming nearly at twice the global average and record marine and land heatwaves.

Case studies of number of Chinese hydropower plants effectively illustrate these impacts in operational terms. At Guipitan HPP (the installed capacity of 3 GW) on the Wujiang River, lower water inflows have forced operation well below design capacity, cutting electricity generation to around 10% of normal output during extreme dry periods. At Longtan HPP (the installed capacity of 4.9 GW) on the Hongshui River, persistent low rainfall and mid-2020s drought caused notable declines in inflows to the reservoir and in hydroelectric output, raising reliance on supplementary energy sources.

Consequently, adaptation strategies in the hydropower sector in the Asia-Pacific region are prioritizing: enhanced early-warning systems for floods and droughts, building on evidence that timely alerts significantly reduce losses, and greater integration of climate projections into planning of new hydropower plants and modernization of existing assets, especially in high-mountain and monsoon-dependent basins.

The sector is moving towards systematic climate resilience frameworks that embed climate science across the project lifecycle. The Hydropower Sector Climate Resilience Guide⁴ has become a golden standard for the hydropower industry to become more resilient to climate change. It offers a framework for hydropower projects to identify, assess, and manage climate change risks, moving beyond historical data to use climate modeling for planning, design, and operations across all project stages, ensuring long-term viability against threats like floods and droughts through phased screening, stress testing, and adaptation strategies⁵. The developers and operators actively rely on this guide to structure adaptation to climate change around five stages for both existing and future projects.

A practical example of how it could work is the project launched by En+ Group in 2022 focusing on Angara HPP cascade (Irkutsk, Bratsk and Ust-Ilimsk HPPs on the Angara River) adaptation to climate change⁶.

¹ 2025 World Hydropower Outlook <https://www.hydropower.org/publications/2025-world-hydropower-outlook>

² Please note that according to WMO terminology the Asia region spans various sub-regions like the Middle East, Central Asia, and East Asia, and features a wide range of climates and geographies. At the same time, according to WMO, there is South-West Pacific Region which is a vast area that includes part of Southeast Asia, Australia, New Zealand and the Pacific, encompassing 24 WMO Members that fall within the scope of the WMO Regional Office for Asia and the South-West Pacific.

³ World Meteorological Organization's State of the Climate in Asia 2024 <https://wmo.int/news/media-centre/rising-temperatures-and-extreme-weather-hit-asia-hard>

⁴ Initially developed by the International Hydropower Association (IHA) in 2019. <https://www.hydropower.org/publications/hydropower-sector-climate-resilience-guide>

⁵ Там же.

⁶ En+ Group Consolidated Report 2023 https://www.enplusgroup.com/upload/iblock/b49/eniob7vn7a8vdlbs6j0z9422ieovavyo/AR_full_ENG_06_25.pdf

Historical climate change data was assessed and key trends that have the potential to magnify risk were identified. For the selected climate scenarios – the most probable (SSP2-4.5) and stressful (SSP5-8.5) – the main climate risk factors (changes in temperature, precipitation and humidity) were determined over three planning horizons – 2030, 2050, 2100¹. Based on this data, a detailed register of physical climate risks was compiled. A hydrological model of the river flow in the Lake Baikal basin and the Angara river to the Ust-Ilimsk HPP was set. It was used to calculate scenario-based forecasts of the useful water inflow into the cascade reservoirs for the specified planning horizons². The assessment resulted in measures being developed to adapt to climate change for the specified planning horizons. The measures varied from reforestation and forest protection to the adoption of new technologies for water inflow forecasting³.

Digital innovation is one of the most powerful tools for hydropower climate adaptation, since it enhances assets' reliability under more volatile operating conditions. A prominent example is the deployment of Automated Predictive Analytics System (APAS) based on machine-learning algorithms and high-frequency sensor data. Such systems employ AI-driven algorithms trained on historical operating data and failure histories, allowing pattern recognition that goes beyond traditional threshold alarms.

Thus, the sensors are deployed at 12 out of 18 hydraulic units of Bratsk HPP. The APAS analyses data on the parameters and operational conditions of hydraulic units through machine learning algorithms predicting equipment malfunctions in advance and promptly alerting plant staff. Due to the APAS, En+ Group prevented 24 emergency shutdowns of equipment since the system launch in 2024⁴.

Beyond APAS, the broader digitalization of existing hydropower plants is highlighted as a “game-changer” for climate resilience. Digitally enabled hydropower plants can integrate advanced data analytics to optimize dispatch under variable inflows, reservoir levels, and can use automated control systems that balance turbine loading and spillway use to minimize both flood and drought damages. These capabilities underpin hydropower's role as a stabilizing resource in power systems facing both demand-side electrification and supply-side climate volatility.

A central emerging tool is the use of digital twins of a catchment basin and hydroelectric power plant cascade. These virtual replicas combine hydrological models, infrastructure data, real-time monitoring networks, and climate projections to simulate water system behavior.

Digital twins can test alternative operating rules under projected climate scenarios, including extreme drought sequences or compound flood events, and can support multi-objective optimization across power generation, flood protection, and environmental flow maintenance. By grounding hydropower decisions in these dynamic models, operators can better anticipate changes in inflow regimes, adjust storage strategies, and coordinate HPPs cascades over seasonal and inter-annual timescales.

Looking ahead, several innovation pathways stand out for strengthening hydropower adaptation to climate change:

- **Deeper digitalization:** Expanded use of data analytics based on advanced tech like AI, and predictive algorithms for condition monitoring, reservoir optimization, and system-wide dispatch.

¹ Based on the data disclosed in En+ Group Consolidated Report 2023 https://www.enplusgroup.com/upload/iblock/b49/eniob7vn7a8vdlbs6j0z9422ieovavyo/AR_full_ENG_06_25.pdf

² Там же.

³ Based on the data disclosed in En+ Group Consolidated Report 2024 https://www.enplusgroup.com/upload/iblock/be0/k909geay9grnnwx66vlf0i09gf4ab8y/EN_AR2024_ENG_book_26.06.pdf

⁴ Там же.

- **Enhanced predictive maintenance:** Scaling APAS-type systems across HPPs “fleet” to move toward condition-based asset management, reducing forced outage risks under more demanding operating profiles.
- **Advanced water management systems:** Development of modern, integrated water-resources management platforms grounded in digital twins and informed by the latest climate science.
- **International cooperation:** Systematic exchange of methodologies, tools, and case studies with partners in leading hydropower and water-management countries, to accelerate adoption of best practices.

Sources

1. En+ Group Consolidated Report, 2023.
2. En+ Group Consolidated Report, 2024.
3. Hydropower Sector Climate Resilience Guide.
4. World Hydropower Outlook, 2025.
5. World Meteorological Organization’s State of the Climate in Asia 2024. (дата обращения: 9.01.2026)

СОДЕРЖАНИЕ

Международный семинар «Достижение целей Парижского соглашения: успешная комбинация подходов»

Гумбатов Ф.Д. Перспектива низкоуглеродного развития Азербайджанской Республики и региональные призывы к экологической безопасности.....	3
---	---

Международный семинар «Сотрудничество в области энергетики и декарбонизация в Центральной Азии»

Мирзаев А.Т. Сотрудничество энергосистем в рамках Объединенной энергосистемы Центральной Азии	11
---	----

XVII Международная научная конференция «Роль стран БРИКС+ в достижении климатических целей»

Го Б. Модернизация энергетической отрасли и глобальное энергетическое управление...	16
Ярыгин Г.О. Применение искусственного интеллекта для энергосбережения и сокращения выбросов парниковых газов: опыт Китая	19
Жанбулатова Р.С. Политика декарбонизации Республики Казахстан: особенности, возможности и вызовы	26

Международный семинар «Энергетика и климат: сохраняющиеся проблемы в меняющемся мире»

Миронова И. Газовый рынок Турции и стремление к созданию газового хаба в развивающемся Евразийском энергетическом ландшафте.....	32
Сапожников А. БРИКС: обмен опытом.....	36
Лозеканн Л. Энергетический переход и возможности сотрудничества по ВИЭ и газу между странами БРИКС+	40
Сунь П., Юань В., Вэй Д., Сун Ф., Го Б., Ван Я., Ван Ч. Непредвиденное и предполагаемое влияние экстремальных тепловых волн на загрязнение воздуха и связанные с ним социальные издержки: данные энергетического сектора Китая.....	43

Международный семинар «Интернализация внешних эффектов: Финансирование смягчения последствий глобального потепления»

Кумар А. Рынок углеродных единиц в Индии.....	47
Нагайцев И.А. Обзор трендов на добровольных рынках углеродных единиц.....	50

**XVIII Международная научно-практическая конференция
«Энергетика и климат: вызовы и возможности меняющегося миропорядка»**

Гривач А.И. Ключевая роль инвестиций в традиционную энергетику для устойчивого развития	54
Эскалона Э.А., Лоэра А.В., Гонзалес Х.Л. Влияние изменения климата и колебаний температуры: доказательства и общие перспективы в Южном полушарии.....	57
Теруков Е.И. Солнечная энергетика на кремнии: основные тренды развития.....	62
Ярошенко Л. Технологические инновации для адаптации гидроэнергетики к изменению климата.....	66

CONTENTS

International Hybrid Workshop “Meeting the Climate Target: What Combination of Approaches can be Successful?”

Humbatov F.D. Low Emission Development Prospective of the Republic of Azerbaijan and Regional Environmental Security Challenges	3
---	---

International Hybrid Workshop “Cooperation on Energy and Decarbonization in Central Asia”

Mirzaev A.T. Cooperation of Energy Systems within the Framework of the United Energy System of Central Asia	11
---	----

XVII International Scientific Conference “Meeting the Climate Targets: the Importance of the BRICS+ countries”

Guo B. Energy Industry Modernization and Global Energy Governance	16
Yarygin G. Artificial Intelligence Application for Energy Conservation and GHG Emissions Reduction: Chinese Perspective.....	19
Zhanbulatova R. Decarbonisation Policy in Kazakhstan: Features, Opportunities and Risks	26

International Hybrid Workshop “Energy and Climate: Persisting Challenges in a Changing World”

Mironova I. Türkiye’s Gas Market and Hub Aspirations in the Evolving Eurasian Energy Landscape.....	32
Sapozhnikov A. BRICS: Lessons to be Learned From Each Other.....	36
Losekann L. Energy Transition and Potential for Cooperation on Renewables and Gas amongst the BRICS Countries	40
Sun P., Yu’an W., Wei D., Song F., Guo B., Wang Y., Wang Ch. (Un)Intended Consequence of Extreme Heatwaves on Air Pollution and its Social Cost: Evidence from the Power Sector in China	43

International Online Seminar “Internalizing Externalities: Funding for Mitigation of Global Warming”

Kumar A. Carbon Credits Market in India.....	47
Nagaitsev I.A. Overview of Trends in Voluntary Carbon Unit Markets	50

XVIII International Scientific and Practical Hybrid Conference
“Challenges and Opportunities for Energy and Climate
Raised by a Changing Global Order”

Grivach A. Key Role of Traditional Energy Investments in Global Sustainability.....	54
Escalona Aguilar E.O., Valdez Loera A. A., González J. L. Impact of Climate Change and Temperature Variation: Evidence and General Perspectives in the Southern Hemisphere ...	57
Terukov E.I. Solar Energy Based On Silicon: Key Development Trends	62
Yaroshenko L. Technological Innovations For Hydropower Sector Adaptation To Climate Change	66

Научное издание

Международная научно-практическая конференция

**«ЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА:
ЭКОНОМИКА, ПОЛИТИКА, ЭКОЛОГИЯ»**

Сборник докладов

*Под редакцией
доктора экономических наук, профессора И.А. Максимцева*

*Редактор В.М. Макосий
Верстка Л.А. Солдатовой*

Подписано в печать 18.05.2026. Формат 60×84 1/8.
Усл. печ. л. 9,5. Тираж 500 экз. Заказ 380.

Издательство СПбГЭУ. 191023, Санкт-Петербург,
наб. канала Грибоедова, д. 30-32, лит. А.

Отпечатано на полиграфической базе СПбГЭУ