

2.4.5 Энергетические системы и комплексы (технические науки)

**ПОТЕНЦИАЛ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO₂ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ РЕГИОНОВ СЕВЕРА НА
ПРИМЕРЕ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ УГОЛЬ ДЖЕБАРИКИ-ХАЙСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

В.Е. ЗАХАРОВ, vasss@mail.ru	науч. сотр.	V.E. ZAKHAROV,	Research Officer
Д.В. ПРОХОРОВ,	канд. техн. наук, ст. науч. сотр.	D.V. PROKHOROV,	Cand. Sci. (Tech.), Senior Research Officer
Н.А. НИКОЛАЕВА,	канд. геогр. наук, ст. науч. сотр.	N.A. NIKOLAEVA,	Cand. Sci. (Geographic), Senior Research Officer
Н.В. ПАВЛОВ, Д.Д. ПИНИГИН,	и.о. заведующего отделом науч. сотр.	N.V. PAVLOV, D.D. PINIGIN,	Acting Head of Department Research Officer

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Российская Федерация, Якутск
Institute of physical and technical problems of the North SB RAS named after V.P. Larionov, Russian Federation, Yakutsk*

Аннотация. Формирования грамотной стратегии и программных мероприятий по развитию систем энергетики требуют многосторонней оценки эффективности мероприятий и исходя из этого правильного выставления приоритетов. В данной работе приведена количественная оценка эмиссии углекислого газа от угольных котельных и потенциал её снижения при проведении технически быстро реализуемых и относительно недорогих мероприятий. Также в работе впервые проведена попытка раскрытия транспортной составляющей в общем углеродном следе организации теплоснабжения на базе местного угля в Республике Саха (Якутия). Расчет эмиссии CO₂ произведен через коэффициенты выбросов углекислого газа выведенных на основе компонентного состава топлива. Суммарная эмиссия CO₂ при существующих технологиях использования угля месторождения Джебарики-Хая составила около 680 тысяч тонн, из них эмиссия при транспортировке угля составила около 10 тысяч тонн. При внедрении в технологическую цепочку использования угля сортировку и упаковку в «биг-бэги» эмиссия CO₂ может быть снижена более 21%.

Ключевые слова: Регион Севера, энергоснабжение, эмиссия CO₂, углеродный след, углеснабжение

Список источников

1. V. Bushuev, D. Solovyev, N. Sokotushchenko: Role of renewable energy sources in reducing greenhouse gas emissions: prospects and challenges for Russia's Far East, *Energy policy* 2023; 9 (188). DOI: 10.46920/2409_2023_9188_98.
2. S. Ladage, M. Blumenberg, D. Franke, A. Bahr, R. Lutz, S. Schmidt: On the climate benefit of a coal-to-gas shift in Germany's electric power sector, *Scientific Reports* 2021, 11 (1). DOI: 10.1038/s41598-021-90839-7.
3. A. Safari, N. Das, O. Langhelle, J. Roy, M. Assadi: Natural gas: A transition fuel for sustainable energy system transformation? *Energy Sci Eng.* 2019; 7:1075-1094. DOI: 10.1002/ese3.380.
4. F. Song, H. Mehedi, C. Liang, J. Meng, Zh. Chen, F. Shi: Review of transition paths for coal-fired power plants, *Global Energy Interconnection* 4 (2021) 354-370; DOI: 10.1016/j.gloi.2021.09.007.
5. С.В. Жуков, О.Б. Резникова. Энергетический переход в США, Европе и Китае: новейшие тенденции // *Проблемы прогнозирования.* 2023. № 4 (199). С. 15-31. DOI: 10.47711/0868-6351-199-15-31
6. M. Soltani, F. Moradi Kashkooli, A.R. Dehghani-Sanij, A. Nokhosteen, A. Ahmadi-Joughi, K. Gharali, S.B. Mahbaz & M.B. Dusseault (2019): A comprehensive review of geothermal energy evolution and development, *International Journal of Green Energy*, DOI: 10.1080/15435075.2019.1650047.
7. E. Miranda-Barbosa, B. Sigfússon, J. Carlsson, E. Tzimas: Advantages from combining CCS with geothermal energy, *Energy Procedia* 114 (2017) 6666 – 6676.

8. A. S. Gaur, D. Z. Fitiwi, J. Curtis: Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review, *Energy Research & Social Science* 71 (2021) 101764.
9. I. Y. Ivanova, D. D. Nogovitsyn, T. F. Tuguzova, Z. M. Sheina, L. P. Sergeeva: Wind energy resources in Verkhoiansk town of the Sakha republic (Yakutia) and the possibility of their use for power supply, *Fundamental research* 4 (2013).
10. Е. П. Майсюк, И.Ю. Иванова. Экологическая оценка природы Восточной Арктики: вклад объектов энергетики // *Энергетическая политика*. 2021. №5(159).
11. О.В. Бурый Опыт оценки углеродного следа экономики Республики Коми на основе анализа топливно-энергетического баланса. Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера – 2022 Сборник статей Восьмой Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). В 2-х частях. Том Часть II. Иркутск, 2022
12. Е. Р. Maysyuk, I. Y. Ivanova, A. K. Izhbuldin, E. V. Gubiy: Greenhouse gas balance of Russia: the specifics of the federal districts, *E3S Web of Conferences* 470, 01013 (2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202347001013.
13. T.N. Gavrileva, A.V. Nogovitsyn: The impact of energy saving state programs on the dynamics of carbon emission in the Republic of Sakha (Yakutia), *Arctic XXI century* 2016; 1(4).
14. Howarth RW. The greenhouse gas footprint of liquefied natural gas (LNG) exported from the United States. *Energy Sci Eng.* 2024; 1-17. DOI:10.1002/ese3.1934
15. J. Sherwood, R. Bickhart Jr., E. Murawski, Z. Dhanani, B. Lytle, P. Carbajales-Dale, M. Carbajales-Dale: Rolling coal: The greenhouse gas emissions of coal rail transport for electricity generation. *Journal of Cleaner Production* 259 (2020) 120770.
16. A. V. Soloviev, "Environmental performance of inland navigation vessels." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.2 (2017): 306–322. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-306-322.
17. N. Li, W. Chen: Modeling China's interprovincial coal transportation under low carbon transition, *Applied Energy* 222 (2018) 267–27. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.03.103.
18. Захаров В.Е., Прохоров Д.В., Гаврилов В.Л. Потери энергетической ценности рядового угля при доставке до арктических потребителей Республики Саха (Якутия) / *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2013. №5-6. С. 13-22.
19. Захаров В.Е. Пути совершенствования методов учета объемов хранимого угля при снабжении труднодоступных потребителей. Сборник трудов Евразийского симпозиума по проблемам надежности материалов и машин для регионов холодного климата: Том 2. – Якутск: Цумори Пресс, 2018. – с.260-269.
20. Захаров В.Е., Козлов А.Н, Донской И.Г. «Моделирование изменения теплоты сгорания угля при транспортировке до районов Крайнего Севера, на примере Республики Саха (Якутия)» / *Известия РАН. Энергетика* - 2018 - №6. - С.132-141. DOI: 10.31857/S000233100003526-2.
21. V. Zakharov. Features of the transport system of the Republic of Sakha (Yakutia) and the substantiation of the need for searching of ways to increase the reliability of coal supply. *E3S Web of Conferences* 77, 04001 (2019) «Regional Energy Policy of Asian Russia 2018". DOI 20197704001.
22. Приказ Минприроды России от 27.05.2022 N371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов».
23. Постановлении Правительства Республики Саха (Якутия) от 14 июля 2005 года №433 Об утверждении норм расхода топливно-энергетических ресурсов на выработку тепловой энергии отопительно-производственными котельными Республики Саха (Якутия).
24. А. Е. Ivanova, V. Е. Zakharov, T. N. Petrova: The current state, problems and perspective of development on the North region's Housing and Utilities After the example of the Republic of Sakha (Yakutia) (Conference Paper) 6-9 Oct. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020 DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271489
25. ГОСТ 30735-2001 «Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью до 4,0 МВт».

THE POTENTIAL FOR REDUCING CO₂ EMISSIONS IN THE HEAT SUPPLY OF THE NORTH ON THE EXAMPLE OF HEATING SYSTEMS USING COAL FROM THE DZHEBARIKI-KHAYA DEPOSIT

Abstract. *The formulation of a competent strategy and program measures for development of energy systems requires a multilateral assessment of the effectiveness of measures and, based on this, the correct setting of priorities. This paper presents a quantitative assessment of carbon dioxide emissions from coal-fired boilers and their reduction potential in the case of technically quick and relatively inexpensive measures. This paper is also the first attempt to disclose the transport component of the total carbon footprint of a heat supply management based on local coal in the Republic of Sakha (Yakutia). CO₂ emissions are calculated using carbon dioxide emission factors derived from the composition of the fuel components. The total emission of CO₂ using the existing technologies of coal utilization at the Dzhebariki-Khaya deposit amounted about 680 thousand tons, of which the emission during coal transportation was about 10 thousand tons. The introduction of sorting and packing into "big-bags" in the technological chain of coal utilization can reduce CO₂ emissions by more than 21%.*

Keywords: *Northern region, energy supply, CO₂ emissions, carbon footprint, and coal supply*

References

1. V. Bushuev, D. Solovyev, N. Sokotushchenko: Role of renewable energy sources in reducing greenhouse gas emissions: prospects and challenges for Russia's Far East, *Energy policy* 2023; 9 (188). DOI: 10.46920/2409_2023_9188_98.
2. S. Ladage, M. Blumenberg, D. Franke, A. Bahr, R. Lutz, S. Schmidt: On the climate benefit of a coal-to-gas shift in Germany's electric power sector, *Scientific Reports* 2021, 11 (1). DOI: 10.1038/s41598-021-90839-7.
3. A. Safari, N. Das, O. Langhelle, J. Roy, M. Assadi: Natural gas: A transition fuel for sustainable energy system transformation? *Energy Sci Eng.* 2019; 7:1075-1094. DOI: 10.1002/ese3.380.
4. F. Song, H. Mehedi, C. Liang, J. Meng, Zh. Chen, F. Shi: Review of transition paths for coal-fired power plants,

Global Energy Interconnection. 2021; (4). 354-370; DOI: 10.1016/j.gloi.2021.09.007.

5. S.V. Zhukov, O.B. Reznikova. Ehnergeticheskii perekhod v SSHA, Evrope i Kitae: noveishie tendentsii. Problemy prognozirovaniya. 2023; 4 (199); (in Russ).

6. M. Soltani, F. Moradi Kashkooli, A.R. Dehghani-Sanij, A. Nokhosteen, A. Ahmadi-Joughi, K. Gharali, S.B. Mahbaz, M.B. Dusseault, A comprehensive review of geothermal energy evolution and development. International Journal of Green Energy. 2019; DOI:10.1080/15435075.2019.1650047

7. E. Miranda-Barbosa, B. Sigfússon, J. Carlsson, E. Tzimas, Advantages from combining CCS with geothermal energy. Energy Procedia. 2017; (114).

8. A.S. Gaur, D.Z. Fitiwi, J. Curtis, Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review, Energy Research & Social Science. 2021; (71).

9. I.Y. Ivanova, D.D. Nogovitsyn, T.F. Tuguzova, Z.M. Sheina, L.P. Sergeeva, Wind energy resources in Verkhoyansk town of the Sakha republic (Yakutia) and the possibility of their use for power supply. Fundamental research. 2013; (4).

10. E.P. Maysyuk, I.Y. Ivanova Ekologicheskaya otsenka prirody Vostochnoy Arktiki: vklad ob"ektov energetiki. Energy policy. 2021; (5). (in Russ).

11. O.V. Buriy, Opyt otsenki uglerodnogo sleda ekonomiki Respubliki Komi na osnove analiza toplivno-energeticheskogo balansa., in Proceedings of the Eighth All-Russian Scientific and Practical Conference "Actual problems, directions and mechanisms of development of the productive forces of the North, Syktyvkar, Russia, September 21-23; 2022. (in Russ).

12. E. P. Maisyuk, I.YU. Ivanova. Ehkologicheskaya otsenka prirody Vostochnoi Arktiki: vklad ob"ektov ehnergetiki // Ehnergeticheskaya politika. 2021. №5(159).

13. T.N. Gavrileva, A.V. Nogovitsyn, The impact of energy saving state programs on the dynamics of carbon emission in the Republic of Sakha (Yakutia). Arctic XXI century. 2016; (1-4).

14. R.W. Howarth. The greenhouse gas footprint of liquefied natural gas (LNG) exported from the United States. Energy Sci Eng. 2024; (1-17).

15. J. Sherwood, R. Bickhart Jr., E. Murawski, Z. Dhanani, B. Lytle, P. Carbajales-Dale, M. Carbajales-Dale, Rolling coal: The greenhouse gas emissions of coal rail transport for electricity generation. Journal of Cleaner Production. 2020; (259, 120770)

16. A.V. Soloviev, Environmental performance of inland navigation vessels. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova 2017; 9 (2).

17. N. Li, W. Chen, Modeling China's interprovincial coal transportation under low carbon transition. Applied Energy. 2018; (222, 267-27).

18. Zakharov V.E., Prokhorov D.V., Gavrilov V.L. Poteri ehnergeticheskoi tsennosti ryadovogo uglya pri dostavke do arkticheskikh potrebitelei Respubliki Sakha (Yakutiya) / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy ehnergetiki. 2013. №5-6. (in Russ)..

19. Zakharov V.E. Puti sovershenstvovaniya metodov ucheta ob"emov khranimogo uglya pri snabzhenii trudnodostupnykh potrebitelei. Sbornik trudov Evraziiskogo simpoziuma po problemam nadezhnosti materialov i mashin dlya regionov kholodnogo klimata: Tom 2. - Yakutsk: Tsumori Press, 2018. (in Russ)..

20. Zakharov V.E., Kozlov A.N, Donskoi I.G. «Modelirovanie izmeneniya teploty sgoraniya uglya pri transportirovke do raionov Krainego Severa, na primere Respubliki Sakha (Yakutiya)» / Izvestiya RAN. Ehnergetika - 2018 - №6. (in Russ). DOI: 10.31857/S000233100003526-2.

21. V. Zakharov, Features of the transport system of the Republic of Sakha (Yakutia) and the substantiation of the need for searching of ways to increase the reliability of coal supply. E3S Web of Conferences. 77 «Regional Energy Policy of Asian Russia 2018», 2019; (04001).

22. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated May 27, 2022 No. 371 «Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredeleniya ob"emov vybrosov parnikovykh gazov i pogloshchenii parnikovykh gazov». (in Russ).

23. Resolution of the Government of the Republic of Sakha (Yakutia) dated July 14, 2005 No. 433 Ob utverzhdenii norm raskhoda toplivno-ehnergeticheskikh resursov na vyrabotku teplovoi ehnergii otopitel'no-proizvodstvennymi kotel'nymi Respubliki Sakha (Yakutiya). (in Russ).

24. A.E. Ivanova, V.E. Zakharov, T.N. Petrova, The current state, problems and perspective of development on the North region's Housing and Utilities After the example of the Republic of Sakha (Yakutia) in Proceedings of the International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies "FarEastCon 2020", Vladivostok, Russia, October 6-9 (2020)

25. GOST 30735-2001 «Kotly otopitel'nye vodogreinye teploproduzhitel'nost'yu do 4,0 MVT». (in Russ).

©Захаров В.Е., Прохоров Д.В., Николаева Н.А., Павлов Н.В., Пинигин Д.Д., 2025