

УДК 620.95:662.638

**А. В. Ледницкий, П. А. Протас, Ю. И. Мисуно, Л. Ю. Пшебельская**  
Белорусский государственный технологический университет

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ  
В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ «ЗЕЛЕНОЙ» ЭКОНОМИКИ  
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Развитие «зеленой» экономики в Республике Беларусь, содействующей достижению экономического роста, предполагает внедрение принципов устойчивого развития, ресурсосбережения, экоэффективности и др. Реализация данных принципов лежит в плоскости эффективного использования новейших технологий в энергетическом секторе, в том числе в области внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

В материале приведены результаты исследований в области внедрения ВИЭ в Республике Беларусь и дана оценка их использования для достижения целей устойчивого развития. Также представлена модель взаимосвязи ВИЭ с принципами и тенденциями «зеленой» экономики. Выполненный сравнительный анализ различных видов топлива и источников энергии в Республике Беларусь позволил сделать вывод о целесообразности расширения использования древесного топлива в виде щепы и топливных гранул с учетом наличия сырья и эффективных производственно-логистических цепочек. Реализация предложенных рекомендаций и дальнейшее внедрение возобновляемых источников энергии будет способствовать обеспечению «зеленого» экономического роста, энергетической безопасности страны, достижению Целей устойчивого развития, а также повышению занятости за счет создания «зеленых» рабочих мест.

**Ключевые слова:** «зеленая» экономика, возобновляемые источники энергии, Цели устойчивого развития, древесное топливо, энергетика.

**Для цитирования:** Ледницкий А. В., Протас П. А., Мисуно Ю. И., Пшебельская Л. Ю. Использование возобновляемых источников энергии в контексте развития «зеленой» экономики в Республике Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. 2023. № 2 (274). С. 50–58. DOI: 10.52065/2520-6877-2023-274-2-7.

**A. V. Lednitskiy, P. A. Protas, Yu. I. Misuno, L. Yu. Pshebelskaya**  
Belarusian State Technological University

**USING RENEWABLE ENERGY SOURCES  
IN THE CONTEXT OF “GREEN” ECONOMY DEVELOPMENT  
IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

The development of a “green” economy in the Republic of Belarus, which contributes to the achievement of economic growth, involves the introduction of the principles of sustainable development, resource conservation, eco-efficiency, etc. The implementation of these principles lies in the area of effective use of the latest technologies in the energy sector, including in the field of implementation research on renewable energy sources (RES).

The material presents the results of research in the field of implementation of renewable energy sources in the Republic of Belarus and assesses their use to achieve sustainable development goals. A model of the relationship between renewable energy sources and the principles and trends of the “green” economy is also presented. A comparative analysis of various types of fuel and energy sources in the Republic of Belarus allowed us to conclude that it is advisable to expand the use of wood fuel in the form of wood chips and fuel pellets, taking into account the availability of raw materials and efficient production and logistics chains. The implementation of the proposed recommendations and the further introduction of renewable energy sources will contribute to ensuring “green” economic growth, the country’s energy security, achieving the Sustainable Development Goals, as well as increasing employment through the creation of “green” jobs.

**Keywords:** “green” economy, renewable energy sources, Sustainable Development Goals, wood fuel, energy.

**For citation:** Lednitskiy A. V., Protas P. A., Misuno Yu. I., Pshebelskaya L. Yu. Using renewable energy sources in the context of “green” economy development in the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 5, Economics and Management*, 2023, no. 2 (274), pp. 50–58. DOI: 10.52065/2520-6877-2023-274-2-7 (In Russian).

**Введение.** Ввиду глобальных изменений климата наблюдается тренд к переходу на альтернативные ископаемому топливу источники энергии по причине возрастающих объемов выбросов парниковых газов от сжигания углеводородных видов топлива [1–5]. При этом существенное внимание обращается на использование в энергетических целях возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [6–8]. Для Республики Беларусь развитие и внедрение ВИЭ актуально для таких направлений, как ветро- и гидроэнергетика, солнечная энергетика, биоэнергетика. Каждое из этих направлений имеет различную степень эффективности, которая зависит от ряда факторов: климатических условий, наличия ресурсов и инфраструктуры, экологических факторов, влияния на другие отрасли и экономику страны и др. [9–11].

Повышение потенциала использования ВИЭ и развитие низкоуглеродной энергетики является одним из приоритетных направлений «зеленой» экономики Республики Беларусь. С этой целью в стране разработаны и реализуются ряд законов, указов Президента, постановлений Совета Министров, государственных программ и иных документов, направленных на стимулирование развития использования ВИЭ и повышение потенциала «зеленой» энергетики.

Однако реализация поставленных целей в действующих программах и постановлениях требует всестороннего исследования используемых источников энергии с учетом их сравнительной эффективности.

**Основная часть.** В Республике Беларусь валовое потребление топливно-энергетических

ресурсов в 2020 г. составило 37 млн т угольного эквивалента (26 млн т нефтяного эквивалента, или 1086 ГДж) и только на 17,1% обеспечивается собственными ресурсами (табл. 1) [12]. Энергетическая зависимость страны составляет 83% (отношение чистого импорта топливно-энергетических ресурсов к их валовому потреблению).

В структуре валового потребления топливно-энергетических ресурсов наибольшую долю занимает природный газ – 59% (рис. 1) [13]. В этой связи для обеспечения энергетической безопасности страны весьма актуальной становится задача диверсификации потребляемых энергоресурсов и их поставщиков.

Ежегодно на территории республики добывается, заготавливается и производится около 5,9 млн т условного топлива различных топливно-энергетических ресурсов (табл. 2) [12].

Как видно из табл. 2, среди добываемых, заготавливаемых и производимых топливно-энергетических ресурсов на территории Республики Беларусь преобладают нефть (39%), древесное топливо (27%) и торф (8%). Доля попутного газа составляет всего 6%. Совсем незначительной в 2020 г. была доля ветро-, гидро-, солнечной и геотермальной энергии – 1,5%, однако этот показатель выше по сравнению с 2015 г., когда процент использования данного вида энергии составлял всего 0,4%. Темп роста заготавливаемых на территории республики топливно-энергетических ресурсов в 2020 г. к 2015 г. составил 123%. Основной прирост был обеспечен увеличением заготовки древесного топлива, торфа и началом использования атомной энергии.

Таблица 1

Сводный энергетический баланс Республики Беларусь, тыс. т у. т.  
(в угольном эквиваленте)

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Производство (добыча)	5143	5270	5665	5964	6261	6341
из него из ВИЭ	2028	2023	2271	2394	2689	2881
Импорт	57 345	51 036	51 750	52 909	52 679	46 496
Экспорт	26 713	21 396	20 456	19 765	20 445	15 439
Изменение запасов	+495	+895	-108	-702	-485	-339
Валовое потребление топливно-энергетических ресурсов	36 270	35 805	36 851	38 406	38 010	37 059

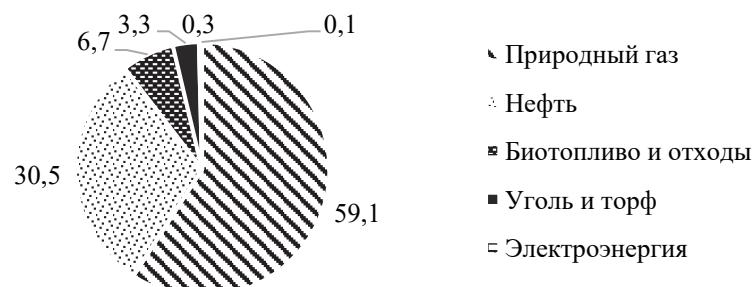


Рис. 1. Структура валового потребления топливно-энергетических ресурсов в 2020 г., %

Таблица 2

## Производство (добыча) топливно-энергетических ресурсов, тыс. т у. т.

Вид ТЭР	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Нефть	2352	2352	2360	2388	2417	2445
Газ природный попутный	371	355	338	348	360	361
Торф топливный	340	495	654	789	767	529
Дрова	1357	1457	1532	1721	1781	1719
Биогаз	14	13	16	17	16	74
Прочая биомасса	637	523	650	589	805	993
Ветро-, гидро-, солнечная и геотермальная энергия	20	30	73	67	87	95
Атомная энергия	—	—	—	—	—	112
Невозобновляемые отходы	52	45	42	45	28	13
<b>Всего</b>	<b>5143</b>	<b>5270</b>	<b>5665</b>	<b>5964</b>	<b>6261</b>	<b>6341</b>

В целях диверсификации поставщиков энергоресурсов, повышения энергетической безопасности и выполнения принятых страной экологических обязательств в Беларусь ежегодно реализуется комплекс мер, направленных на увеличение использования местных и возобновляемых источников энергии.

По данным департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь по состоянию на 01.04.2022 в Республике Беларусь действовали установки по использованию ВИЭ с суммарной установленной электрической мощностью 627,8 МВт (в том числе солнечная энергия – 43,4%, ветер – 19,1%, ГЭС – 15,3%, биомасса – 16%, биогаз – 6,1%):

– 83 фотоэлектрические станции (ФЭС) мощностью 272,5 МВт. Крупнейшие – Чериковская ФЭС ООО «Солар Лэнд» – 109 МВт, Речицкая ФЭС ПО «Белоруснефть» – 56 МВт;

– 54 гидроэлектростанции (ГЭС) мощностью 96,1 МВт. Крупнейшие – Полоцкая (21,6 МВт) и Витебская (40 МВт) ГЭС – введены в эксплуатацию в 2017 г.;

– 106 ветроэнергетических установок (ВЭУ) мощностью 120 МВт. Крупнейшие ветропарки: РУП «Гродненерго» – 9 МВт (6 ВЭУ в Новогрудском районе); ООО «Газосиликат-люкс» – 9 МВт (9 ВЭУ, д. Пудовня, Могилевская область);

– 30 биогазовых комплексов мощностью 38,75 МВт. Крупнейший в СПК «Рассвет им. К. П. Орловского» – 4,8 МВт;

– 11 мини-ТЭЦ на древесном топливе электрической мощностью порядка 100,5 МВт.

Установленная мощность ВИЭ в 2022 г. в четырнадцать раз превысила этот же показатель 2009 г. (рис. 2). Планируется, что к 2025 г. в результате строительства установок по использованию ВИЭ их установленная электрическая мощность возрастет до 700 МВт.

Технический потенциал белорусских рек оценивается в 200 МВт, и в настоящее время практически половина его уже используется, а полное применение речного потенциала позволит увеличить мощность ГЭС не более чем на 100 МВт, что не даст возможности ГЭС играть значительную роль в общем балансе энергосистемы [14]. При этом потенциал энергии ветра и солнца может быть развит в Беларусь значительно больше. Технический и технологический прогресс сократил капитальные затраты на строительство энергетических установок такого типа.

На начало 2023 г. в Беларусь работало 11 мини-ТЭЦ и более 5000 котельных, использующих в качестве топлива дрова и топливную щепу (рис. 3).

В некоторых случаях на мини-ТЭЦ, например Осиповичской мини-ТЭЦ и Белорусской ГРЭС, в качестве топлива используют смесь из древесной топливной щепы и торфа. В стране насчитывается более 10 000 котлов, работающих на древесной биомассе, при этом их тепловая мощность варьируется от 12 кВт до 20 МВт. Мощность турбин на мини-ТЭЦ составляет от 1,3 до 4,3 МВт.

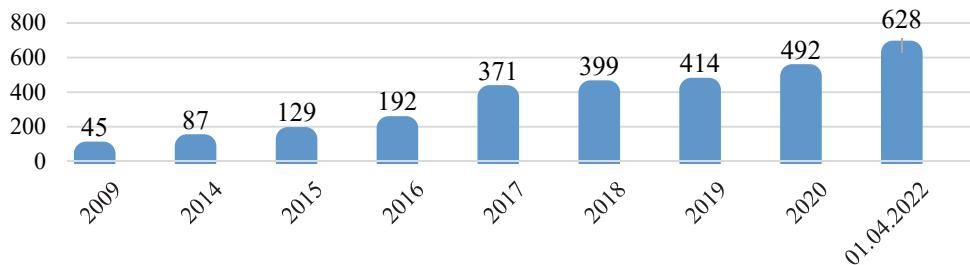


Рис. 2. Динамика изменения установленной электрической мощности энергооборудования по использованию ВИЭ в 2009–2022 гг., МВт

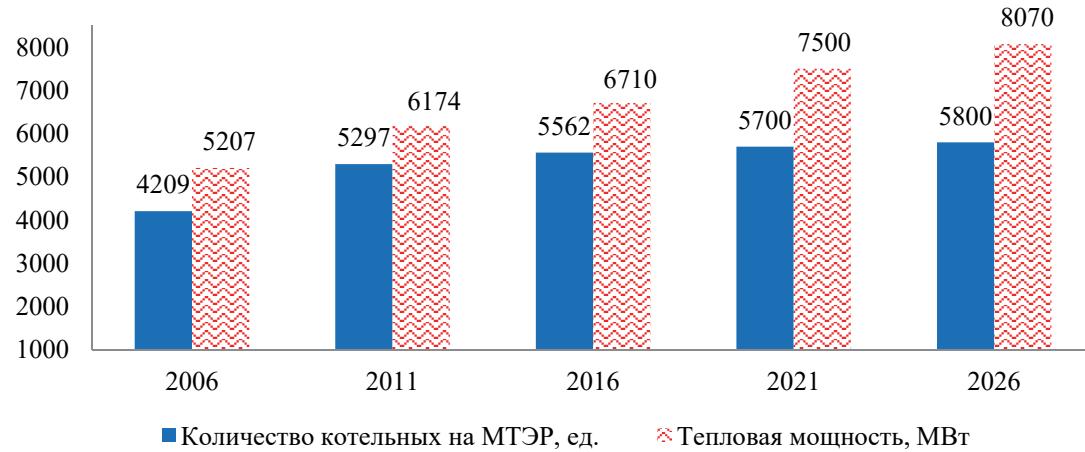


Рис. 3. Динамика строительства энергоисточников на местных ТЭР в 2006–2026 гг.

В настоящее время в Беларуси имеются мощности по заготовке более 10 млн м<sup>3</sup> дровяной древесины и производству более 3 млн м<sup>3</sup> в год древесной топливной щепы [15].

При этом только в лесхозах Министерства лесного хозяйства действует 61 производство по изготовлению древесной топливной щепы суммарной мощностью 1,76 млн м<sup>3</sup> в год и 22 производства топливных гранул.

Таким образом, в настоящее время в структуре использования возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь доминирует древесное топливо (рис. 4).

При этом доля возобновляемых источников энергии в валовом потреблении ТЭР выросла начиная с 2005 г. с 4,2 до 7,8% в 2020 г. и должна составить 9% к 2035 г. (рис. 5). Данные тенденции по использованию ВИЭ в Республике Беларусь, а также динамика выбросов парниковых газов позволяют сделать вывод о том, что установившаяся

практика и реализация государственных программ позволят продолжить дальнейшее сокращение выбросов парниковых газов и выполнить Республике Беларусь взятые на себя обязательства.

Повышение потенциала использования ВИЭ является одним из приоритетов развития «зеленой» экономики Республики Беларусь (рис. 6). Согласно разработанной концепции Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2035 г. приоритетным направлением является развитие использования потенциала возобновляемых источников энергии. Данная концепция согласуется с Целями устойчивого развития (ЦУР), принятymi Республикой Беларусь [16, 17], что еще раз подчеркивает важность внедрения ВИЭ не только в рамках страны, но и на международном уровне. Рассматривая ЦУР в области использования ВИЭ и борьбы с изменением климата, необходимо отметить ЦУР 13 и 7.

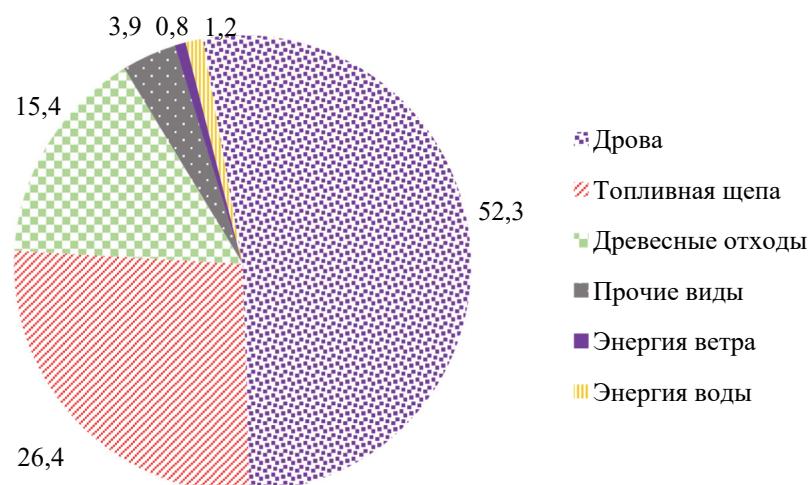


Рис. 4. Структура использования возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь, %

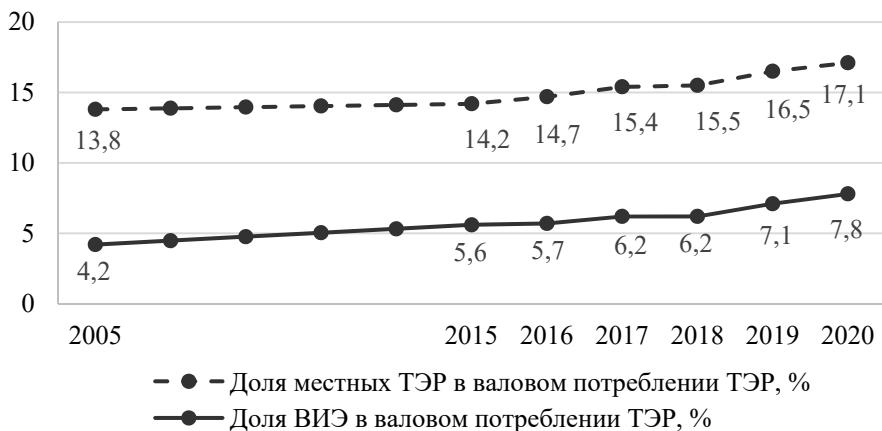


Рис. 5. Динамика изменения доли местных ТЭР, в том числе ВИЭ, в валовом потреблении ТЭР Республики Беларусь

После ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС в 2021–2025 г. возобновляемая энергетика будет развиваться совместно с повышением энергоэффективности с акцентом на распространении технологий использования возобновляемых источников энергии для собственных нужд в секторах «здания» и «промышленность», на транспорте и в сельском хозяйстве, интеграции ВИЭ в энергосистему за счет развития «умных» сетей, применения технологий аккумулирования электрической и тепловой энергии, что позволит достигнуть Цели 7 устойчивого развития «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех» Повестки-2030.

Достижение Цели 13 «Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями» может произойти за счет стабилизации уровня выбросов парниковых газов благодаря замене высокоуглеродных видов топлива возобновляемыми источниками энергии [18, 19].

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 03.11.2021 № 626 приостановлена выдача квот на строительство установок ВИЭ до 1 января 2024 г. До 1 января 2024 г. должно быть разработано законодательство по введению системы аукционов строительства установок ВИЭ.

Предполагается, что при переходе на проведение аукционов по строительству установок ВИЭ в Республике Беларусь государство (облисполкомы) будет определять непосредственные площадки для строительства установок ВИЭ, в том числе на пострадавших от Чернобыльской АЭС территориях, с учетом создания новых рабочих мест и развития указанных регионов.

Планируется, что государство будет определять тип и мощность установок с учетом наличия сетевой инфраструктуры, а также графики выдачи мощности электроэнергии исходя из ввода в эксплуатацию АЭС, в том числе требования по внедрению накопителей электроэнергии.



Рис. 6. Направления развития «зеленой» экономики в Республике Беларусь

Инвестор, предложивший наименьший тариф на продажу электроэнергии энергоснабжающей организации, будет определяться в режиме on-line по результатам проведения торгов на товарно-сырьевой бирже. Оплату услуг товарно-сырьевой биржи планируется осуществить за счет средств участников аукционов (инвесторов), подавших заявки на участие в конкурсе строительства установок ВИЭ.

Такая система обеспечит всем претендентам равные условия и будет способствовать привлечению крупных мировых инвесторов, в том числе производителей оборудования установок ВИЭ, обеспечит приобретение энергоснабжающими организациями электроэнергии по наименьшей цене.

**Заключение.** Результаты анализа использования ВИЭ в Республике Беларусь позволили сделать обобщенные выводы и дать ряд рекомендаций.

1. В программах по снабжению местными видами топлива следует дать четкое разграничение между возобновляемыми и ископаемыми видами топлива, а также существует необходимость в установлении отдельных показателей по возобновляемым источникам энергии на основе использования устойчивых ресурсов древесного топлива.

2. Особый акцент делается на обеспечении энергетической безопасности страны и повышении использования местных видов топлива, при этом меньшее внимание уделяется сокращению выбросов углекислого газа в атмосферу. Проведение систематической количественной оценки сокращения выбросов углерода и иных экологических последствий энергетических программ позволяет создать возможности для финансирования компонентов программ по использованию

местных энергетических ресурсов на основе механизмов изменения климата.

3. Потенциально существует возможность строительства ТЭЦ на основе предусмотренных законом специальных закупочных тарифов на поставку электроэнергии в сеть для ТЭЦ, работающих на биомассе. Реформирование системы ценообразования для энергообъектов, работающих на биомассе, позволило бы стимулировать более эффективную заготовку и использование биомассы в стране.

4. Общепризнанной является необходимость полного возмещения издержек в области системы централизованного теплоснабжения, что позволило бы инвестировать средства в новую энергетическую инфраструктуру, а также в перспективе привлечь частные компании в указанную отрасль с учетом расширения использования ВИЭ.

5. В целях снижения финансовой нагрузки на государство необходимо шире привлекать частные компании в энергетический сектор страны, особенно при реализации проектов в области использования древесного топлива, биогазовых установок, тепловых насосов, энергии ветра, солнца и т. д. При этом представляется целесообразным развитие и создание производств по изготовлению биогазовых установок, ветроэнергетических установок, тепловых насосов и гелиоводонагревателей в Беларуси.

6. Ввиду внедрения ВИЭ целесообразно рассматривать возможность поставок «зеленой» электроэнергии на экспорт. Однако с этой целью в республике должен функционировать институт «зеленых» сертификатов с выдачей сертификата европейского образца. Электроэнергия от установок ВИЭ четко фиксируется приборным учетом, и при наличии этого института сертификатов ею можно торговать.

### Список литературы

1. Forster P. M. Indicators of Global Climate Change 2022: annual update of large-scale indicators of the state of the climate system and human influence // Earth Syst. Sci. Data. 2023. Vol. 15. P. 2295–2327. URL: <https://doi.org/10.5194/essd-15-2295-2023> (date of access: 20.08.2023).
2. The analysis of the innovative potential of the energy sector and low-carbon development: A case study for Poland / M. Dzikuć [et al.] // Energy Strategy Reviews. 2021. Vol. 38. DOI: 10.1016/j.esr.2021.100769. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X2100153X> (date of access: 28.08.2023).
3. Malik A., Lan J., Lenzen M. Trends in Global Greenhouse Gas Emissions from 1990 to 2010 // Environ. Sci. Technol. 2016. May 3. DOI: 10.1021/acs.est.5b06162. Epub 2016 Apr 22. PMID: 27063930. URL: [https://www.researchgate.net/publication/301217795\\_Trends\\_in\\_Global\\_Greenhouse\\_Gas\\_Emissions\\_from\\_1990-2010](https://www.researchgate.net/publication/301217795_Trends_in_Global_Greenhouse_Gas_Emissions_from_1990-2010) (date of access: 01.09.2023).
4. Determination of Features of Formation of Energy Supply Systems With the Use of Renewable Energy Sources in the Transition Period (October 31, 2021) / L. Nakashydze [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. No. 5 (113). P. 23–29. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243112. URL: <https://ssrn.com/abstract=3956757> (date of access: 02.09.2023).
5. Ivanova N., Datta P. The environmental impact of renewable energy // IJBED. 2023. Vol. 11, issue 01. URL: <https://doi.org/10.24052/IJBED/V011N01/ART-06> (date of access: 02.09.2023).

6. Udalov I. The Transition to Renewable Energy Sources as a Threat to Resource Economies // International Journal of Energy Economics and Policy. 2021. No. 11 (3). P. 460–467. URL: <https://www.eco-njournals.com/index.php/ijEEP/article/view/10902> (date of access: 03.09.2023).
7. Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture / Ya. Majeed [et al.] // Energy Reports. 2023. Vol. 10. P. 344–359. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.06.032> (date of access: 04.09.2023).
8. The regional energy transformation in the context of renewable energy sources potential / B. Igliński [et al.] // Renewable Energy. December 2023. Vol. 218. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119246> (date of access: 04.09.2023).
9. Marchenko O., Solomin S. Efficiency Assessment of Renewable Energy Sources // E3S Web Conf. 2019. Vol. 114. DOI: 10.1051/e3sconf/201911405001. URL: [https://www.researchgate.net/publication/335605203\\_Efficiency\\_Assessment\\_of\\_Renewable\\_Energy\\_Sources](https://www.researchgate.net/publication/335605203_Efficiency_Assessment_of_Renewable_Energy_Sources) (date of access: 04.09.2023).
10. Rodríguez-Lozano G., Cifuentes-Yate M. Efficiency assessment of electricity generation from renewable and non-renewable energy sources using Data Envelopment Analysis // Int. J. Energy Res. 2021. No. 45 (13). P. 19597–19610. URL: <https://doi.org/10.1002/er.6959> (date of access: 05.09.2023).
11. Innovation and investment aspect energy transition to renewable energy sources / L. M. Gaisina [et al.] // SOCAR Proceedings. 2022. No. 4. P. 134–141.
12. Энергетический баланс Республики Беларусь: стат. сб. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2021. 220 с.
13. Валовое потребление топливно-энергетических ресурсов в 2020 году // Сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь. URL: [https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial\\_statistika/2020/TEB\\_2020.pdf](https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/2020/TEB_2020.pdf) (дата обращения: 06.07.2023).
14. Республика Беларусь. Климат: факторы и политика // Сайт ООО «Эконпартнерство». URL: <http://climate.ecopartnerstvo.by/sites/default/files/2017-09/CC-Belarus-RU.pdf> (дата обращения: 06.07.2023).
15. Ледницкий А. В., Протас П. А. Анализ и перспективы торговли древесным топливом на основании его влажности и теплотворной способности // Энергоэффективность. 2017. № 1. С. 7–11.
16. Цели в области устойчивого развития // Веб-сайт ООН. URL: <https://www.un.org/sustainable-development/ru/energy/> (дата обращения: 12.06.2023).
17. Показатели достижения Целей устойчивого развития // Сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь. URL: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/SDG/ Nazperekhnen\\_pokas\\_SDG/tsel-7/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/SDG/ Nazperekhnen_pokas_SDG/tsel-7/) (дата обращения: 12.06.2023).
18. Mujeeb S., Javaid N. Deep learning based carbon emissions forecasting and renewable energy's impact quantification // IET Renew. Power Gener. 2023. No. 17. P. 873–884. URL: <https://doi.org/10.1049/rpg2.12641> (date of access: 09.09.2023).
19. The Impact of Renewable Energy Sources on the Sustainable Development of the Economy and Greenhouse Gas Emissions / O. Candra [et al.] // Sustainability 15. 2023. No. 3. P. 2104. URL: <https://doi.org/10.3390/su15032104> (date of access: 10.09.2023).

## References

1. Forster P. M. Indicators of Global Climate Change 2022: annual update of large-scale indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth Syst. Sci. Data*, 2023, vol. 15, pp. 2295–2327. Available at: <https://doi.org/10.5194/essd-15-2295-2023> (accessed 20.08.2023).
2. Dzikuc M., Gorączkowska J., Piwowar A., Smoleński R., Kułyk P. The analysis of the innovative potential of the energy sector and low-carbon development: A case study for Poland. *Energy Strategy Reviews*, 2021, vol. 38. DOI: 10.1016/j.esr.2021.100769. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X2100153X> (accessed 28.08.2023).
3. Malik A., Lan J., Lenzen M. Trends in Global Greenhouse Gas Emissions from 1990 to 2010. *Environ. Sci. Technol.* 2016, May 3. DOI: 10.1021/acs.est.5b06162. Epub 2016 Apr 22. PMID: 27063930. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/301217795\\_Trends\\_in\\_Global\\_Greenhouse\\_Gas\\_Emissions\\_from\\_1990-2010](https://www.researchgate.net/publication/301217795_Trends_in_Global_Greenhouse_Gas_Emissions_from_1990-2010) (accessed 01.09.2023).
4. Nakashydze L., Gabrinets V., Mitikov Y., Alekseyenko S., Liashenko I. Determination of Features of Formation of Energy Supply Systems With the Use of Renewable Energy Sources in the Transition Period (October 31, 2021). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 5 (113),

pp. 23–29. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243112. Available at: <https://ssrn.com/abstract=3956757> (accessed 02.09.2023).

5. Ivanova N., Datta P. The environmental impact of renewable energy. *IJBED*, 2023, vol. 11, issue 01. Available at: <https://doi.org/10.24052/IJBED/V011N01/ART-06> (accessed 02.09.2023).

6. Udalov I. The Transition to Renewable Energy Sources as a Threat to Resource Economies. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2021, no. 11 (3), pp. 460–467. Available at: <https://www.econ-journals.com/index.php/ijEEP/article/view/10902> (accessed 03.09.2023).

7. Majeed Ya., Usman Khan M., Waseem M., Raza A. Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Reports*, 2023, vol. 10, pp. 344–359. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.06.032> (accessed 04.09.2023).

8. Igiński B., Kiełkowska U., Pietrzak M., Skrzatek M. The regional energy transformation in the context of renewable energy sources potential. *Renewable Energy*, December 2023, vol. 218. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119246> (accessed 04.09.2023).

9. Marchenko O., Solomin S. Efficiency Assessment of Renewable Energy Sources. *E3S Web Conf.*, 2019, vol. 114. DOI: 10.1051/e3sconf/201911405001. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/335605203\\_Efficiency\\_Assessment\\_of\\_Renewable\\_Energy\\_Sources](https://www.researchgate.net/publication/335605203_Efficiency_Assessment_of_Renewable_Energy_Sources) (accessed 04.09.2023).

10. Rodríguez-Lozano G., Cifuentes-Yate M. Efficiency assessment of electricity generation from renewable and non-renewable energy sources using Data Envelopment Analysis. *Int. J. Energy Res.*, 2021, vol. 45 (13), pp. 19597–19610. Available at: <https://doi.org/10.1002/er.6959> (accessed 04.09.2023).

11. Gaisina L. M., Litvinenko I. L., Magomaeva L. R., Muradov M. M. Innovation and investment aspect energy transition to renewable energy sources. *SOCAR Proceedings*, 2022, no. 4, pp. 134–141.

12. *Energeticheskiy balans Respubliki Belarus'*: statisticheskiy sbornik [National accounts of the Republic of Belarus: statistical compilation]. Minsk, Natsional'nyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus Publ., 2021. 220 p. (In Russian).

13. Gross consumption of fuel and energy resources in 2020. Available at: [https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial\\_statistika/2020/TEB\\_2020.pdf](https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/2020/TEB_2020.pdf) (accessed 06.07.2023) (In Russian).

14. Republic of Belarus. Climate: factors and policies. Available at: <http://climate.ecopartnerstvo.by/sites/default/files/2017-09/CC-Belarus-RU.pdf> (accessed 06.07.2023) (In Russian).

15. Lednitsky A. V., Protas P. A. Analysis and prospects for woodfuel trade based on its moisture content and calorific value. *Energoeffektivnost'* [Energy efficiency], 2017, no. 1, pp. 7–11 (In Russian).

16. Sustainable Development Goals. Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/energy/> (accessed 12.06.2023) (In Russian).

17. Sustainable Development Goal Indicators. Available at: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/SDG/Naz\\_perechen\\_pokas\\_SDG/tsel-7/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/SDG/Naz_perechen_pokas_SDG/tsel-7/) (accessed 12.06.2023) (In Russian).

18. Mujeeb S., Javaid N. Deep learning based carbon emissions forecasting and renewable energy's impact quantification. *IET Renew. Power Gener.*, 2023, no. 17, pp. 873–884. Available at: <https://doi.org/10.1049/rpg2.12641> (accessed 09.09.2023).

19. Candra O., Abdeljelil Ch., José R., Iskandar M., Hikmet Ş. The Impact of Renewable Energy Sources on the Sustainable Development of the Economy and Greenhouse Gas Emissions. *Sustainability* 15, 2023, no. 3, p. 2104. Available at: <https://doi.org/10.3390/su15032104> (accessed 10.09.2023).

## Информация об авторах

**Ледницкий Андрей Викентьевич** – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики и управления на предприятиях. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ledniz@inbox.ru

**Протас Павел Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: protas@belstu.by

**Мисуно Юлия Игоревна** – ассистент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: julia.misuno@belstu.by

**Пшебельская Людмила Юрьевна** – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры организации производства и экономики недвижимости. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: psh-ly@inbox.ru

### Information about the authors

**Lednitskiy Andrey Vikentyevich** – PhD (Economics), Associate Professor, Head of the Department of Enterprise Economy and Management, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ledniz@inbox.ru

**Protas Pavel Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: protas@belstu.by

**Misuno Yuliya Igorevna** – assistant, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: julia.misuno@belstu.by

**Pshebel'skaya Lyudmila Yur'yevna** – PhD (Economics), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Production Organization and Real Estate Economics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: psh-ly@inbox.ru

*Поступила 15.09.2023*