620.9(502.1)

DOI: 10.18384/2712-7621-2020-3-98-111

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ БЕЛАРУСИ В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ЕЁ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Курочкина А. И.

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация*

Аннотация.

Цель. На основе анализа топливно-энергетического комплекса и его роли в загрязнении атмосферы Беларуси показать перспективность развития ветроэнергетики в стране.

Процедура и методы. Ведущим методом исследования явился аналитико-статистический. Основными источниками для проведения исследования явились материалы отраслевых и тематических международных и национальных статистических баз данных, а также тематические публикации последних лет. Проанализирована динамика выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов на территории Беларуси в энергетике с 2012 по 2018 гг.

Результаты. По итогам исследования выявлено влияние топливно-энергетического комплекса на загрязнение воздушной среды, в первую очередь в Минской и Витебской областях, где расположены крупные ТЭС. Проанализированы возможности и препятствия для развития ветроэнергетики, которая позволит решить часть проблем загрязнения атмосферы диоксидом серы, оксидами азота и другими веществами и эмиссии парниковых газов в ТЭК. Первостепенной задачей является детальное изучение пространственного потенциала развития ветроэнергетики на основе учёта экологических, экономических и природных факторов в стране. Обозначены препятствия для развития ветроэнергетики в Беларуси (правовые, экономические и природные). Для развития ветроэнергетики в Беларуси необходимо внести изменения в тарифную политику и законодательные акты, направленные на поощрение инвестиций и создания новых ветропарков. Кроме того, необходимо привлекать инвестиции в эту отрасль.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты исследования позволяют оценить перспективы и преимущества развития альтернативной энергетики в Беларуси.

Ключевые слова: ветроэнергетика, возобновляемые источники энергии, топливно-энергетический комплекс, парниковые газы, загрязняющие вещества

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF WIND POWER IN BELARUS IN THE CONTEXT OF ECOLOGIZATION OF ITS FUEL AND ENERGY COMPLEX

A. Kurochkina

*Lomonosov Moscow State University
Leninskie Gory 1, 119991 Moscow, Russian Federation*

Abstract.

Aim. Based on the analysis of the fuel and energy complex and its role in the pollution of the atmosphere of Belarus, we show the prospects for the development of wind power in the country.

Methodology. The research makes use of analytical and statistical techniques. The main sources for the study are data from industry and thematic international and national statistical databases, as well as recent thematic publications. The dynamics of emissions of pollutants and greenhouse gases on the territory of Belarus in the energy sector from 2012 to 2018 is analyzed.

Results. The influence of the fuel and energy complex on air pollution is revealed, primarily in Minsk and Vitebsk regions, where large thermal power plants are located. Opportunities and obstacles for the development of wind power, which will solve some of the problems of atmospheric pollution with sulfur dioxide, nitrogen oxides and other substances and greenhouse gas emissions in the fuel and energy sector, are analyzed. The primary task is to study in detail the spatial potential of the wind energy development based on the consideration of environmental, economic and natural factors in the country. Obstacles to the development of wind power in Belarus (legal, economic and natural) are identified. To develop wind power in Belarus, it is necessary to introduce changes to the tariff policy and legislation aimed at encouraging investment and creating new wind farms. In addition, it is necessary to attract investment in this branch of wind energy.

Research implications. The results of the study allow us to assess advantages and prospects for the development of alternative energy in Belarus.

Keywords: wind energy, renewable energy sources, fuel and energy complex, greenhouse gases, pollutants

Введение

Согласно обязательствам по Парижскому соглашению Беларусь должна сократить объём выбросов парниковых газов на 28% к 2030 г. по сравнению с 1990 г. (то есть требуется не превысить уровень 96,1 млн. т CO₂ экв).

На энергетический сектор Беларуси приходится наибольшее количество выбросов парниковых газов – 61,4% (2017 г.). При сгорании топлива на теплоэлектростанциях образуется углекислый газ, оксиды азота, водяной пар и другие вещества, вызывающие парниковый эффект. Характерными загрязнителями являются: серный и сернистый ангидрид, оксид азота, твёрдые частицы. В Беларуси для производства электроэнергии в основном используется природный газ и мазут, однако на мелких котельных сжигаются так-

же торф и дрова. С 2017 г. происходит уменьшение доли использования природного газа в котельно-печном топливе, рост использования мазута, торфа и древесины, что влечёт за собой усиление загрязнения атмосферы в особенности твёрдыми частицами. Проблема сокращения эмиссии загрязнителей и парниковых газов имеет большое значение для Беларуси. В основе решения этой проблемы диверсификация предприятий ТЭК, в рамках которой большие преимущества для решения обозначенных проблем имеет переход на использование возобновляемых источников энергии. Пространственный анализ экологических проблем ТЭК Беларуси в контексте выявления перспектив развития ветроэнергетики стал целью данного исследования.

Материалы и методы

Основными источниками для проведения исследования явились материалы отраслевых и тематических международных и национальных статистических баз данных¹², а также тематические публикации последних лет [11; 7; 8; 1 и др.]. Ведущим методом исследования явился аналитический. В статье анализируется проблема загрязнения окружающей среды выбросами теплоэлектростанций и пути решения этой проблемы с помощью ветроэнергетики.

Результаты и обсуждение

Выбросы аэротехногенных поллютантов и парниковых газов и предприятий ТЭК.

Электрическая энергия в Беларуси производится в основном на теплоэлектростанциях, на их долю приходится 98,6% производимой электроэнергии, 99% ТЭЦ перерабатывают газ. Несмотря на некоторое снижение производства электроэнергии на ГЭС в 2018 г., объём энергии, производимой на солнечных и ветровых электростанциях, в последние годы растёт (табл. 1)³.

На снабжение электроэнергией, газом и горячей водой приходится 13,7% всех выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников (твёрдые частицы, оксиды азота, диоксид серы, углеводороды, неметановые летучие органические соединения) по сравнению с другими видами экономической дея-

тельности, 18,5% выбросов приходится на предприятия нефтеперерабатывающей промышленности⁴. Объём выбросов загрязняющих веществ в районах расположения крупнейших ТЭС и нефтеперерабатывающих заводов выше, чем в других районах Беларуси (рис. 1).

Твёрдые частицы (PM), образующиеся при сжигании мазута, оказывают негативное воздействие на здоровье большого числа людей. Основными их компонентами являются сульфаты, нитраты, сажа, минеральная пыль. Частицы диаметром менее 10 микрон ($\leq PM_{10}$) способны проникать глубоко в лёгкие, однако более негативное воздействие на организм человека оказывают частицы диаметром менее 2,5 микрон ($\leq PM_{2,5}$), они могут попадать в кровеносную систему. Хроническое воздействие твёрдых частиц повышает риск развития сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний⁵.

Кроме того, негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду оказывают сернистые соединения, выбрасываемые в атмосферу при сжигании топлива на теплоэлектростанциях. Они отрицательно влияют и на растительный мир. Также они вызывают коррозию оборудования электростанций [10].

Основным парниковым газом, связанным с работой энергетики в Республике Беларусь, является диоксид углерода (CO_2), доля которого в выбросах парниковых газов составила в 2017 г. 97,7%, далее идёт метан

¹ См.: периодическое издание Global wind report, 2018 (URL: <https://gwec.net/global-wind-report-2018>).

² См.: периодическое издание Keyworld energy statistics, 2019 (URL: <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2019>).

³ См.: периодическое издание «Энергетический баланс Республики Беларусь, 2019».

⁴ См.: периодическое издание «Энергетический баланс Республики Беларусь, 2019».

⁵ См.: сайт Всемирной организации здравоохранения (URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)).

Таблица 1 / Table 1

Баланс электрической энергии (миллионов киловатт-часов) / Balance of electric energy (million kilowatt-hours)

	2010	2014	2015	2016	2017	2018
Потребление	37590	38055	36854	36593	37107	37937
Производство	34890	34737	34232	33572	34522	38927
на тепловых электростанциях	34844	34605	34073	33331	33930	38386
на гидроэлектростанциях	45	121	111	142	406	324
ветроустановками	1	9	39	73	97	99
солнечными установками		2	9	26	89	118

Источник: данные авторов / Source: authors' data.

Рис. 1. / Fig 1. Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников (в тоннах, 2017 г.) /Emissions of pollutants from stationary sources (in tons, 2017)

Источник: https://naturegomel.by/sites/default/files/inline/files/kadastr_atmosfernogo_vozduha.pdf (дата обращения 05.05.2020 г.)

(CH₄) – 1,9% и закись азота (N₂O) – 0,4%. Кроме того, поставщиками парниковых газов являются предприятия нефтеперерабатывающей и химической промышленности, а также сель-

ское хозяйство. Общие выбросы парниковых газов составляют 94 млн т CO₂-эквивалента в год и уменьшились в 2017 г. на 33,2% по сравнению с 1990 г., когда они составляли 140,7

Рис. 2. / Fig. 2. Выбросы парниковых газов в энергетике Беларуси / Greenhouse gas emissions in the energy sector of Belarus

Источник: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/5d4/5d43b8258dd43b307ff59ad3ec654f25.pdf> (дата обращения 10.06.2020 г.)

Рис. 3. / Fig. 3. Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в Беларуси (тыс. т) / Emissions of pollutants from stationary sources in Belarus (thousand tons)

Источник: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/5d4/5d43b8258dd43b307ff59ad3ec654f25.pdf>

млн т CO₂-эквивалента в год. Однако следует отметить, что объём выбросов парниковых газов, образуемых в энергетике, растёт с 2015 г. (рис. 2)¹.

Снижение объёмов выбросов в 2015 г. связано со снижением потребления электроэнергии, этот показатель составил 36854 млн. кВт/ч (в 2014 г. – 38055 млн. кВт/ч). Однако уже в 2017 г. потребление электроэнергии вновь выросло до 37107 млн кВт/ч, что

¹ См.: периодическое издание «Охрана окружающей среды Республики Беларусь, 2019».

Рис. 4. / Fig. 4. Выбросы основных загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в 2017 г. /Emissions of major pollutants into the air from nonstationary sources in 2017

Источник: https://naturegomel.by/sites/default/files/inline/files/kadastr_atmosfernogo_vozduha.pdf (дата обращения 24.06.2020)

привело к росту объёма выбросов парниковых газов в энергетике.

Суммарные выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников по сравнению с 2012 г. увеличились, максимум выбросов пришёлся на 2014–2015 г. (рис. 3).

Увеличение общего расхода топлива и расхода мазута на энергообъектах привело к росту суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в 2018 г. по сравнению с 2017 г. Так, в энергетике выбросы выросли в 2018 г. на 2,8 тыс. т, по сравнению с предыдущим годом. Увеличение объёма выбросов наблюдается по

всем основным загрязняющим веществам¹.

Государственный кадастр атмосферного воздуха даёт общую картину выбросов, при этом наиболее распространёнными поллютантами от стационарных источников являются оксид углерода и диоксид серы (рис. 4)².

С целью снижения объёма выбросов загрязняющих веществ введены в эксплуатацию автоматизированные си-

¹ См.: сайт Белэнерго, раздел Экология (URL: <http://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/ekologiya/>).

² См.: информационный бюллетень «Государственный кадастр атмосферного воздуха».

стемы непрерывного контроля выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферный воздух (АСК) на:

- Пинской ТЭЦ филиала «Пинские тепловые сети» РУП «Брестэнерго»;
- Гомельской ТЭЦ-1 филиала «Гомельские тепловые сети» РУП «Гомельэнерго»;
- Лидской ТЭЦ филиала «Лидские тепловые сети» РУП «Гродноэнерго»;
- Борисовской ТЭЦ филиала «Жодинская ТЭЦ» РУП «Минскэнерго»¹.

Также проводились работы, связанные с внедрением АСК в филиале «Гродненская ТЭЦ-2» РУП «Гродноэнерго» и на РК «Кедышко» филиала «Минские тепловые сети» РУП «Минскэнерго»².

Максимум выбросов загрязняющих веществ (диоксид серы, твёрдые частицы, оксиды азота) в Беларуси приходится на Минскую и Витебскую области. В Минской области основная доля эмиссии приходится на ряд крупных промышленных предприятий и объектов энергетики: Минская ТЭЦ-4, филиал «Минские тепловые сети» РУП «Минскэнерго», Минская ТЭЦ-3. В Витебской области большая часть выбросов приходится на ТЭЦ 14, крупнейшую в Беларуси Лукомльскую ГРЭС и Новополоцкий нефтеперерабатывающий завод. Таким образом, сжигание и переработка ископаемого топлива вносят существенный вклад в загрязнение воздушной среды³.

Кроме загрязнения атмосферы, работа ТЭС связана с загрязнением вод и шумовым загрязнением. Так, на снабжение электроэнергией, газом и горячей водой приходится 11,5% сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты⁴.

Кроме того, уровень шума от мини-ТЭС мощностью 1000 кВт составляет 84–95 дБ. При этом шум от ветроэлектростанции (10 турбин) на расстоянии 350 м составляет 35–45 дБ, что соответствует фоновому шуму в сельской местности. Шум, производимый десятью ветрогенераторами, на расстоянии 350 м от них можно оценить как незначительный, т.е. не отличный от других шумов в обычной жизни⁵.

Перспективы развития ветроэнергетики для решения экологических проблем ТЭК

Мировой тенденцией в энергетической сфере в контексте перехода на «зелёную экономику» является расширение использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Его основными преимуществами выступают практически неисчерпаемые ресурсы, экологичность, эргономичность (доступность использования во многих районах, быстрый и лёгкий демонтаж), создание условий для развития наукоёмких технологий [4]. Опыт многих стран Европы, обладающих схожими с Беларусью природными условиями (Польша, Германия) показывает перспективность развития ветроэнергетики.

¹ См.: сайт Белэнерго, раздел Экология (URL: <http://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/ekologiya/>)

² Там же.

³ Там же.

⁴ См.: периодическое издание «Охрана окружающей среды Республики Беларусь, 2019».

⁵ Рыженков М. А., Ермоленко Б. В., Ермоленко Г. В. Экологические аспекты ветроэнергетики (URL: <http://windpower.ru/wp-content/uploads/Ermolenko.pdf>).

Рис. 5. / Fig. 5. Действующие ВЭУ на территории Беларуси / Operating wind turbines on the territory of Belarus

Источник: данные автора

Развитию ветроэнергетики способствуют относительно благоприятные природные условия: среднегодовая скорость ветра на высоте 100 м на большей части территории Беларуси составляет 5–7 м/с. [1]. Однако при выборе конкретных площадок для размещения ветроэнергоустановок следует также принимать во внимание не только скорости ветра, но и целый ряд других факторов, связанных как с локальным энергетическим потенциалом ветра, так и со многими эколого-географическими характеристиками территории [2; 9; 7].

По данным за 2019 г., в Беларуси действует 125 ветроэнергетических установок общей мощностью 218 МВт

(рис. 5)¹. Большинство ветроустановок в Беларуси расположены на возвышенностях, где скорость ветра на высоте 100 м превышает 6 м/с (Новогрудская, Минская, Оршанская и Ошмянская возвышенности). С учётом рельефа и средних скоростей ветра наиболее перспективными для развития ветроэнергетики являются аграрные районы с абсолютными отметками 200 м и более над уровнем моря. На этих территориях на высоте 80–100 м целесообразно располагать оси роторов ВЭУ установ-

¹ См.: Государственный кадастр возобновляемых источников энергии (URL: <http://minpriroda.of.by/Cadastre/Map>).

ленной мощностью 1,5–2,5 МВт. На высотах ниже 200 м рентабельно размещать ВЭУ меньшей мощности¹.

Современное активное развитие ветроэнергетики связано в значительной степени с её экологическими преимуществами. Две трети выбросов парниковых газов в мире приходится на долю традиционной энергетики. Ветрогенераторы в процессе эксплуатации не потребляют ископаемого топлива; это позволяет сократить загрязнение атмосферы при выработке энергии, что актуально для Беларуси [8]. Однако ветроэлектростанции также оказывают воздействие на окружающую среду. Расчётный срок службы современных ВЭС составляет 25 лет. В процессе эксплуатации ВЭС оказывает воздействие на человека, флору и фауну, атмосферный воздух, водные объекты, землепользование – в виде шумов, вибраций, электромагнитного излучения, оптических эффектов, механического воздействия и отходов эксплуатации². Однако увеличение доли возобновляемой энергетики в энергетическом балансе позволит снизить объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Эмиссия парниковых газов при производстве энергии на ветроэлектростанциях в 4 раза ниже, чем на солнечных электростанциях, и в десятки раз ниже, чем при использовании газа угля и нефти [11]. Технический по-

тенциал ветровой энергии в Беларуси оценивается на уровне 1,9–2,0 млн. т.у.т. При выработке электричества на малых гидроэлектростанциях возможная экономия органического топлива составляет порядка 0,11–0,15 млн. т.у.т. Потенциальная энергия при переработке твёрдых бытовых отходов оценивается в 470 тыс. т.у.т. Естественный годовой прирост древесины – 6,6 млн. т.у.т. [8].

Ветроэнергетика позволяет сократить использование традиционных источников энергии в Беларуси на 82,75 т условного топлива в год. За счёт развития ветроэнергетики удаётся сократить выбросы загрязняющих веществ на 485,9 тыс. т/год, по этому показателю использование энергии ветра уступает лишь гидроэнергетике³ (табл. 2).

Экономические преимущества развития ветроэнергетики: диверсификация топливно-энергетических ресурсов и снижения расходов на транспортировку электроэнергии

Ветроэнергетика в Беларуси позволяет диверсифицировать топливно-энергетические ресурсы, которые Беларусь экспортирует на 88%. Для решения этой проблемы необходимо увеличить долю возобновляемых и местных источников энергии. Учитывая благоприятность природных условий: достаточная скорость ветра, равнинный рельеф, невысокая доля дней со штилями (в 2018 г. их доля составила 11,3%), ветроэнергетика является перспективным направлением для диверсификации ресурсов энергетики в Беларуси в целом.

¹ См.: статья «Оценка ветроэнергетического потенциала и его использование в сельской местности России и Беларуси» (URL: <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/5403/1/Oganezov-I-A-Ocenka-vetroehnergeticheskogo-potenciala.pdf>).

² См.: статью Экологические аспекты ветроэнергетики (URL: <http://windpower.ru/wp-content/uploads/Ermolenko.pdf>)

³ См.: показатели Государственный кадастр возобновляемых источников энергии (URL: <http://minpriroda.of.by/Cadastre/Map>) (дата обращения 23.0.8.2020.).

Таблица 2 / Table 2

Основные показатели работы возобновляемой энергетики в Беларуси / Main indicators of renewable energy in Belarus.

Виды ВИЭ/Производственные показатели	Энергия биогаса	Энергия биомассы	Энергия солнца	Энергия движения водных потоков	Энергия ветра	Всего
Количество производимой в год электрической энергии, тыс. кВт*ч/год	557,87	482,78	413,39	681,7	689,04	2824,78
Количество установок	88	83	109	35	122	437
Суммарная электрическая мощность, МВт	101,75	116,39	285,97	140	211,5	855,61
Сокращение выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов, тыс. т/год	318,49	0	260,51	609,94	485,9	1674,84
Сокращение потребления традиционных видов топлива за счёт использования ВИЭ, т у. т./год	74,25	167,8	50,33	73,81	80,25	446,44

Источник: <http://minpriroda.of.by/Cadastre/Map> (дата обращения 05.08.2020)

Строительство ветроэлектростанций в районах, где нет крупных ТЭЦ, но есть высокий ветроэнергетический потенциал, позволит сократить расходы на транспортировку электроэнергии и сделает её более доступной для потребителя [6].

Институциональные факторы развития ветроэнергетики

Необходимость развития возобновляемой энергетики в стране закреплена в нормативных документах: закон Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии», Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь, Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников и др., которые признают ветроэнергетику перспективной сферой возобновляемой энергетики в Беларуси.

В настоящее время более 96% электроэнергии, выработанной из возобновляемых источников (ВИЭ), поставляется в государственную электрическую сеть Республики Беларусь. При этом стоимость такой энергии из-за повышающих коэффициентов на продажу излишков энергии во много раз превышает стоимость энергии из традиционных источников. Шагом к решению этой проблемы стал Указ Президента Беларуси от 18 мая 2015 года № 209 «Об использовании возобновляемых источников энергии»¹.

На территории Беларуси определено 1840 площадок для размещения

¹ См. указ «Об использовании возобновляемых источников энергии» (URL: http://president.gov.by/ru/news_ru/view/kommentarij-k-ukazu-209-ot-18-maja-2015-g-11383/)(дата обращения 23.08.2020).

ветроустановок с теоретически возможным энергетическим потенциалом 1600 МВт и годовой выработкой электроэнергии 2,4 млрд. кВт/ч¹. Указом Президента Беларуси № 209 предусмотрено, что создание новых, модернизация, реконструкция действующих установок по использованию ВИЭ должны осуществляться в пределах устанавливаемых квот: с использованием энергии биогаза – 20 МВт, ветра – 11 МВт, солнца – 1,55 МВт, энергия движения водных потоков – 73,59 МВт, биомассы (дрова, щепа) – 11,28 МВт [7]. Эти квоты были установлены на 2017–2019 гг., в 2020 г. квота на энергию ветра составляет 19,8 МВт, однако эта квота установлена в рамках реализации проекта международной технической помощи «Устранение барьеров для развития ветроэнергетики в Республике Беларусь».

Возможная модернизация энергосистемы в целом, допуск новых участников на рынки купли-продажи электроэнергии и рынки эксплуатации сетей может повлечь за собой конкурентные отношения. Это позволит упразднить систему квот, которая тормозит развитие возобновляемой энергетики в стране.

Заключение

Традиционная энергетика является основным поставщиком парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу Беларуси от стационарных источников, на топливно-энергетический комплекс приходится более 60%

выбросов парниковых газов от стационарных источников, с чем связаны многие экологические проблемы страны, требующие решений.

Существенный вклад в снижение уровня загрязнения атмосферы и выбросов диоксида углерода может внести развитие ветроэнергетики в Беларуси, чему способствует достаточно высокий ветроэнергетический потенциал. В центральных, западных и восточных районах страны ветроэнергетический потенциал превышает 5 МВт/ч².

Технические ветроэнергетические ресурсы Беларуси могут обеспечить выработку 280 млрд кВт/ч электроэнергии. Кроме того, большой потенциал имеет развитие малой ветроэнергетики (ветрогенераторы мощностью 100–150 кВт) [4; 3].

Развитие ветроэнергетики будет способствовать выполнению Беларусью международных обязательств по Парижскому климатическому соглашению, улучшению экологической обстановки: снижению выбросов парниковых газов на 28% к 2030.

Кроме того, развитие ветроэнергетики позволит увеличить долю возобновляемых и местных источников энергии, что способствует поддержанию энергетической безопасности страны. На сегодняшний день Беларусь экспортирует 88% топливно-энергетических ресурсов.

Несмотря на существующий выбор площадок для строительства ВЭУ, следует отметить слабую проработку его эколого-географического сопровождения,

¹ См сайт проекта Устранение барьеров для развития ветроэнергетики в Республике Беларусь (URL: https://www.windpower.by/files/files/OTCHET_balansy_10.2019.pdf) (дата обращения 23.0.8.2020).

² См.: показатели Государственный кадастр возобновляемых источников энергии (URL: <http://minpriroda.of.by/Cadastre/Map>) (дата обращения 23.0.8.2020).

что приводит к неполному учёту, прежде всего, экологических факторов.

Положительный опыт эксплуатации континентальных ВЭУ в сходных с Беларусью климатических условиях Германии, Дании, Польши и стран

Балтии позволяют рассчитывать на то, что и в Беларуси выработка электроэнергии может успешно происходить на ветроэлектростанциях.

Статья поступила в редакцию 13.03.2020 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безруких П. П. Эффективность возобновляемой энергетики: мифы и факты // Вестник аграрной науки Дона. 2015. № 1 (29). С. 5–17.
2. Березкин М. Ю., Синюгин О. А. Внутриотраслевая конкуренция и возобновляемые источники энергии // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 3, С 159–165.
3. Ветроэнергоресурсы и условия возведения ветроэнергетических установок на территории Восточной Прибалтийско-Черноморской зоны Европы / Н. А. Лаврентьев и др.; под научной редакцией Н. А. Лаврентьева. Минск. Право и экономика, 2010. 453 с.
4. Викторович Н. В. Исследование эффективности использования энергии ветра на территории Брестской области республики Беларусь // Вестник Брестского государственного технического университета. 2013. № 2. С. 117–121.
5. Гасникова А. А. Роль традиционной и альтернативной энергетики в регионах Севера // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2013. № 5 (29). С. 77–88.
6. Дегтярёв К. С., Кошкин С. П., Сангаджиев М. М. Экономические и социально-географические аспекты развития возобновляемой энергетики в Республике Калмыкия // Энергетик. 2016. № 8. С. 32–36.
7. Закревский В. А. Возобновляемая энергетика «за» и «против» // Энергетическая Стратегия. 2017. № 1 (55). С. 11–13.
8. Ковалев, М. М. Будущее белорусской энергетики на фоне глобальных трендов: моногр. / М. М. Ковалев, А. С. Кузнецов. Минск: Изд. центр БГУ, 2018. 223 с.
9. Кошкин С. П. Оценка потенциала развития ветровой энергетики на региональном уровне (на примере Риу-Гранди-ду-Норти, Бразилия) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2019. № 3. С. 93–98.
10. Лаврентьев Н. А., Жуков Д. Д. К вопросу использования ветроэнергетических ресурсов Беларуси / Н. А. Лаврентьев, Жуков Д. Д. // Материалы международной конференции «Энергетика Беларуси: пути развития». 2005. С. 61–71.
11. Михалычева Э. А., Трифонов А. Г. Экологические аспекты строительства и эксплуатации ветроэнергетических станций // Вестник Брестского государственного технического университета. 2013. № 2. С. 121–122.
12. Синогин О. А., Берёзкин М. Ю., Дегтярёв К. С. Особенности конкуренции на мировом энергетическом рынке в условиях постиндустриальной экономики // Сантехника, отопление, кондиционирование. М.: МЕДИА ТЕХНОЛОДЖИ, 2017. №1. С. 74–81.
13. Хансевичев Р. И. Влияние топливно-энергетического комплекса на окружающую среду // Экономика и управление: Экономические науки. 2012. №1(86). С. 130–134.
14. Krasovskaya T., Koshkin S. Windfarms – combining energy and ecological performance in Crimea. GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY, Vol. 12, no. 1, pp. 88–103.
15. Renewable Energy Sources in Figures National and International Development, 2016 / Published by Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi)P Berlin www.bmwi.de

REFERENCES

1. Bezrukih P. P. [Efficiency of renewable energy: myths and facts]. In: *Vestnik agrarnoi nauki Dona* [Don Agricultural Science Bulletin], 2015, no 1 (29), pp. 5–17.
2. Berezkin M.Yu., Sinyugin O. A. [Intra-industry competition and renewable energy sources]. In: *Innovatsii v sel'skom hozyaistve*. [Innovations in agricultural sector], 2017, no 3, pp. 159–165.
3. Lavrent'ev N. A. et al., eds. *Vetroenergoresursy i usloviya vozvedeniya vetroenergeticheskikh ustanovok na territorii Vostochnoi Pribaltiisko-Chernomorskoj zony Evropy* [Wind energy resources and conditions for the construction of wind power plants in the Eastern Baltic-Black Sea zone of Europe], Minsk: Pravo i ekonomika, 2010, 453 p.
4. Viktorovich N. V. [Research of the efficiency of wind energy use on the territory of the Brest region of the Republic of Belarus]. In: *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Brest State Technical University], 2013, no 2, pp. 117–121.
5. Gasnikova A. A. [The role of traditional and alternative energy in the regions of the North]. In: *Ekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* [Economic and social changes: facts, trends, forecast], 2013, no. 5 (29), pp. 77–88.
6. Degtyarev K. S., Koshkin S. P., Sangadzhiev M. M. [Economic and socio-geographical aspects of the development of renewable energy in the Republic of Kalmykia]. In: *Energetik* [Power engineer], 2016, no 8, pp. 32–36.
7. Zakrevskii V. A. [Renewable energy “for” and “against”]. In: *Energeticheskaya Strategiya* [Energy Strategy], 2017, no 1 (55), pp. 11–13.
8. Kovalev M. M., Kuznetsov A. S. *Budushchee belorusskoi energetiki na fone global'nykh trendov : monogr.* [The future of the Belarusian energy sector amid global trends. Monograph], Minsk, Izd. Tsentru BGU, 2018, 223 p.
9. Koshkin S. P. [Assessment of the potential for the development of wind energy at the regional level (on the example of Rio Grande do Norte, Brazil)]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. [Moscow University Vestnik. Series 5. Geography]*, 2019, no. 3, pp. 93–98.
10. Lavrent'ev N. A., Zhukov D. D. [On the issue of using wind energy resources in Belarus]. In: *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii “Energetika Belarusi: puti razvitiya”* [Proceeding of the International Conference “Energy of Belarus: ways of development”], 2005, pp. 61–71.
11. Mikhalycheva E. A., Trifonov A. G. [Ecological aspects of construction and operation of wind power stations]. In: *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Brest State Technical University], 2013, no. 2, pp. 121–122.
12. Sinogin O. A., Berezkin M. Yu., Degtyarev K. S. [Features of competition in the global energy market in the post-industrial economy]. In: *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie* [Plumbing, heating, air conditioning]. Moscow: Izd. Dom MEDIA TEKHNOLODZhI, 2017, no. 1, pp. 74–81.
13. Khansevyarov R. I. [Influence of the fuel and energy complex on the environment]. In: *Ekonomika i upravlenie: Ekonomicheskie nauki* [Economics and Management: Economic Sciences], 2012, no. 1 (86), pp. 130–134.
14. Krasovskaya T., Koshkin S. Windfarms – combining energy and ecological performance in Crimea. *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*, Vol. 12, no1, pp. 88–103.
15. Renewable Energy Sources in Figures National and International Development, 2016 / Published by Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi)P Berlin www.bmwi.de

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Курочкина Александра Игоревна – аспирант кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова; e-mail: geo.kurachkinas@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexandra I. Kurochkina – Post-graduate Student, Department of Physical Geography of the World and Geo-ecology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University; e-mail: geo.kurachkinas@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Курочкина А. И. Перспективы развития ветроэнергетики Беларуси в контексте экологизации её топливно-энергетического комплекса // Географическая среда и живые системы. 2020. № 3. С. 98–111.

DOI: 10.18384/2712-7621-2020-3-98-111

FOR CITATION

Kurochkina A. I. Prospects for the development of wind power in Belarus in the context of ecologization of its fuel and energy complex. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2020, no. 3, pp. 98–111.

DOI: 10.18384/2712-7621-2020-3-