
ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 504.06.620.95

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА БИОТОПЛИВА КАК МЕСТНОГО ИСТОЧНИКА ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ

О. И. РОДЬКИН¹⁾, Е. В. ЗЕЛЕНУХО²⁾, В. И. ГЛУХОВСКИЙ²⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,

Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220123, г. Минск, Беларусь

Местные источники энергии, основу которых составляет твердое органическое топливо, играют значительную роль в энергетическом балансе Республики Беларусь. К категории местных относятся как возобновляемые источники энергии, так и невозобновляемые, в первую очередь торф. Наиболее перспективными источниками возобновляемого биотоплива для энергетических целей в Республике Беларусь являются растительные остатки зерновых культур (солома), кукурузы на зерно, переработки льна и естественные болотные травы, не используемые в качестве кормов для сельскохозяйственного животноводства. Суммарный потенциал получения возобновляемой биомассы на энергетические цели в стране по экспертным оценкам составляет свыше 2 млн т у. т., из которого в настоящее время, по расчетам, основанным на количестве действующих биоэнергетических установок, используется не более 10 %. К несомненному и основному преимуществу возобновляемых источников относится нулевая эмиссия парниковых газов. Количество диоксида

Образец цитирования:

Родькин ОИ, Зеленуха ЕВ, Глуховский ВИ. Оценка потенциала биотоплива как местного источника возобновляемой энергии. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2023;4:65–73.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-4-65-73>

For citation:

Rodzkin AI, Zelianukha AV, Glukhovskij VI. The assessment of biofuel potential as a local renewable energy source. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2023;4:65–73. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-4-65-73>

Авторы:

Олег Иванович Родькин – доктор биологических наук, доцент; директор.
Елена Владимировна Зеленуха – старший преподаватель кафедры «Инженерная экология».
Виктор Иванович Глуховский – кандидат технических наук; заведующий лабораторией.

Authors:

Aleh I. Rodzkin, doctor of science (biology), docent; director.
aleh.rodzkin@rambler.ru
Alena V. Zelianukha, senior lecturer at the department of «Engineering Ecology».
z_elenas80@mail.ru
Viktor I. Glukhovskij, PhD (engineering); head of the laboratory.
399147@tut.by

углерода, которое выбрасывается в окружающую среду, утилизируется растениями в процессе фотосинтеза. Потенциальное снижение выбросов парниковых газов в случае замены ископаемых энергоносителей на возобновляемое биотопливо в масштабах страны составит более 4 млн т CO₂-эквивалент. При экологической оценке возобновляемой биомассы необходимо учитывать, что ее утилизация для получения электрической и тепловой энергии также является одним из факторов воздействия на окружающую среду. Это влияние характеризуется химическим загрязнением биосферы (выбросы и сбросы загрязняющих веществ в газообразном, жидком и твердом состоянии), тепловым загрязнением воздушного бассейна и водных объектов, физическим воздействием, а также изъятием природных ресурсов для технологических нужд и размещения основной площадки объекта энергетики. По результатам исследований экспериментальных образцов твердого местного топлива установлено, что возобновляемое биотопливо является более экологичным в сравнении с брикетами из фрезерного торфа, так как в образцах соломы и древесных отходов содержится значительно меньше тяжелых металлов, азота и серы.

Ключевые слова: биотопливо; солома; торф; возобновляемые источники энергии; тяжелые металлы; воздействие на окружающую среду.

THE ASSESSMENT OF BIOFUEL POTENTIAL AS A LOCAL RENEWABLE ENERGY SOURCE

A. I. RODZKIN^a, A. V. ZELIANUKHA^b, V. I. GLUKHOVSKI^b

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daïhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

^bBelarusian National Technical University,
65 Niezaležnasci Avenue, Minsk, 220123, Belarus

Corresponding author: A. I. Rodzkin (aleh.rodzkin@rambler.ru)

Local energy sources are solid fossil fuels, which play a role in the energy balance of the Republic of Belarus. The category includes both renewable energy sources and non-renewable, primarily peat. The most promising sources of vegetable biofuels for energy purposes in the Republic of Belarus are natural stocks after grain crops (straw), corn for grain, flax processing and natural wetlands grasses which not used as feed for agricultural livestock. The total potential for obtaining biomass production for energy purposes in the country, according to expert estimates, is over 2 million toe, of which at present, according to calculations based on a large number of bioenergy installations, no more than 10 % are used. A credible and major profit of renewable biomass using is zero greenhouse gas emissions. The amount of carbon dioxide that is released into the environment is utilized by plants through the process of photosynthesis. The potential reduction in greenhouse gas emissions in the event of replacing fossil fuels in the region with biofuels on a national scale totals more than 4 million tons of CO₂-equivalent. When evaluating the environment of biomass, it must be taken into account that utilization of biomass for renewable energy is also an environmental impact factor. This influence is characterized by chemical pollution of the biosphere (emissions and discharges of pollutants in gaseous, liquid and solid states), thermal pollution of the air and water bodies, physical impact, as well as the withdrawal of natural resources for technological needs and the placement of the main site of an energy facility. According to the results of experimental studies of solid local fuels, it was found that renewable biofuel is more environmentally friendly to compare with briquettes from peat, since the contents of heavy metals, nitrogen and sulfur in straw and wood waste samples is significantly less than in peat.

Keywords: biofuel; straw; peat; renewable energy sources; environmental impact; heavy metals.

Введение

Местные источники энергии, основу которых составляет твердое органическое топливо, играют значительную роль в энергетическом балансе Республики Беларусь. В соответствии с Государственной программой «Энергосбережение» на 2021–2025 гг., их доля должна составить не менее 16,5 %. Это способствует, наряду с использованием атомной энергии, достижению нормативного уровня энергетической самостоятельности страны¹.

К категории местных относятся как возобновляемые источники энергии, так и невозобновляемые, в первую очередь торф. К несомненному и основному преимуществу возобновляемых источников, доля которых в валовом потреблении ТЭР (топливно-энергетических ресурсов) к 2025 г. должна составлять не менее 8 %, относится нулевая эмиссия парниковых газов. В соответствии с решениями Киотского протокола и других соглашений, включая Парижское соглашение 2020 г., выбросы парниковых газов при

¹Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 гг. Утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 103 от 24.02.2021 г.

сжигании возобновляемой биомассы энергетических культур не принимаются в расчет при определении углеродных квот [1]. Количество диоксида углерода, которое выбрасывается в окружающую среду, утилизируется растениями в процессе фотосинтеза, а фитомасса ивы относится к категории возобновляемых источников энергии и считается «нейтральным» топливом.

Тем не менее, при экологической оценке возобновляемой биомассы необходимо учитывать, что ее утилизация для получения электрической и тепловой энергии также является одним из факторов воздействия на окружающую среду. Это влияние характеризуется химическим загрязнением биосферы (выбросы и сбросы загрязняющих веществ в газообразном, жидком и твердом состоянии), тепловым загрязнением воздушного бассейна и водных объектов, физическим воздействием, а также изъятием природных ресурсов для технологических нужд и размещения основной площадки объекта энергетики.

К числу важнейших проблем, связанных со сжиганием органического топлива, относятся выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, основными из которых являются оксиды азота (NO_x), оксид углерода (CO), диоксид серы (SO_2), твердые частицы и парниковые газы. Такие загрязняющие вещества, как тяжелые металлы, стойкие органические загрязнители (диоксины/фураны, ПХБ, ГХБ, ПАУ), поступают в атмосферный воздух в небольших количествах, однако могут оказывать значительное воздействие на состояние окружающей среды в связи с тем, что обладают высокой токсичностью или устойчивостью.

Образование выбросов оксидов серы связано с присутствием серы в топливе. Органическое топливо содержит серу в виде неорганических сульфидов или органических соединений. Среди оксидов серы, образующихся в процессе сжигания, значительно преобладает диоксид (SO_2)².

Основными оксидами азота, образующимися в процессе сжигания органических видов топлива, являются оксид азота (NO), диоксид азота (NO_2) и закись азота (N_2O). Первые два соединения NO и NO_2 образуют смесь NO_x , которая составляет более 90 % всех выбросов оксидов азота крупных топливосжигающих установок. Существуют три основных механизма образования NO_x , которые характеризуются источником азота и условиями протекания реакции: «термические» NO_x образуются в результате реакции между кислородом и азотом воздуха; «топливные» NO_x формируются из азота, содержащегося в топливе; «быстрые» NO_x формируются в результате преобразования молекулярного азота³.

В качестве промежуточного продукта горения образуется оксид углерода (CO), особенно при нестехиометрических условиях. Образование CO указывает на неполное сгорание топлива, что приводит к снижению КПД котельной установки, а также риску коррозии. Механизмы формирования CO , «термических» NO и летучих органических соединений (ЛОС) зависят от условий горения.

Выбросы тяжелых металлов являются результатом их естественного присутствия в органическом топливе⁴. В настоящее время к числу тяжелых металлов, которые определяются при сжигании твердого топлива, относятся: кадмий и его соединения (в пересчете на кадмий); медь и ее соединения (в пересчете на медь); никель оксид (в пересчете на никель); ртуть и ее соединения (в пересчете на ртуть); свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец); хрома трехвалентные соединения (в пересчете на хром трехвалентный); цинк и его соединения (в пересчете на цинк); мышьяк, неорганические соединения (в пересчете на мышьяк).

Выбросы тяжелых металлов в атмосферный воздух при сжигании топлива осуществляются преимущественно с твердыми частицами. Выбросы ртути осуществляются с твердыми частицами и в парогазовой фазе.

Таким образом, при оценке потенциала использования биотоплива для производства энергии необходимо учитывать не только его наличие, но и возможное воздействие на окружающую среду.

Цель исследований – экспертная оценка ресурсов возобновляемой биомассы в Республике Беларусь и уровень ее потенциального воздействия на окружающую среду в сравнении с невозобновляемыми видами твердого органического топлива.

Результаты исследования и их обсуждение

К потенциальным и наиболее перспективным источникам возобновляемой биомассы, которую можно эффективно использовать для производства энергии, можно отнести растительные остатки, однолетние и многолетние травы, энергетические культуры [2].

Сельскохозяйственные растительные остатки. С учетом природно-климатических и хозяйственных условий нашей страны наиболее перспективными для биоэнергетики культурами являются кукуруза,

²ТКП 17.02-17-2019 (33140). Охрана окружающей среды и природопользование. Наилучшие доступные технические методы для топливосжигающих установок теплоэнергетики. Минск, 2019.

³ТКП 17.08-01-2006 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт. Минск, 2006.

⁴ТКП 17.08-14-2011 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов тяжелых металлов. Минск, 2011.

рапс, многолетние травы, зерновые и зернобобовые культуры. В Республике Беларусь площадь пашни, занятой под озимыми и яровыми зерновыми культурами, за последнее десятилетие остается достаточно стабильной, а средний валовой сбор зерна в стране приближается к 8–9 млн т, что соответствует производству приблизительно 9–10 млн т соломы [3].

Возможность выделения определенных объемов соломы в качестве биотоплива зависит от ряда факторов, однако это количество является нестабильным. Потенциальный объем использования соломы в качестве биотоплива на региональном уровне определяется с учетом ее применения на другие цели и по экспертным оценкам составляет 20–25 % [4].

Основной объем соломы используется в животноводстве [5] в качестве подстилки с последующим получением органических удобрений, а ее часть из общего объема расходуется на кормовые цели, для укрытия, запаховывается в качестве органических удобрений и т. д. При среднем годовом производстве соломы в Беларуси при расчетном соотношении зерно/солома как 1:1,2 около 10 млн т в качестве биотоплива можно использовать 2–3 млн т без ущерба для других потребностей. Это количество приблизительно эквивалентно 0,6–0,9 млн т у. т. при энергетической ценности соломенных остатков, которая зависит от влажности и других факторов в пределах 10–17 МДж/кг.

Возможный объем использования соломы на энергетические цели в рамках конкретного хозяйства может быть установлен после расчета баланса ее потребления и соответствующего экономического обоснования. Технически доступные ресурсы сельскохозяйственной культуры при уборке урожая рассчитываются по соотношению урожайности солома-зерно. Данный показатель не является стабильным и зависит от сорта, генотипа, агротехники выращивания, погодных условий и т. д.

Перспективными для энергетических целей являются остатки после уборки и переработки льна и кукурузы на зерно. Площади этих культур за последние годы составляют соответственно около 50 и 220 тыс. гектаров.

Однолетние и многолетние травы. Однолетние и многолетние травы – потенциальный источник биомассы для энергетических целей. Площади однолетних трав в структуре пахотных земель Республики Беларусь составляют около 650 тыс. га, многолетних – около 1,4 тыс. га, луговых земель – около 1,4 млн га. Суммарная площадь пастбищ, лугов и посевов многолетних трав в стране составляет около 3,5 млн га [6; 15].

Следует отметить, что основной объем получаемой с этих площадей продукции используется на кормовые цели. Поэтому одним из перспективных направлений является применение в качестве биотоплива естественной растительности, которая по ряду причин мало используется в качестве корма для с/х животных. Такие виды травянистых растений, как тростник, канареечник, осока – это естественные многолетние травы, которые не представляют большой ценности в качестве кормов. Одним из источников болотной растительности являются выработанные торфяники, после проведения дополнительных мероприятий по рекультивации которых можно получать биомассу для производства возобновляемой энергии. Такой подход имеет дополнительное преимущество, так как территории осушенных выработанных торфяников вследствие разложения торфа, являются источником образования парниковых газов. Диоксид углерода можно аккумулировать в растительной биомассе, что снижает его эмиссию в атмосферу. Кроме того, для увеличения продуктивности естественной болотной растительности, как правило, обводняют территории выработанных торфяников, используя действующие или законсервированные мелиоративные системы, обеспечивает снижение эмиссии парниковых газов и препятствует разложению торфяного слоя [7].

На территориях выработанных торфяников в первые годы после прекращения добычи торфа отсутствуют условия для вегетации растений, но обводнение территорий позволяет решить эту проблему. Потенциально в Беларуси могут быть повторно заболочены и восстановлены около 500 000 га выработанных торфяников, наиболее реалистично в краткосрочной перспективе, согласно экспертным оценкам, – около 120 тыс. гектаров.

При средней урожайности биомассы естественных травостоев с продуктивных участков обводненных торфяников 16 т с гектара суммарный выход со всей площади составит 1,9 млн т, что эквивалентно 1,2 млн т у. т. Биомасса может быть использована для прямого сжигания, для производства пеллет и брикетов, в том числе в смеси с фрезерным торфом [8]. Такой подход является перспективным направлением для торфопредприятий. В этом случае часть потребности в торфяном сырье может быть заменена биомассой, полученной с выработанных и повторно-заболоченных участков, что увеличивает устойчивость предприятия и возможность стабильного производства.

Наряду с наличием биомассы, которая потенциально может быть использована в энергетических целях, важное значение имеет ее состав. С точки зрения воздействия на окружающую среду, одна из наиболее серьезных проблем – это содержание в биомассе соединений тяжелых металлов. Ориентировочное содержание тяжелых металлов в твердом топливе различного происхождения, согласно анализу литературных источников и результатов собственных исследований, представлено в табл. 1.

Содержание тяжелых металлов в ископаемом топливе может различаться в зависимости от месторождения, глубины залегания и других условий, а в древесине и соломе в зависимости от почвы, внесения удобрений и средств защиты растений и т. д. В табл. 1 представлены усредненные результаты оценки содержания тяжелых металлов в твердом топливе, потребляемом в Республике Беларусь [9–12].

Таблица 1

Среднее содержание тяжелых металлов в твердом топливе, потребляемом в Республике Беларусь

Table 1

Average content of heavy metals in solid fuel consumed in the Republic of Belarus

Тип топлива	Содержание тяжелых металлов, г/т							
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Уголь каменный и бурый, среднее	20,0	0,25	8,3	9,3	0,2	9,2	7,1	36,2
Торф фрезерный	3,8	0,14	1,7	1,6	0,08	0,7	1,1	11,0
Торфяные брикеты	5,0	0,19	2,3	2,1	0,1	0,9	1,5	14,5
Дрова топливные, древесные отходы	0,05	0,08	0,31	1,59	0,01	0,62	0,41	6,5
Солома	0,02	1,1	9,2	34,2	0,01	4,1	0,7	2,5

Как следует из представленных данных, наиболее высокие показатели содержания тяжелых металлов, за исключением хрома и меди, характерны для угля. В древесных отходах содержание тяжелых металлов ниже, чем в торфяном топливе (как в фрезерном топливе, так и брикетах) и по большинству показателей сопоставимо с соломой. В соломе содержится больше меди, хрома и кадмия. Очевидно, это связано с внесением минеральных удобрений, особенно меди, которая является важным для нормального метаболизма растений элементом и в ряде случаев вносится специально.

Твердые виды топлива представляют собой сложные органические соединения, образованные в основном пятью элементами, – углеродом, водородом, кислородом, серой и азотом. В состав топлива также входит влага и негорючие минеральные вещества, которые после сгорания образуют золу. Влага и зола – это внешний балласт топлива, а кислород и азот – внутренний. Основным элементом горючей части является углерод, он обуславливает выделение наибольшего количества тепла. Однако, чем больше доля углерода в составе твердого топлива, тем труднее оно воспламеняется. Водород при сгорании выделяет в 4,4 раза больше тепла, чем углерод, но его доля в составе твердых топлив невелика. Кислород, не будучи теплообразующим элементом и связывая водород и углерод, снижает теплоту сгорания, поэтому является элементом нежелательным.

Результаты исследования химического состава образцов твердого топлива, выполненных на анализаторе «СНН628» фирмы LECO, представлены в табл. 2–4. Выбор данных образцов обусловлен развитием в республике предприятий торфяной, льняной и деревообрабатывающей промышленности [13].

Нежелательными, с точки зрения воздействия на окружающую среду, соединениями, входящими в состав твердого топлива, являются азот и сера. Количество азота в твердом топливе небольшое, но он способен образовывать вредные для окружающей среды и человека оксиды. Сера при сгорании образует оксиды, которые приводят к коррозии металла котлов и загрязнению атмосферного воздуха. Оксиды азота, серы, углерода являются основными составляющими кислотных дождей (осадков) [14]. Наиболее высокое содержание азота и серы характерно для фрезерного торфа. Отходы деревообработки практически не содержат серы и очень незначительное количество азота, что делает их наиболее экологичным видом топлива.

Химический состав обуславливает теплотворную способность топлива, то есть количество теплоты, которое будет выделяться при его сжигании. Фрезерный торф содержит больше углерода, но меньше водорода, который также вносит существенный вклад в теплотворную способность топлива. Таким образом, анализ химического состава показывает, что биотопливо из возобновляемых источников при сгорании оказывает менее негативное воздействие на окружающую среду (атмосферный воздух) при близких величинах удельной теплоты сгорания. Несомненным преимуществом биотоплива из возобновляемых источников является его «нейтральность» относительно выбросов парниковых газов и, соответственно, изменения климата. Учитывая эти обстоятельства, рост мощностей по производству энергии из биомассы является одним из приоритетных направлений для устойчивого развития Республики Беларусь.

В настоящее время в республике насчитывается порядка 86 действующих установок, работающих на биомассе, суммарной электрической мощностью 186,39 МВт и суммарной тепловой мощностью 275,71 МВт [11]. Количество установок по административно-территориальным единицам представлено на рис. 1.

Таблица 2

Результаты определения содержания углерода C, водорода H, азота N и серы S в анализируемых образцах фрезерного торфа

Table 2

Results of determining the content of carbon C, hydrogen H, nitrogen N and sulfur S in the analyzed samples of milled peat

Образец	Содержание, %	Графики экспериментов
Фрезерный торф	C 55,30 H 6,16 N 3,45 S 0,27	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Nitrogen %</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Carbon %</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Hydrogen %</p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>Sulfur %</p> </div>

Таблица 3

Результаты определения содержания углерода C, водорода H, азота N и серы S в анализируемых образцах опилок хвойных пород

Table 3

Results of determining the content of carbon C, hydrogen H, nitrogen N and sulfur S in the analyzed samples of softwood sawdust

Образец	Содержание, %	Графики экспериментов
Древесные опилки	C 51,3 H 6,94 N 0,07 S 0	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Nitrogen %</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Carbon %</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Hydrogen %</p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>Sulfur %</p> </div>

Результаты определения содержания углерода С, водорода Н, азота N и серы S в анализируемых образцах костры льна

Table 4

Results of determination of the content of carbon C, hydrogen H, nitrogen N and sulfur S in the analyzed samples of flax shives

Образец	Содержание, %	Графики экспериментов
Льнокостра	C 48,4 H 6,95 N 0,73 S 0,01	<p>Nitrogen % Avg 0.727 Std 0.0782 Rsd 10.75 n 2 66 lenko 67 lenko</p> <p>Carbon % Avg 48.4 Std 0.31 Rsd 0.643 n 2 66 lenko 67 lenko</p> <p>Hydrogen % Avg 6.95 Std 0.074 Rsd 1.060 n 2 66 lenko 67 lenko</p> <p>Sulfur % 0.0110</p>

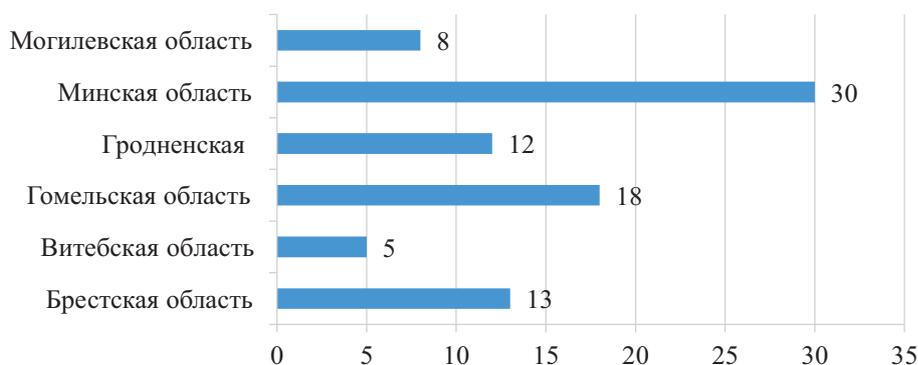


Рис. 1. Количество действующих установок, работающих на биомассе, по административно-территориальным единицам

Fig. 1. Number of operating biomass installations by administrative-territorial units

Количество производимой в год тепловой энергии данными установками составляет 1631,41 Гкал, количество производимой электрической энергии – 853,78 тыс. кВт·ч/год.

Согласно расчетам, количество сокращения потребления традиционных видов топлива за счет ВИЭ в стране составляет 498,01 т у. т./год, из них основной вклад (41 % или 205,63 т у. т.) приходится на энергию биомассы (рис. 2).

Как показано выше, потенциал использования биотоплива только из соломы зерновых культур в стране оценивается около 0,9 млн т у. т. в год. Потенциал биомассы естественных травостоев при условии обводнения территории выработанных торфяников оценивается в 1,2 млн т у. т. Из отходов переработки льна и остатков кукурузы при уборке на зерно на зерно может быть получено около 100 тыс. т биотоплива, что приблизительно эквивалентно 60 тыс. т у. т. Таким образом, суммарный потенциал получения возобновляемой биомассы на энергетические цели в стране составляет свыше 2 млн т у. т., из которого в настоящее время используется не более 10 %. Следовательно, потенциальное снижение выбросов парниковых газов в случае замены ископаемых энергоносителей на возобновляемое биотопливо в масштабах страны составит более 4 млн т CO₂-эквивалент.

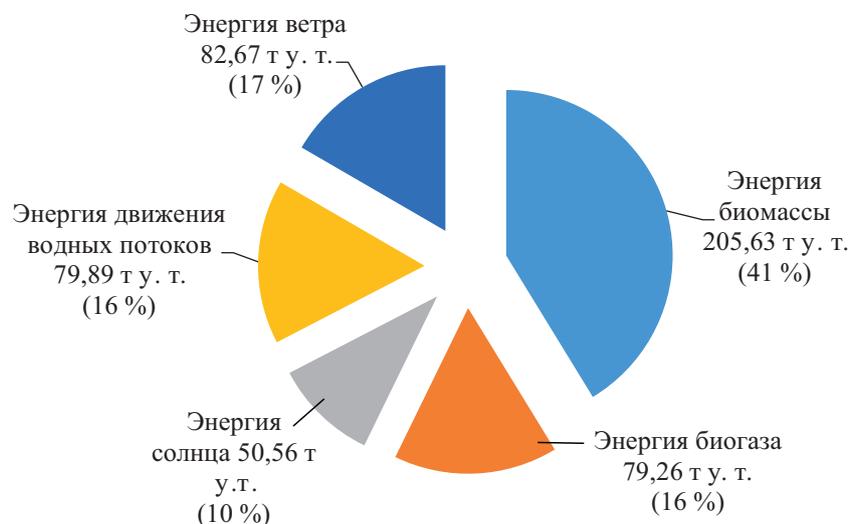


Рис. 2. Потенциальный объем сокращения потребления традиционных видов топлива за счет ВИЭ, т у. т.

Fig. 2. Potential volume of reduction in consumption of traditional fuels due to RES

Заклучение

По результатам наших исследований можно сформулировать следующие выводы:

– наиболее перспективными источниками возобновляемого биотоплива для энергетических целей в Республике Беларусь являются растительные остатки зерновых культур (солома), кукурузы на зерно, переработки льна и естественные болотные травы, не используемые в качестве кормов для сельскохозяйственного животноводства. Суммарный потенциал получения возобновляемой биомассы на энергетические цели в стране, по экспертным оценкам, составляет свыше 2 млн т у. т., из которого в настоящее время, согласно расчетам, основанным на количестве действующих биоэнергетических установок, используется не более 10 %. Более точные расчеты могут быть сделаны на местном уровне балансовым методом с учетом использования биомассы на другие цели;

– по результатам исследований экспериментальных образцов твердого местного топлива установлено, что возобновляемое биотопливо является более экологичным в сравнении с брикетами из фрезерного торфа. В образцах соломы и древесных отходов содержится значительно меньше тяжелых металлов, а также азота и серы, выбросы оксидов которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду, в частности обуславливают образование кислотных атмосферных осадков (дождей);

– основным преимуществом биотоплива из возобновляемых источников по сравнению с ископаемым топливом является его «нейтральность» относительно выбросов парниковых газов и, соответственно, изменение климата. Потенциальное снижение выбросов парниковых газов в случае замены ископаемых энергоносителей на возобновляемое биотопливо в масштабах страны составит более 4 млн т CO_2 -эквивалент. В настоящее время, согласно расчетам, этот потенциал используется не более чем на 10 %. Учитывая данные обстоятельства рост мощностей по производству энергии из биомассы является одним из приоритетных направлений для устойчивого развития Республики Беларусь.

Библиографические ссылки

1. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [Internet, cited 2023 July 20]. Available from: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>.
2. Ермашкевич ВН, Румянцева ЮН. *Возобновляемые источники энергии Беларуси: прогноз, механизмы реализации*. Минск: БИП-С; 2004. 121 с.
3. *Сельское хозяйство Республики Беларусь, 2022. Статистический буклет*. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь; 2022. 35 с.
4. Добышев, АС, Крупенько АА. *Сушка зерна с использованием нетрадиционных видов топлива; Программа Европейского Союза TACIS*. Горки: [б. и.]; 2006. 33 с.
5. Босак ВН. *Органические удобрения*. Пинск: ПолесГУ; 2009. 255 с.
6. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь [Интернет, процитировано 10 июля 2023]. URL: <http://gki.gov.by/ru/>
7. Родькин ОИ, Ракович ВА, Wichtmann W. *Производство возобновляемой биомассы на выработанных торфяниках как метод снижения выбросов парниковых газов*. В: *Шестое национальное сообщение по осуществлению рыночной конвенции об изменении климата в контексте региональных проблем устойчивого развития Республики Беларусь. Материалы международного семинара, 5–6 ноября 2014*. Минск: [б. и.]; 2014. с. 72–82.

8. Rodzkin A, Kundas S, Charnek Y, Khroustalev B, Wichtmann W. The assessment of cost of biomass from post-mining peaty lands for pellet fabrication. *Environmental and Climate Technologies*. 2018;22(1):118–131.
9. Energy 21: the Danish government's action plan for energy 1996. Danish Ministry of Environment and Energy. Copenhagen : The Ministry; 1996. 79 p.
10. Родькин ОИ. Оценка эффективности использования быстрорастущих древесных культур для фиторемедии загрязненных экосистем. *Вестн. ИрГСХА*. 2018;84:40–50.
11. Родькин ОИ. Физиологические характеристики и продуктивность картофеля при использовании золы в качестве удобрения. *Экологический вестник*. 2013;4(26):89–94.
12. Селюкова СВ, Лукин СВ. Оценка содержания тяжелых металлов в кукурузе и подсолнечнике. *Агротехнический вестник*. 2017;5:52–55.
13. Зеленуха ЕВ. Исследование топливных характеристик горючих вторичных энергетических ресурсов. В: 14-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». Тула: [б. и.]; 2018. с. 213–217.
14. Зеленуха ЕВ, Родькин ОИ. Способы снижения выбросов при сжигании твердого топлива. В: *Сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции «Инжиниринг и управление: от теории к практике»*. Минск: БНТУ; 2021. с. 111–112.
15. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии [Интернет, процитировано 10 июля 2023]. URL: <http://195.50.7.239/Cadastre/Map>.

Reference

1. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [Internet, cited 2023 July 20]. Available from: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>.
2. Ermashkevich VN, Rumjanceva JN. *Vozobnovljaemye istochniki jenerгии Belarusi: prognoz, mehanizmy realizacii* [Possible energy sources of Belarus: forecast, implementation mechanisms]. Minsk: BIP-S; 2004. 121 p. Russian.
3. *Selskoe hozjajstvo Respubliki Belarus, 2022. Statisticheskij buklet* [Agriculture of the Republic of Belarus, 2022. Statistical booklet]. Minsk : Natsionalnyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus; 2022. 35 p. Russian.
4. Dobyshev AS. *Sushka zerna s ispol'zovaniem netradicionnyh vidov topliva* [Drying grain using non-traditional fuels]. *Programma Evropejskogo Sojuza TACIS*. Gorki: [publisher unknown]; 2006. 33 p. Russian.
5. Bosak VN. *Organicheskie udobrenija* [Organic fertilizers]. Pinsk: PolesGU; 2009. 255 p. Russian.
6. Reestr zemelnyh resursov Respubliki Belarus [Register of land resources of the Republic of Belarus]. [Internet, cited 2023 July 10]. Available from: <http://gki.gov.by/ru>.
7. Rod'kin OI, Rakovich VA, Wichtmann W. *Proizvodstvo vozobnovljaemoj biomassy na vyrabotannyh torfjanikah kak metod snizhenija vybrosov parnikovyh gazov* [Production of renewable biomass on depleted peatlands as a method for reducing greenhouse gas emissions]. In: *Shestoe nacional'noe soobshhenie po osushhestvleniju rymochnoj konvencii ob izmenenii klimata v kontekste regional'nyh problem ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus. Materialy mezhdunarodnogo seminara, 2014 nojabra 5–6*. Minsk: Institut ekonomiki NAN Belarusi; 2014. p. 72–82. Russian.
8. Rodzkin A, Kundas S, Charnek Y, Khroustalev B, Wichtmann W. The assessment of cost of biomass from post-mining peaty lands for pellet fabrication. *Environmental and Climate Technologies*. 2018;22(1):118–131.
9. Energy 21: the Danish government's action plan for energy 1996. Danish Ministry of Environment and Energy. Copenhagen : The Ministry; 1996. 79 p.
10. Rodzkin, OI. *Ocenka jeffektivnosti ispol'zovanija bystrorastushhih drevesnyh kul'tur dlja fitoremedii zagraznennyh jekosistem* [Assessing the effectiveness of using fast-growing tree crops for phytoremediation of polluted ecosystems]. *Vestnik. IrGSHA*. 2018;84:40–50. Russian.
11. Rod'kin OI. *Fiziologicheskie harakteristiki i produktivnost' kartofelja pri ispol'zovanii zoly v kachestve udobrenija* [Physiological characteristics and productivity of potatoes when using ash as a fertilizer]. *Ekologicheskij vestnik*. 2013;4(26):89–94. Russian.
12. Seljukova SV, Lukin SV. *Ocenka soderzhaniya tjazhelyh metallov v kukuruze I podsolnechnike* [Assessment of heavy metal content in corn and sunflower]. *Agroticheskij vestnik*. 2017;5:52–55. Russian.
13. Zelenuho EV. *Issledovanie toplivnyh harakteristik gorjuchih vtorychnyh jenergeticheskikh resursov* [Study of fuel characteristics of combustible secondary energy resources]. In: *14-ja Mezhdunarodnaja konferencija po problemam gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i jenergetiki «Social'no-jekonomicheskie i jekologicheskie problemy gornoj promyshlennosti, stroitel'stva I jenergetiki»*. Tula: [publisher unknown]; 2018. p. 213–217. Russian.
14. Zelenuho EV, Rod'kin OI. *Sposoby snizhenija vybrosov pri szhiganii tverdogo topliva* [Methods for reducing emissions when burning solid fuels]. In: *Sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii «Inzhiniring i upravlenie: ot teorii k praktike»*. 2021. p. 111–112. Russian.
15. Gosudarstvennyj kadastr vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии [Internet, cited 2023 July 10]. Available from: <http://195.50.7.239/Cadastre/Map>.

Статья поступила в редколлегию 23.10.2023.
Received by editorial board 23.10.2023.