

## Эколого-экономический подход применения вторичных биоматериалов в контексте устойчивого развития

Наталья Ю. Сопилко

*Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина  
Москва, Россия, sheremett73@gmail.com*

Ольга Ю. Мясникова

*Российский университет дружбы народов  
Москва, Россия, o\_mjasnikova@mail.ru*

*Аннотация.* В статье рассматривается проблема, связанная с истощаемостью традиционных энергетических ресурсов (угля, нефти, торфа, природного газа), возникающая в процессе их использования как фактор ухудшения экологической ситуации в условиях перехода Российской Федерации к модели устойчивого развития экономики. Проведен анализ возможности применения альтернативного сырья на основе вторичных растительных биоматериалов как возобновляемых заменителей источников энергоснабжения. Выделена тенденция роста потребления биомассы для выработки энергии в странах Европы, в США, Канаде. Представлена характеристика основных экономических преимуществ ее применения, наряду с которыми отмечена особая важность экологической компоненты. Проведенное исследование является приоритетным и перспективным направлением для мировой экономики и энергетики, а анализ основных технико-экономических характеристик различных видов отходной биомассы и обоснование путей ее утилизации может служить для целенаправленного и полноценного ее использования как энергетического ресурса.

*Ключевые слова:* устойчивое развитие, альтернативные энергетические ресурсы, вторичные биоматериалы, экономические выгоды, экологическая безопасность

*Для цитирования:* Сопилко Н.Ю., Мясникова О.Ю. Эколого-экономический подход применения вторичных биоматериалов в контексте устойчивого развития // Вестник РГГУ. Серия «Экономика. Управление. Право». 2021. № 2. С. 97–110. DOI: 10.28995/2073-6304-2021-2-97-110

---

© Сопилко Н.Ю., Мясникова О.Ю., 2021

## Ecological and economic approach to secondary biomaterials usage in the context of sustainable development

Natal'ya Yu. Sopilko

*Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russia, sheremett73@gmail.com*

Ol'ga Yu. Myasnikova

*RUDN University, Moscow, Russia, o\_myasnikova@mail.ru*

*Abstract.* In the presented paper considers the issue associated with the depletion of traditional energy resources (coal, oil, peat, natural gas). Such a situation turns up in a process of their usage as a factor in the deterioration of the environmental situation in terms of Russian Federation transition to a model of a sustainable economic development. The article analyses the possibility of alternative raw materials using based on secondary plant biomaterials as a renewable substitute for the energy supply sources. A tendency of growth in the biomass consumption for energy generation in European countries, the USA, Canada is highlighted. The characteristics of the main economic advantages of its application are presented, along with a notion of the special importance of ecological component. The conducted research is a priority and promising direction for the world economy and energy, and the analysis of basic technical and economic features of various types of the waste biomass and the reasoning of its utilization ways can serve for its well-targeted and full-fledged usage as an energy resource.

*Keywords:* sustainable development, alternative energy resources, secondary biomaterials, economic benefits, environmental safety

*For citation:* Sopilko, N.Yu. and Myasnikova, O.Yu. (2021), "Ecological and economic approach to secondary biomaterials usage in the context of sustainable development", *RSUH/RGGU Bulletin. "Economics. Management. Law" Series*, no. 2, pp. 97-110, DOI: 10.28995/2073-6304-2021-2-97-110

Человечество уже давно испытывает потребность в пересмотре парадигмы своего существования на Земле. Еще в 1992 г. в Рио-де-Жанейро было сделано четкое предупреждение мировому сообществу об неотвратимости экокатастрофы. После конференции (1992), в ходе которой были определены векторы, направленные на предотвращение всемирного экологического бедствия, была предложена новая парадигма развития – концепция устойчивости. В рамках этой парадигмы мировая экономика должна стремиться минимизировать потребление природных ископаемых и ресурсов, а также задуматься над рециклингом и сведением к минимуму отходов [Бобылев 2017; Сопилко, Орлова, Лисицкая 2017].

Сегодня очевидным для многих специалистов является проблема дефицита топливно-энергетических ресурсов, постоянный рост их стоимости, а также устойчивая тенденция к ухудшению экологической обстановки. Наряду с этим растет население планеты, которое к 2050 г., по оценкам ООН, может достигнуть девяти миллиардов человек [Любушин, Бабичева, Коньшев 2017]. В этой связи стоит задача постоянного поиска альтернативных путей получения и использования возобновляемых источников энергии.

Одним из направлений, которое в настоящее время изучается учеными, – использование и переработка отходов растительного происхождения как потенциального энергоносителя. Такой подход полностью соответствует положениям Киотского договора, документам Международной экспертной группы по оценке научных знаний, связанных с изменениями климата, и др., связанным с улучшением окружающей среды.

Подсчитано, что энергетическое содержание производимых в мире отходов агропромышленного комплекса составляет  $93 \cdot 10^{18}$  Дж/год. Тот факт, что реальное использование их потенциала до 25%, в будущем позволит обеспечить около 7% мировой энергии [Хоруженко, Дорогов 2017]. Вторичная переработка и использование топливных биоматериалов будет способствовать решению многих эколого-экономических задач, как глобальных, так и локальных, стоящих перед мировой экономикой, а именно снижение выброса парниковых газов и риска образования кислотных дождей за счет уменьшения количества выделяемого диоксида серы (сохранение лесных массивов) и т. д.

Для более детального рассмотрения проблемы необходимо понять и разработать комплекс мер, предусматривающих планирование различных мероприятий, направленных на рационализацию рециклинга биоресурсов, и наряду с этим необходима разработка стратегии, в рамках которой будут определены векторы по количественному уменьшению различных газообразных выбросов в атмосферу, влияющих на климат планеты.

Все традиционные топливные виды сырья включают серу и ее соединения, которые при сгорании выделяются в воздух, загрязняя его токсичными веществами. Если использовать биотопливо как альтернативу традиционным видам энергоносителей, то такие выбросы будут значительно снижены [Myasnikova et al. 2019].

Экономический анализ динамики цен на бензин и дизельное топливо показывает тенденцию роста. Так, в Европе за первый квартал 2020 года цены увеличились (на 5% – бензин, 2,5% – дизельное

топливо)<sup>1</sup>. В рамках курса на устойчивое развитие в странах ЕС ведется постоянный поиск замены этих видов топлива на менее затратные и более экологически целесообразные.

Наряду с европейскими странами идет активный поиск альтернативного топлива, в частности исследуются возможности получения энергии из растительного сырья в Канаде, Китае, Бразилии, США и мн. др. Еще в конце прошлого столетия (1996 г.) в Дании была принята энергетическая программа «Энергия 21», в рамках которой принят ориентир – до 2030 г. повысить уровень использования биоэнергетики до 50-процентный порога в общем объеме энергетики [Myasnikova, Shcherbakova, Lysytska 2019]. Ученые в своих исследованиях доказали, что рост применения растительного сырья, как многолетнего, так и однолетнего, увеличение энергетических ресурсов может достигнуть 2,4 раза [Svietkina, Lysytska, Franchuk 2017]. Положения этой программы получили поддержку практически во всех странах Еврозоны. Например, в Швеции и Австрии ввели «зеленые налоги» – льготы по оплате за использование биотоплива, которые освобождают покупателей такого топлива от любых экосборов. В странах Балтии было получено право на освобождение биотоплива от уплаты акцизного налога в размере менее 5% от всей стоимости топливного ресурса. В результате такого налогового маневра цена биоэтанола, который был получен на базе биомассы, в Эстонии стала ниже, чем цена бензина марки АИ-95, практически на 10%<sup>2</sup>.

Эффективно действующие федеральные законы США с налоговыми льготами ориентированы на производство биоэтанола, а также на поддержку реутилизации отработанных растительных и животных масел [Василов 2007].

Согласно географическим и климатическим параметрам, для многих стран характерным является наличие большого разнообразия видов растительности, которая, включаясь в конверсионно-производственные процессы, приводит к постоянному образованию большого количества отходов органического характера (сельскохозяйственных, химических производств, деревопереработки, торфопереработки, полиграфической, пищевой, текстильной промышленности и др.).

Учитывая тот факт, что затраты на энерготопливо на базе отходов биоматериалов практически минимальны, и то, что коли-

---

<sup>1</sup> EU Biofuels Annual, 2018 [Электронный ресурс]. URL: [http://biotoplivo.ru/upload/private/information\\_items\\_property\\_205.pdf](http://biotoplivo.ru/upload/private/information_items_property_205.pdf) (дата обращения 10 января 2021).

<sup>2</sup> Там же.

чество последних не ограничено, экономическая целесообразность их очевидна.

В зависимости от генезиса, морфологических, химических свойств биологического сырья возможны различные технологии его энергетического использования. Так, специалистами-технологами и экологами отмечается, что наряду с термохимическими способами переработки растительных материалов и их отходов (прямое сжигание, высокотемпературная газификация, пиролиз и др.), наиболее оптимальным направлением признается изготовление из них топливных брикетов, гранул (пеллет), таблеток или других форм продукции [Севастьянова 2009; Хоруженко, Дорогов 2017].

При этом экономический интерес с точки зрения энергетической емкости представляет именно переработка органической части отходов из растительных биоматериалов. Технически и экономически выгодным является то, что в лигноуглеводном комплексе растений лигнин, обеспечивая механическую функцию и будучи тесно связанным с гемицеллюлозами, выступает склеивающим агентом кристаллических цепей целлюлозы с тканями. Это дает возможность обходиться без дополнительных агентов. В безводной растительной биомассе, включающей до 12% капиллярной влаги, общее содержание органической части представлено углеродом (45–50%), кислородом (40–45%), водородом (4,5–6,0%), азотом (0,3–3,5%) и незначительным количеством серы (до 0,05%) [Сушкова, Воробьева 2008]. При ее сгорании вышеназванные составляющие компоненты превращаются в диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) и водяной пар ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

По показателям использования твердой биомассы для производства тепловой энергии страны ЕС в среднем достигли порядка 15% (при этом в Австрии и Швеции – 37 и 61% соответственно, Финляндии и Дании – 32 и 35%)<sup>3</sup>.

Если рассмотреть общее количество растительной биомассы, которая была получена и использована в мировой энергетике в начале 2000-х годов из древесины, то эта цифра достигла 1,9 млрд куб. м, а ее отходы составили лишь 300 куб. м. Для России, которая обладает практически четвертью всех мировых запасов лесов, переработка древесных отходов может стать эффективным энергетическим ресурсом, экономически целесообразным и обоснованным<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> EU Biofuels Annual, 2018 [Электронный ресурс]. URL: [http://biotoplivo.ru/upload/private/information\\_items\\_property\\_205.pdf](http://biotoplivo.ru/upload/private/information_items_property_205.pdf) (дата обращения 11 января 2021).

<sup>4</sup> Глобальный доклад о состоянии возобновляемой энергетики 2018. [Электронный адрес]. URL: <https://www.ren21.net/> (дата обращения 11 января 2021).

Анализ рынка древесины показал, что в России цены на древесное сырье достаточно низкие: стоимость кубического метра хвойной древесины варьируется в пределах от 218 до 383 руб., а кубический метр древесной щепы на лесных аукционах стоит от 300 до 500 руб.<sup>5</sup> При этом в переработке этот ресурс (например, изготовление пеллет – брикетов) уже стоит от 80 до 90 евро за кубический метр. Для сравнения: стоимость лесных материалов (кубический метр) в Эстонии и Швеции – 63 и 41 евро, что значительно выше российских цен. И российский лес, а также отходная древесная щепка может быть весьма привлекательным товаром для европейских стран.

Аналитики FOEX Indexes Ltd рассчитали показатель индекса цен на древесные топливные гранулы в Центральной Европе, который достиг уровня 202,76 € за тонну. В контексте сказанного один из крупнейших потребителей пеллет – энергетический концерн DONG Energy – перевел первый блок крупной теплоэлектростанции в Avedore с угля на древесные пеллеты<sup>6</sup>. Теперь столица Дании Копенгаген сможет получать больше биоэнергии.

Подсчитано, что сжигание древесины (влажность 10%) обеспечивает выделение тепловой энергии в количестве 14–15 МДж/кг (для сравнения – удельная теплота сгорания нефти составляет 41–44, бытового газа – 32–33, а каменного угля – 27–29 МДж/кг)<sup>7</sup>. Содержание минеральной части в биомассе незначительно, поэтому после ее сжигания практически не остается золы. Кроме того, применение альтернативных, экологически более безопасных и экономически выгодных источников энергии исключает потребность добавления к традиционному топливу различных присадок, т. е. позволит получать дополнительную экономию в затратах. Такой подход подчеркивает целесообразность перехода энергетической отрасли на низкосернистые топливные биоматериалы и дает возможность повышать показатели устойчивости для многих энергозависимых стран.

Технический анализ предварительно измельченных на специальных лабораторных вибрационных мельницах (laboratory verti-

---

<sup>5</sup> Рынок древесной щепы в России – 2019. Показатели и прогнозы [Электронный адрес]. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/40641/> (дата обращения 12 января 2021).

<sup>6</sup> Евросоюз, США. Нефть, газ, уголь. Леспром, 2017 [Электронный адрес]. URL: [https://polpred.com/?ns=1&ns\\_id=2056577](https://polpred.com/?ns=1&ns_id=2056577) (дата обращения 12 января 2021).

<sup>7</sup> Характеристики древесной биомассы, применяемой в топливных целях [Электронный адрес]. URL: <http://www.unikc.ru/wood.htm> (дата обращения 14 января 2021).

cal vibrating mill MVV-2) воздушно-сухих образцов древесных и однолетних растительных отходов, их отдельных параметров проводили в лабораторных условиях по общепринятым методикам [Sviekina, Lysytska, Franchuk 2017]. Полученные данные в этих исследованиях свидетельствуют, что химический состав органической части растительной биомассы, обладающей энергетической емкостью, достаточно стабилен, что позволяет превращать ее в высококачественное топливное сырье.

Результаты исследований отдельных энергетических параметров показали, что качество топливных материалов зависит не только от химического состава, но и других технологических параметров. К ним относится влажность (критический уровень влажности варьирует от 10 до 15%, а для некоторых видов сырья предел содержания влаги ограничивается 7–8%). Так, теплота сгорания соломы ниже, чем у сухой древесины. Однако с учетом обычной для воздушно-сухой соломы влажности в пределах 12% данный показатель оказывается выше, чем у древесной щепы [Myasnikova et al. 2019].

При этом традиционные виды топливных материалов имеют достаточно высокую величину объемной массы или насыпной плотности (например, в зависимости от месторождения объемная масса каменного угля составляет 680–960 кг/м<sup>3</sup>, а антрацита – 1500 кг/м<sup>3</sup>).

Насыпная плотность органических отходов, в том числе и растительных, имеющих влажность 10–12%, невелика и находится в пределах: в свободном состоянии – 60–120 кг/м<sup>3</sup>, а помещенных в емкость – 180–220 кг/м<sup>3</sup>. Реализация отходов в виде топливных материалов с такими показателями невыгодна как с экономической (их транспортировка) точки зрения, так и с экологической. Поэтому технологически и экономически выгодным решением является использование растительных материалов и их отходов в уплотненной форме (в виде брикетов или пеллет) с повышенной насыпной массой до 600 кг/м<sup>3</sup> и более.

В странах Европы широкое применение также нашли жидкие виды биотоплива для дизельных двигателей автотранспорта – биоэтанол или биобутанол, а также биодизельное топливо. Биоэтанол легко получается из пищевых отходов свеклы, картофеля, а также целлюлозных сельскохозяйственных отходов в виде соломы, лузги семян, стеблей растений и древесной щепы. В США, например, из 1 т соломы (или старого картона) после химической обработки получают 150 л этанола.

Получение биобутанола – более калорийного, менее летучего, агрессивного, а главное, с экономической точки зрения – менее затратного в производстве, чем этанол; в 13,5 раз менее летучего, чем

бензин, то есть более безопасного, получаемого из более дешевых ресурсов – вторичных углеводных материалов, является экономически выгодным и целесообразным.

Показатель экономической эффективности – энергоемкость биобутанола близка к энергоемкости бензина, поэтому может полностью его заменить в топливных элементах. Биобутанол более экономичен, чем смесь бензина и биоэтанола. Он улучшает топливную эффективность автомобилей (повышает пробег на единицу расходного топлива). Россия является крупнейшим производителем и экспортером биобутанола из древесного сырья (разработки Российской корпорации «Биотехнология») [Тигунова, Шульга, Блюм 2013]. За последнее время более 60% этого вида моторного топлива поставлялось РФ на внешний рынок сбыта (с 2007 г. – продажа в Великобританию) [Панцхава 2015].

Сжигание жидкого биотоплива не приводит к нежелательным изменениям в атмосфере (в процессе сгорания выделяется такое же количество углекислого газа, которое потребляется из атмосферы растением для жизнедеятельности), что безусловно является его экологическим преимуществом и важно в контексте устойчивого развития стран. Кроме того, сжигание биотоплива минимизирует поступление в атмосферу вредных выхлопных газов.

Федеральное правительство США предоставляет производителям жидкого биотоплива налоговый кредит до 0,51 долл за 1 галлон (1 амер. гал = 3,785 л; 1 англ. гал = 4,546 л) [Мате 2014]. В ЕС планируется обеспечение дорожного транспорта топливом на четверть за счет эффективных видов биотоплива к 2030 году [Цыганов, Клочков 2012].

Поскольку параметры технологий, в которых происходит образование и накопление органических отходов, имеют определенные различия, невозможно создать и предложить универсальный способ для их получения. Варианты конструкции биогазовых установок зависят от условий среды, наличия доступных и недорогих материалов. Что в конечном итоге также влияет на уровень затрат и стоимость получаемого вида энергии.

В рамках проводимого исследования было выявлено, что для повышения плотности «бросовой органической массы» можно применять различные методы и технологии. Так, с точки зрения экономичности и экологичности, перспективным является производство гранул, брикетов, пеллетов, производимых из органического сырья [Морозов, Морозова, Васильев 2018; Sviekina, Lysytska, Franchuk 2017]. Экономичным с точки зрения производства этот способ получения топливных материалов обеспечивают свойства исходного сырья, а именно то, что в них содержится лигнин, который являет-

ся связующим материалом, и производство брикетов и пеллет не требует дополнительных компонентов.

В ходе сравнительного анализа эколого-экономических характеристик различных энергоносителей были выделены различные экологические и экономические преимущества, представленные в таблице.

Таблица

Сравнительный анализ  
эколого-экономических характеристик энергоносителей

Вид топливного ресурса	Количество выбросов в атмосферу загрязнителей при сгорании топливного ресурса, т/тыс. т					Стоимость ресурса, руб./кВт на ед. <sup>8</sup>
	Углекислый газ	Оксиды азота	Оксид серы	Сажа	Всего	
Природный газ,	1,2	3,5	0,0	0,0	47	0,56–0,75
Каменный уголь	9,6	63,6	9,2	65,3	147,7	1,57–1,76
Дизельное топливо	15,5	29,0	11,2	2,7	58,4	3–4
Древесина (дрова)	4,9	9,4	0,3	4,3	18,9	1,36–1,66
Древесные отходы	5,6	11,4	0,8	13,4	31,3	0,16
Брикеты торфяные	8,04	26,8	3,0	13,02	50,9	1,8–2,0
Брикеты, пеллеты древесные	4,7	9,3	0,3	4,1	17,7	1,9–2,0
Брикеты, пеллеты однолетних растений	3,1	9,5	0,2	1,5	14,3	1,78–1,8
Биогаз	–	–	–	0	< 0,001	0,5–0,6
Биоэтанол (концентрация 70/90%)	–	–	–	0	< 0,001	0,97/1,04

Согласно данным, представленным в таблице, можно отметить, что самым экологичным (по выбросам) и экономичным (по стоимости) топливом является древесина, то есть пеллеты и брикеты. Что подтверждает актуальность и приоритетность исследования различных характеристик отходов и бросовых биоматериалов как потенциально выгодного энергетического сырья.

<sup>8</sup> IRENA (2019), Renewable Energy Statistics 2019, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Анализ технологических свойств гранул, брикетов, пеллетов, имеющих высокую плотность (от 1000 до 1400 кг/куб. м), показал, что они обладают высокой продолжительностью горения и большой теплотворной способностью. Их можно сжигать в каминах, печах, использовать на заводах, в котельных, на железнодорожном транспорте и т. д. То есть они обладают широкими потребительскими свойствами и могут удовлетворять потребности различных сегментов рынка. За счет этого такие материалы (евродрова) получили широкое распространение в Европе, а именно в Австрии, Дании, Норвегии, Германии и т. д., и спрос постоянно увеличивается. По оценкам экспертов, Швеция в ближайшем будущем может полностью перейти на альтернативные виды топлива [Кудряшова, Харлампенков, Захарова 2018]. Среди стран-производителей брикетов и одновременно потребителей можно выделить следующие: США – порядка 2 млн т в год, Япония – 3 тыс. т, Канада – 110 тыс. т, а вот Европа в целом является лидером – 3 млн т в год [Арутюнов, Лисичкин 2017].

Для России в целом топливно-энергетический комплекс – это системообразующая отрасль промышленности, особенно с учетом масштабов производства и добычи газа, нефти и др. полезных ископаемых. Однако в условиях перехода к модели устойчивости возможность получения дополнительных выгод за счет производства альтернативного топлива экономически оправдана и обоснована.

Проведенный анализ позволил выявить, что в условиях имеющих проблем, которые связаны с последствиями использования традиционного топлива (исчерпаемость, высокие цены, экологическая угроза и т. д.), актуальным является поиск новых альтернативных, экологически безопасных заменителей.

Показано, что отходы органического характера, в том числе растительные, которые нежелательно накапливаются, создавая экологические и экономические проблемы, обладают достаточной энергетической емкостью. Кроме того, применение возобновляемых вторичных биоматериалов имеет целый ряд преимущественных комплексных характеристик: экологических (низкий уровень выброса в результате сжигания загрязняющих атмосферу веществ, включая парниковые газы, направления утилизации отходов); технологических (высокая объемная плотность, отсутствие взрывоопасности, стабильность к условиям хранения, минимальная зольность и др.); экономические (низкая стоимость при высокой теплотворности, незначительные затраты на транспортировку).

По мнению специалистов, в области энергетики в ближайшие тридцать лет производство и потребление энергии не перестанет расти. При этом такой рост должен происходить с применением экологически чистых энерготехнологий [Панцхава 2016]. Эти во-

просы постоянно обсуждаются на различных симпозиумах и конференциях. Так, в 2019 году, в рамках Конгресса «Биомасса: топливо и энергия» (Россия), экспертами отмечалось, что именно биотопливо экономически и экологически целесообразно и перспективно как альтернативный источник энергии [Сорокин 2012].

Как отмечалось ранее, по оценке экспертов ООН прогнозируется рост численности населения к 2050 г. до 9,2 млрд чел. В случае увеличения и потребления моторного топлива и природного газа на душу населения до уровня Евросоюза за год необходимо будет добывать 18,3 млрд т нефти (то есть 16% от разведанных запасов), а природного газа – до 12 трлн м<sup>3</sup> (6,7% от разведанных запасов). При этом нефти хватит на 6–10 лет, а газа – на 15–20 лет.

В этой связи для мировой экономики и энергетики применение нетрадиционного сырья на основе вторичных биоматериалов растительного происхождения является актуальным и перспективным благодаря следующим факторам:

- приведенные экспериментальные данные химического состава и энергетических характеристик вторичных растительных биоматериалов свидетельствуют о рациональности их использования для производства различных видов энергоресурсов (твдотопливных брикетов, гранул; жидкого биотоплива: биогаза, биобутанола, биоэтанола);
- комплексный подход, основанный на оптимальном сочетании эколого-экономических задач и технологий даст возможность осуществлять как контроль за уровнем загрязнения окружающей среды, так и позволит принимать определенные технические решения, которые будут снижать затраты и экологические риски;
- осуществление направленной утилизации накапливающихся отходов биомассы;
- снижение количества газообразных выбросов, загрязняющих атмосферный воздух и представляющих экологическую опасность для живых организмов и природы в целом;
- получение дополнительных экономических эффектов за счет снижения затрат на производство и использование материалов биотоплива.

В целом вероятно в ближайшее время может не произойти полного замещения традиционных видов топлива на альтернативные источники, но оптимальное их сочетание позволит получать как положительные экологические, так и экономические результаты. Безусловно использование вторичных биотопливных материалов требует дальнейших исследований и подбора рациональных технологических параметров.

*Литература*

---

- Арутюнов, Лисичкин 2017 – *Арутюнов В.С., Лисичкин Г.В.* Энергетические ресурсы XXI столетия: проблемы и прогнозы. Могут ли возобновляемые источники энергии заменить ископаемое топливо? // Успехи химии. 2017. Т. 86. № 8. С. 777–804.
- Бобылев 2017 – *Бобылев С.Н.* Устойчивое развитие в интересах будущих поколений: экономические приоритеты // Мир новой экономики. 2017. № 3. С. 90–96.
- Василов 2007 – *Василов Р.Г.* Перспективы развития производства биотоплива в России. Сообщение 2: биоэтанол // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. 2007. Т. 3. № 2. С. 50–60.
- Кудряшова, Харлампенков, Захарова 2018 – *Кудряшова И.А., Харлампенков Е.И., Захарова Н.В.* Эколого-экономические аспекты производства винилхлорида на основе использования сырьевых ресурсов коксохимического предприятия // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 11. С. 914–919.
- Любушин, Бабичева, Коньшев 2017 – *Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Коньшков А.С.* Устойчивое развитие: оценка, анализ, прогнозирование // Экономический анализ: теория и практика. 2017. Т. 16. № 12. С. 2392–2406.
- Мате 2014 – *Мате Л.* Биоэнергетика: FSC и новые рыночные возможности // Устойчивое лесопользование. 2014. № 2 (39). С. 18–22.
- Морозов, Морозова, Васильев 2018 – *Морозов Д.К., Морозова И.В., Васильев С.Б.* Использование мягких отходов лесопиления с целью производства топливных брикетов // Resources and Technology. 2018. № 15 (3). С. 1–28.
- Панцхава 2015 – *Панцхава Е.С.* Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз. Теория и практика: Монография. М.: Русайнс, 2015. 972 с.
- Панцхава 2016 – *Панцхава Е.С.* Электростанции на биотопливе. М.: Русайнс, 2016. 340 с.
- Севастьянова 2009 – *Севастьянова С.Н.* Биоэнергетика. Древесные (топливные) гранулы // Вестник ОГУ. 2009. № 10 (104). С. 133–138.
- Сопилко, Орлова, Лисицкая 2017 – *Сопилко Н.Ю., Орлова А.Ф., Лисицкая С.М.* Теоретические основы экономики устойчивого развития. М.: РУДН, 2017. 165 с.
- Сорокин 2012 – *Сорокин Д.И.* Анализ и тенденции биотопливного рынка США: биоэтанол и биодизель // Инновации и инвестиции. 2012. № 4. С. 165–168.
- Сушкова, Воробьева 2008 – *Сушкова В.И., Воробьева Г.И.* Безотходная конверсия растительного сырья в биологически активные вещества. М.: Дели принт, 2008. 216 с.
- Тигунова, Шульга, Блюм 2013 – *Тигунова Е.А., Шульга С.М., Блюм Я.Б.* Альтернативный вид топлива – биобутанол // Цитология и генетика. 2013. Т. 47. № 6. С. 51–66.
- Хоруженко, Дорогов 2017 – *Хоруженко Е.С., Дорогов В.К.* Развитие рынка биотоплива в мире // Инновационная экономика: Материалы IV Междунар. науч. конф. Казань: Бук, 2017. С. 27–31.
- Цыганов, Клочков 2012 – *Цыганов А.Р., Клочков А.В.* Биоэнергетика: энергетические возможности биомассы. Минск: Беларус. навука, 2012. 143 с.
- Myasnikova et al. 2019 – *Myasnikova O.Yu., Lysytska S.M., Migaleva T. E., Bondarchuk N.V. and Vetrova E.A.* Ecological-and-economic approach to the use of recycled bio-

- materials as an energy resource // *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2019. № 9 (6). P. 234–241.
- Myasnikova, Shcherbakova, Lysytska, Shamsheev, Spitsyna, Kubasova 2019 – *Myasnikova O.Yu., Shcherbakova N.S., Lysytska S.M., Shamsheev S.V., Spitsyna T.A., Kubasova E.I.* Ecological approach in managing the technology of oil refineries // *International journal of energy economics and policy*. 2019. Vol. 9. no. 3. pp. 165–171.
- Sviekina, Lysytska, Franchuk 2017 – *Sviekina O., Lysytska S., Franchuk V.* Energy-saturated materials based on technological biomaterials // *Advanced Engineering Forum*. Switzerland: Trans Tech Publications. 2017. № 25. P. 80–87.

## References

---

- Arutyunov, V.S., and Lisichkin, G.V. (2017), “Energy resources of the 21<sup>st</sup> century. Issues and forecasts. Can renewable energy sources replace fossil fuels?”, *Uspekhi khimii*, vol. 86. no. 8, pp. 777–804.
- Bobylev, S.N. (2017), “Sustainable development for future generations. Economic priorities”, *The world of new economy*, no. 3, pp. 90–96.
- Khoruzhenko, E.S., and Dorogov, V.K. (2017), “Development of the biofuel market in the world”, *Innovatsionnaya ekonomika: Materialy IV Mezhdunarodnoi. Nauchnoi konferentsii*, Buk, Kazan, Russia, pp. 27–31.
- Kudryashova, I.A., Kharlampenkov, E.I., and Zakharova, N.V. (2018), “Ecological and economic aspects of the vinyl chloride production based on the use of raw materials of a coke-chemical enterprise”, *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenii, Chernaya metallurgiya*, Vol. 61, no. 11, pp. 914–919.
- Lyubushin, N.P., Babicheva, N.E., and Konyshkov, A.S., (2017), “Sustainable development. Evaluation, analysis, forecasting”, *Economic Analysis: Theory and Practice*, Vol. 16, no. 12, pp. 2392–2406.
- Mate, L. (2014), “Bioenergy: FSC and New Market Opportunities”, *Sustainable forest management*, no. 2 (39), pp. 18–22.
- Morozov, D.K., Morozova, I.V., and Vasil'ev, S.B. (2018), “The use of the soft sawmill waste for the production of fuel briquettes”, *Resources and Technology*, no. 15 (3), pp. 1–28.
- Myasnikova, O.Yu., Lysytska, S.M., Migaleva, T.E., Bondarchuk, N.V. and Vetrova, E.A. (2019), “Ecological-and-economic approach to the use of recycled biomaterials as an energy resource”, *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 9, no. 6, pp. 234–241.
- Myasnikova, O.Yu., Shcherbakova, N.S., Lysytska, S.M., Shamsheev, S.V., Spitsyna, T.A. and Kubasova, E.I. (2019), “Ecological approach in managing the technology of oil refineries”, *International journal of energy economics and policy*, vol. 9, no. 3, pp. 165–171.
- Pantskhava, E.S. (2015), *Bioenergetika. Mir i Rossiya. Biogaz. Teoriya i praktika* [Bioenergetics. The world and Russia. Biogas. Theory and practice], Moscow, Russia.
- Pantskhava, E.S. (2016), *Elektrostantsii na biotoplive* [Biofuel power plants], Ruscans, Moscow, Russia.

- Sevast'yanova, S.N. (2009), "Bioenergetics. Wood (fuel) pellets", *Vestnik OGU*, no. 10 (104), pp. 133–138.
- Sopilko, N.Yu., Orlova, A.F., and Lisickaya, S.M. (2017), *Teoreticheskie osnovy ekonomiki ustoichivogo razvitiya* [Theoretical foundations of the sustainable development economics], RUDN, Moscow, Russia.
- Sorokin, D.I., (2012), "Analysis and trends of the US biofuel market. Bioethanol and biodiesel]", *Imovactsii i investitsii*, no. 4, pp. 165–168.
- Sushkova, V.I. and Vorob'eva, G.I. (2008), *Bezotkhodnaya konversiya rastitel'nogo syr'ya v biologicheski aktivnye veshchestva* [Waste-free conversion of the plant raw materials into biologically active substances], Deli print, Moscow, Russia.
- Svietkina, O., Lysytska, S. and Franchuk, V. (2017), "Energy-saturated materials based on technological biomaterials", *Advanced Engineering Forum*, Trans Tech Publications, Switzerland, no. 25, pp. 80–87.
- Tigunova, E.A. Shulga, S.M. and Blume, Ya.B. (2013), "Biobutanol as an alternative type of fuel", *Cytology and Genetics*, vol. 47, no. 6, pp. 51–66.
- Tsyganov, A.R. and Klochkov, A.V. (2012), *Bioenergetika: energeticheskie vozmozhnosti biomassy* [Bioenergy: The energy potential of biomass], Navuka, Minsk, Belarus.
- Vasilov, R.G. (2007), "Perspectives of the biofuel production development in Russia. The report 2. Bioethanol", *Bulletin of biotechnology and physical and chemical biology*, vol. 3, no 2, pp. 50–60.

### *Информация об авторах*

*Наталья Ю. Сопилко*, кандидат экономических наук, доцент, Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, Россия; 119991, Москва, Ленинский пр., д. 65; sheremett73@gmail.com

*Ольга Ю. Мясникова*, кандидат экономических наук, доцент, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия; 117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; o\_myasnikova@mail.ru

### *Information about the authors*

*Natal'ya Yu. Sopilko*, Cand. of Sci. (Economics), associate professor, Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russia; bld. 65, Leninskii Avenue, Moscow, Russia, 119991; sheremett73@gmail.com

*Ol'ga Yu. Myasnikova*, Cand. of Sci. (Economics), associate professor, Peoples' friendship University of Russia, Moscow, Russia; bld. 6, Miklukho-Maklaim Street., Moscow, Russia, 117198; o\_myasnikova@mail.ru