

DOI: 10.15393/j2.art.2019.4882

УДК 630*865.1:662.6

Обзор

О роли биомассы в повышении топливно-энергетического потенциала регионов

Беляев Сергей Васильевич

кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), sergbel2014@mail.ru

Левина Мария Сергеевна

младший научный сотрудник лаборатории экологического мониторинга и моделирования, Карельский научный центр РАН, (Российская Федерация), marilevine@yandex.ru

Получена: 21 октября 2019 / Принята: 2 декабря 2019 / Опубликовано: 8 декабря 2019

Аннотация: В статье отмечается, что среди возможных альтернатив нефтяным топливам биотоплива, включая щепу, пеллеты, уже широко используются в теплоэнергетике. Топлива из биомассы уже стали надёжным фактором энергоснабжения регионов России и некоторых стран, обладающих большими запасами лесов. Лесная биомасса всё шире используется в качестве источника энергии в Европе и в соответствии с целевыми показателями по увеличению доли возобновляемых источников энергии к 2020 г. (для сокращения выбросов парниковых газов), установленными Европейским союзом. Возможно несколько вариантов использования ресурсов биомассы в энергетике. Биотоплива, полученные по разным технологиям, признаны важным источником энергии, позитивно оказывающим влияние на социально-экономическое развитие отдельных территорий и регионов. Программы и проекты по биоэнергетике эффективно реализуются в странах Европейского союза, Канады и США. Накопленный опыт применения может быть полезен для развития биоэнергетики в Республике Карелия. Рассмотрены основные источники получения биотоплив, анализируются их характеристики, уделяется внимание экологическим свойствам. Делается вывод, что биотоплива первого и второго поколений имеют перспективы для замещения ископаемых топлив и уменьшения выбросов парниковых газов при использовании относительно дешёвых ресурсов биомассы с применением новых передовых технологий.

Ключевые слова: биомасса; биоэнергетика; щепка; пеллеты; биотоплива; технологии Фишера — Тропша.

DOI: 10.15393/j2.art.2019.4882

Review

The role of biomass in increasing the fuel and energy potential of regions

Sergey Belyaev

PhD in engineering, Petrozavodsk State University, (Russian Federation), sergbel2014@mail.ru

Maria Levina²

Junior researcher of the laboratory of environmental monitoring and simulation Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, (Russian Federation), marilevine@yandex.ru

Received: 21 October 2019 / Accepted: 2 December 2019 / Published: 8 December 2019

Abstract: The article notes that biofuel as a possible alternative to oil fuel is already widely used in heat power engineering in many regions of the world. Forest biomass is increasingly being used as an energy source in Europe to increase the targeted share of renewable energy by 2020 and to reduce greenhouse gas emissions. There are several options to use biomass resources in power energy. Biofuel obtained by using various technologies is recognized as an important source of energy, positively influencing the socio-economic development of individual territories and regions. Bioenergy programs and projects are effectively implemented in the European Union, Canada and the United States. The accumulated experience of application can be useful for the development of bioenergy in the Republic of Karelia. The main sources of biofuel production are considered, their characteristics are analyzed and attention is paid to ecological properties. It is concluded that biofuel of the first and second generations has prospects for replacement of oil fuel and reduction of greenhouse gas emissions using relatively cheap biomass resources with the use of new advanced technologies.

Keywords: biomass; bioenergy; wood chips; pellets; biofuel; Fischer-Tropsch technologies

1. Введение

Биомасса — это уникальное природное сырьё. Обычно биомасса — это сырые древесные материалы, которые не были подвержены какому-либо технологическому воздействию: кора, хвоя, листва, хлысты и т. д. Это древесные материалы, получаемые в результате производственной деятельности предприятий лесной, деревоперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, щепы, стружка, древесная пыль и пеллеты. Это может быть и любая неликвидная древесина, которую можно переработать с целью получения целлюлозы, превратить в щепу, брикеты, пеллеты или древесный порошок.

Все эти виды топлив всесторонне изучены, имеют большой опыт применения в разных странах. И даже в XXI в. обычные дрова могут применяться для котельных с достаточной эффективностью, например, в поселениях, удалённых от крупных городов, с высоким уровнем безработицы и наличием местных лесных угодий и других источников.

Благодаря внедрению передовых технологий заготовки и переработки биомассы, открываются новые перспективы её эффективного применения и в энергетике, и в промышленности. В настоящее время древесина и её производные являются широко востребованным видом биомассы.

Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики

Топлива из биомассы уже стали надёжным фактором энергоснабжения многих регионов России и некоторых стран, обладающих большими запасами лесов. Лесная биомасса всё шире используется в качестве источника энергии в Европе и в соответствии с целевыми показателями по увеличению доли возобновляемых источников энергии к 2020 г. (для сокращения выбросов парниковых газов), установленными Европейским союзом. Возможно несколько вариантов использования ресурсов биомассы в энергетике.

В Швеции, в основном, производят пеллеты, гранулы и брикеты. По этой причине котельные на биотопливе предлагаются потребителям с высоким уровнем автоматизации для сжигания однородного древесного топлива. В настоящее время в Швеции топлива из древесины дают более 50 ТВт мощности, в основном в виде тепла, идущего на отопление, но также и электроэнергии [1]. Даже после 30 лет успешного развития биоэнергетики экономика Швеции имеет все возможности для дальнейшего повышения эффективности применения древесного топлива. Лесная биомасса уже обеспечивает треть энергетических потребностей страны и, по прогнозам, её значение будет возрастать и далее. По-прежнему имеются большие объёмы лесной биомассы, которые могут собираться при незначительных или низких затратах с сохранением биоразнообразия и улучшением экологии окружающей среды [1], [6].

Шведская точка зрения заключается в том, что устойчивое лесопользование, оптимальное управление лесными ресурсами могут играть важную роль в переходе к системам возобновляемой энергии с низким воздействием на климат и окружающую среду.

Интенсификация использования лесной биомассы в Швеции сопряжена как с экономическими, так и с экологическими издержками, однако, по сравнению с последствиями постоянного чрезмерного использования невозобновляемых источников энергии и зависимость от импортируемого топлива из других частей мира, эти расходы представляются разумными [15], [16].

В Финляндии стараются использовать низкокачественные лесные и древесные отходы: щепу, кору, опил, верхушки деревьев, деревья от рубок ухода, хвою, торф. В связи с этим выпускаемое промышленное оборудование предназначено для эффективного сгорания этих лесных отходов. В Финляндии правительство поставило цель удвоить ежегодное внутреннее потребление древесной щепы с 5,4 (в 2009 г.) до 13,5 млн м³ к 2020 г., что составляет значительную часть заготавливаемой древесной щепы (16 млн м³ в год) [1], [4].

В условиях России, используя накопленный опыт шведских и финских компаний, возможно развитие обеих вышеобозначенных стратегий биоэнергетики.

Финский опыт в области биоэнергетики хорошо известен специалистам России. Давно изучена модель устойчивого лесопользования. Проведены десятки семинаров по данной тематике. Но реализовать на практике эти принципы что-то мешало. Недавнее выступление президента Segezha Group на эту тему вызывает осторожный оптимизм. Президент отметил, что по лесовосстановлению компания выполняет все требования законодательства России. Но холдинг планирует переходить на финскую модель интенсивного лесопользования, т. к. она является на сегодняшний день наиболее эффективной в мире. Следует отметить, что Финляндия заготавливает 76 млн м³ леса в год. В Карелии, которая по площади незначительно меньше, чем Финляндия, заготавливается 7 млн м³, а в России — около 200 млн м³.

В настоящее время в стране уже сложился рынок производства древесных пеллет и щепы, которые идут и на экспорт. Эволюционным путём складывается и внутренний рынок потребления топливных пеллет. Вероятно, что накопленный опыт в недалекой перспективе может принести большие дивиденды для заинтересованных сторон и для развития биоэнергетики и в Карелии, и в Российской Федерации.

Отметим, что сжигание древесных брикетов и пеллет может производиться на различном оборудовании. Однако максимальная эффективность достигается при использовании котлов и горелок, специально предназначенных для сжигания данного вида биотоплива. Благодаря низкой влажности древесных гранул (около 10 %), они обладают высокой теплотой сгорания.

В Европе более половины котлов на пеллетах имеют среднюю мощность от 0,1 до 1 МВт. Такие котлы можно увидеть в больших частных домах, школах, на небольших предприятиях.

В последнее время топлива из биомассы разной природы становятся приоритетной частью энергетической системы многих стран мира.

При правильном рациональном использовании топлив из древесины не только возможно уменьшить выбросы углекислого газа в атмосферу, но и снизить азотную нагрузку на леса. Биотоплива, полученные по разным технологиям, признаны важным источником энергии, позитивно оказывающим влияние на социально-экономическое развитие отдельных

территорий и регионов. Программы и проекты по биоэнергетике эффективно реализуются в странах Европейского союза, Канады и США.

Так, например, более 10 лет назад в США были приняты важные решения по усилению комплексных научно-исследовательских работ с привлечением научных лабораторий по этой тематике, включая специалистов в области лесной генетики, биологии, лесного хозяйства, энергетики и т. д. [3], [18].

Как следует из отчёта, США обладает большими запасами биомассы, миллионами акров лесов [3], [15]. За последние 100 лет количество лесных угодий в США остаётся относительно стабильным, это около 755 млн акров. Этого удалось добиться благодаря поддержке нескольких спонсируемых правительством программ, что позволило компенсировать потерю больших лесных массивов в начале XX в. Президент США Барак Обама призвал удвоить производство возобновляемой энергии (2009). Была создана межведомственная рабочая группа по биотопливу (биотопливо и сельское хозяйство — Economic Development, 2009), которой поручено разработать первую в стране комплексную программу развития рынка биотоплива; координировать политику в области инфраструктуры, влияющую на поставки, безопасный транспорт и распределение биотоплива; определять новые варианты политики для содействия экологической устойчивости производства биотоплива [3], [18]. Основные цели данной программы:

- Увеличение энергии и количества биопродуктов, получаемых из древесины.
- Оздоровление окружающей среды.
- Обеспечение устойчивого развития возобновляемых источников энергии.
- Укрепление экономики сельских районов.

Леса в США являются устойчивым стратегическим активом в достижении и укреплении энергетической безопасности, создают дополнительные экономические возможности, влияют на качество окружающей среды и повышают конкурентоспособность на мировых рынках. Более 10 лет назад США, в основном, импортировало большое количество нефти, в результате продуманной энергетической политики, поддержки на всех уровнях развития возобновляемых источников энергии (в том числе биоэнергетики) эта страна вошла в первую тройку экспортёров нефти и природного газа, конкурируя с Россией на мировых рынках.

В настоящее время древесные топлива широко представлены в энергетике таких стран, как Индия и Китай [14].

Развитие биоэнергетики в Республике Карелия

В Республике Карелия реализованы несколько проектов в области теплоэнергетики с переводом котельных на торф и щепу. Следует заметить, что велика ещё доля котельных, работающих на угле. В перспективе планируется перевод некоторых из них на биотопливо. Реализуются проекты строительства котельных, работающих на торфе.

Надежды на широкое применение природного газа в Карелии не полностью оправдываются.

Более активное применение природного газа как наиболее удобного энергоносителя по многим критериям становится проблематичным для отдалённых поселений с низкой плотностью населения, безработицей и т. д. Принятая недавно Программа газификации Карелии, похоже, начинает давать сбой. Опыт газификации Олонецкого района, где некоторые потребители были подключены к природному газу, выявил серьёзные проблемы: тарифы на теплоснабжение для населения значительно выросли вопреки ожиданию их снижения. Вместе с тем в ближайшей перспективе газифицировать северные районы Карелии в условиях рыночной экономики становится не рентабельно. Можно отметить две основные причины — это недостаточное финансирование и отсутствие крупных потребителей газа. В связи с этим был остановлен проект по строительству современного завода под г. Петрозаводском по сжижению природного газа. Однако именно сжиженный природный газ, поставляемый из Ленинградской области, может в будущем использоваться при газификации отдельных крупных потребителей природного газа в северных районах республики. Переход на природный газ, безусловно, обеспечивает надёжность теплоснабжения потребителей, но в условиях Карелии и огромной России газификация отдалённых регионов потребует вложения сотен миллиардов рублей, кроме того, это долго окупается. С другой стороны, эти финансовые ресурсы можно было бы направить на укрепление экономики депрессивных поселений и регионов России и Карелии, используя местные источники энергии, в том числе из биомассы. Республика Карелия обладает большими запасами лесных ресурсов, которые можно использовать более эффективно для нужд теплоэнергетики.

Общая площадь земель лесного фонда Республики Карелия составляет 14,5 млн га (81,8 % общей площади республики), из них эксплуатационные леса — 10,05 млн га (69,1 %), защитные — 4,5 млн га (30,9 %). Земли, покрытые лесной растительностью, занимают 9,54 млн га. Лесистость территории республики составляет 52,8 %. Нелесные земли лесного фонда составляют 5,07 млн га (28,1 % территории Республики Карелия), из них 98,5 % приходится на болота, водные поверхности, дороги и просеки [10].

Леса Карелии представлены преимущественно насаждениями из наиболее ценных хвойных пород. Сосняки занимают 63 % земель, покрытых лесной растительностью, ельники — 26 %, березняки — 10 %. Общий запас древесины в лесах республики составляет 997 млн м³. Из общего запаса древостой с преобладанием хвойных пород составляют 872 млн м³. Средний ежегодный прирост древесины 14,4 млн м³. Средний возраст насаждений 73 года [10].

Очевидно, что вполне логичным шагом явилось бы продолжение программы по дополнительным усилиям в развитии и активизации работ в области биоэнергетики, по переводу котельных на биотопливо, используя богатый опыт Финляндии, Швеции, Канады и США. При разумном и рациональном применении топлив, получаемых из биомассы и древесины любой природы, можно повлиять на уменьшение выбросов парниковых газов (двуокси углерода), уменьшить азотное влияние на леса. Более того, топлива из биомассы — это надёжный, и главное, возобновляемый источник энергии, оказывающий позитивное влияние на социально-экономическое развитие удалённых регионов, богатых лесными

ресурсами, даже в передовых, экономически развитых странах. По мере роста интереса к биоэнергетике и поиску оптимальных возможных системных решений в некоторых регионах удалось реализовать эффективно действующие энергетические проекты с использованием местных источников биомассы. В настоящее время многие технологии и процессы доступны для производства биоэнергии — от сжигания дров и до процесса газификации древесной щепы с целью получения топлив для транспорта.

Вместе с тем технологические системы производства энергии необходимо сравнить с точки зрения энергоэффективности процесса и влияния на окружающую среду, затрат на установку, выбросов углерода, трудоёмкости и любых дополнительных вложений. Наконец, оценить следует получаемую прибыль и выгоды. Однако оптимальный выбор технологии для производства энергии будет в значительной степени зависеть от существующей структуры рынка энергоносителей, а не от отдельных оценок технологического цикла производства биотоплива. Однозначно утверждать, что все котельные выгодно перевести на биотоплива, невозможно. В каждом конкретном случае следует тщательно провести анализ комплекса факторов, влияющих на положительный конечный результат, в том числе оценить и все риски при использовании топлива в течение всего жизненного цикла. Более оптимистичный сценарий эффективного использования древесных отходов, щепы и т. п. — это перевод котельных лесопильных производств или крупных целлюлозно-бумажных комбинатов с мазута или угля на биотоплива [17], [18], [19].

В последнее время активно обсуждаются предполагаемые преимущества биоэнергетики с точки зрения выбросов углекислого газа. По мнению некоторых экспертов, биоэнергетику можно отнести к возобновляемой и устойчивой при определённых условиях. При использовании биомассы её необходимо собирать и накапливать в больших объёмах, учитывать выделение двуокиси углерода на всех стадиях производства. Также необходимо принимать во внимание затраты на транспортировку и переработку. Эффективность преобразования продукта следует рассматривать вместе с его конечным использованием для ограничения рисков принятых технико-экономических решений.

Уместность выбора различных технологических систем производства биоэнергии необходимо увязывать с экономическими, экологическими и социальными условиями. Не исключено, что принятые решения в значительной степени будут зависеть от национальных и местных условий и обстоятельств. При планировании биоэнергетической стратегии глубокий анализ различных вариантов позволит гарантировать успех также и в долгосрочной перспективе [14], [15], [16].

Использование древесины для приготовления пищи и отопления так же старо, как сама цивилизация. Эффективность этого источника энергии варьируется в зависимости от технологии производства и применения. Открытое горение позволяет получить только около 5 % потенциальной энергии. Традиционные печи увеличивают эту эффективность примерно до 35—37 %, а применение древесного угля в качестве источника тепловой энергии обеспечивает КПД системы от 40 до 70 %, в зависимости от конструкции печи и метода

производства топлива. Современный котёл, работающий на древесных пеллетах, при использовании в жилых помещениях достигает эффективности (КПД) до 80 %. Такие котлы, использующие самые передовые технологии для получения тепловой энергии, стали привлекательным вариантом для некоторых потребителей. Древесные пеллеты первоначально производятся из древесных отходов (таких как опилки и стружка), и поэтому их можно рассматривать как интегрированную часть лесного производства биопродукта. Современные пеллетные котлы являются наиболее эффективным инструментом для производства биоэнергии в малых масштабах.

В Республике Карелия действует несколько предприятий по производству пеллет: ООО «Сведвуд Карелия», ООО «Сетлес», ООО «Биогран», ООО «Карелия Профиль». Планируется к запуску производство пеллет в ЗАО «Запкареллес», ООО «Костомукшская строительная компания», ЗАО «Соломенский лесозавод». Эти предприятия могут полностью удовлетворить планируемый спрос на пеллеты в республике.

По сравнению с 2009 г. удельный вес использования местных видов биотоплива несколько вырос, но в первую очередь это коснулось топливных дров. Общее количество котельных за 2012 г. составило 421 единицу установленной мощностью 4 056,8 Гкал/ч., из них до 2 МВт — 248 единиц, свыше 2 МВт — 173 единицы. Количество котельных, работающих на топливных дровах — около 120, на щепе, — около 20 единиц [10].

В рамках реализации основных направлений действующей «Региональной стратегии развития топливной отрасли Республики Карелия на основе местных источников энергии на 2011—2020 гг.» на ближайшую перспективу были уточнены комплексы мероприятий:

- повышение объёма добычи торфа на основе модернизации торфяных болот и эффективности промышленной его добычи;
- производство топливной щепы в большем объёме при использовании мобильных рубительных машин;
- полное замещение торфом (щепой) ископаемых топлив (уголь, мазут, дизельное топливо) за счёт реконструкции источников теплоснабжения (котельных);
- совместное сжигание каменного угля и торфа (в пропорции 80/20 %) на базе штатных котельных.

В настоящее время используется и разрабатывается ряд технологий для промышленного производства биоэнергии. Они включают энергетические котлы для тепла, системы рекуперации, комбинированную теплоэнергетику (ТЭЦ) для производства как тепловой энергии, так и электроэнергии, а также применение газогенератора с целью накопления в газгольдерах газа для дальнейшего его применения в энергоустановках. Могут быть добавлены паротурбинные силовые котлы, предназначенные для работы преимущественно с корой и другими отходами лесопильных предприятий. Энергетические котлы могут вырабатывать пар для удовлетворения технологических требований, который может быть использован для выработки электроэнергии, используя паровые турбины. КПД паротурбинного энергетического котла обычно составляет около 40 %.

Эффективность углерода древесины на основе комбинированного производства тепла и электроэнергии в целом высокая по отношению к невозобновляемым источникам энергии и большинству других видов биотоплива.

Комбинированный цикл комплексной газификации (ТЭЦ) может повысить эффективность примерно до 47 %, а теоретически — даже до 70 или 80 %. Однако сохраняются значительные технические препятствия.

Технология газификации была предложена в качестве средства для энергоснабжения небольших деревень и малых предприятий. Представленная технология относительно не дорогая, доступная, техническое обслуживание и ремонт могут быть выполнены на месте [2], [3].

Известно, что хотя газификация биомассы обеспечивает получение более дешёвой энергии, чем дизельные генераторы, но устойчивое надёжное снабжение древесиной в некоторых случаях может быть основным препятствием и барьером в реализации этой технологии.

Биомасса является не только ценным сырьём для использования в теплоэнергетике, но и вызывает высокий интерес как энергоноситель для транспортных средств [1], [8], [9]. Биотоплива для двигателей автотракторной техники в некоторых регионах нашли широкое применение [4], [5], [6].

Биотоплива включают ряд жидких топлив, получаемых из биомассы [7], [11], [12], [13]. «Первое поколение» биотоплива (биоэтанол) получают из зерновых культур, а биодизель — из масличных культур. Биотопливо второго поколения получают из непродовольственных сельскохозяйственных и лесных культур, состоящих из лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы. Технология для переработки лигнина всё ещё находится в стадии разработки [1], [9].

В последнее время ужесточение экологических требований и к топливам, и к транспорту, а также высокие цены на нефть привели к росту интереса к жидкому биотопливу. Ожидается, что в среднесрочной перспективе будущие технологические достижения повысят конкурентоспособность биотоплив и первого, и второго поколений [1], [5], [6], [7], [8]. В настоящее время многие эксперты в западных странах рассматривают увеличение объёмов производства биотоплив как способ сокращения зависимости от импорта российской нефти и газа, а также сокращения выбросов парниковых газов. С другой стороны, в России достаточно много запущенных земель, которые можно использовать для выращивания культур для биоэнергетики как для собственных нужд, так и для экспорта, повышая свой потенциал на мировых рынках биотоплив.

2. Заключение

Очевидно, что более широкое применение биомассы для теплоснабжения и получения энергоносителей для транспорта позволит значительно повысить синергетический эффект её использования.

Биомасса имеет все предпосылки конкурировать с традиционными источниками энергии (природным газом и нефтью) и в будущем увеличить свою долю в топливно-энергетическом балансе регионов России, обладающих большими биоресурсами, подобно Республике Карелия.

Список литературы

1. *Беляев С. В., Давыдков Г. А.* Проблемы и перспективы получения целлюлозного этанола из биомассы. СПб.: ЛТА, 2010 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ftacademy.ru/science/internet-conference/index.php?c=1&a=67>. (15.08.2019).
2. *Беляев С. В., Давыдков Г. А.* К вопросу газификации биомассы // Леса России в XXI веке: Материалы Шестой международной научно-технической Интернет-конференции. Санкт-Петербург, 2011. СПб.: СПбГЛУ, 2011. С. 236—239 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ftacademy.ru/science/internet-conference/index.php?c=7&a=376>. (07.08.2019).
3. *Беляев С. В., Давыдков Г. А., Перский С. Н.* Газификация биомассы — современное состояние и перспективы развития // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2012. Вып. 9. С. 8—9.
4. *Беляев С. В., Давыдков Г. А., Перский С. Н.* Проблемы и перспективы применения топливного этанола. Деп в ВИНТИ № 216-В2012. 2012.
5. *Беляев С. В., Давыдков Г. А., Перский С. Н.* Биотоплива второго поколения: европейский опыт // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. 2012. Т. 2, № 8 (129). С. 61—64.
6. *Беляев С. В., Давыдков Г. А., Перский С. Н.* Современное состояние и перспективы применения биомассы для получения биотоплив // Актуальные вопросы науки и техники. Нижний Новгород: ООО «Ареал», 2015. С. 61—63.
7. *Давыдков Г. А., Беляев С. В.* Этанол как моторное топливо // Автомобильная промышленность. М.: Машиностроение, 2011. № 4. С. 26—28.
8. Интернет-ресурс: <http://altfuel.com>. (10.08.2019).
9. О проблемах производства биотоплива в мире // БИКИ. 2005. 21 июля. № 8118872. С. 12—14.
10. Стратегия теплоснабжения Республики Карелия на основе местных видов биотоплива до 2020 года, Республика Карелия. Петрозаводск, 2014.
11. Biofuels for Sustainable Transportation. URL: <http://www.IEA.org>. (10.08.2019).
12. Biofuels for Transport. URL: <http://www.IEA.org/books>. (10.08.2019).
13. Biofuels in the European Union a vision for 2030 and beyond. Final draft report of the Biofuels Research Advisory Council . 2006. 31 p.
14. *Broadhead J. S., Bahdon J. & Whiteman A.* Past trends and future prospects for the utilisation of wood for energy // Global Forest Products Outlook Study Working Paper. 2001. No. 5. FAO, Rome.
15. Economic and technological potential of forest bioenergy and the conditions for development. Rolf Björheden Skogforsk, the Forestry Research Institute of Sweden Proceedings of the

Workshop W6.1 Forest bioenergy and soil sustainability at EUROSIL Congress 2nd July to 6th July 2012. Bari, Italy.

16. Forests and energy. Key issues FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Rome, 2008. 154 p.
17. Forest land sustainability and second generation biofuels. Informal meeting of Environmental ministers. Ljubljana. 11—13.04.2008.
18. Forest service research and development bioenergy and biobased products strategic direction 2009—2014. United States Department of Agriculture Forest Service FS-940. March 2010.
19. Technology state-of-the-art. Philippe Girard, Abigail Fallot, Fabien Dauriac. Forest Department of CIRAD. 2002. 55 p.

References

1. *Belyaev S. V., Davydkov G. A.* Problems and prospects of obtaining cellulosic ethanol from biomass. St. Petersburg: LTA, 2010 [Electronic resource]. URL: <http://www.ftacademy.ru/science/internet-conference/index.php?c=1&a=67>. (15.08.2019). (In Russ.)
2. *Belyaev S. V., Davydkov G. A.* On the issue of biomass gasification // Forests of Russia in the 21st century. Materials of the 6th international scientific and technical Internet conference. St. Petersburg, 2011. St. Petersburg: SPBGLU, 2011. S. 236—239 [Electronic resource]. URL: <http://www.ftacademy.ru/science/internet-conference/index.php?c=7&a=376>. (07.08.2019). (In Russ.)
3. *Belyaev S. V., Davydkov G. A., Perskij S. N.* Gasification of biomass — current status and development prospects // Resources and Technology. Petrozavodsk: PetrSU, 2012. Vol. 9. P. 8—9. (In Russ.)
4. *Belyaev S. V., Davydkov G. A., Perskij S. N.* Problems and prospects of using fuel ethanol. DEP in VINITI No. 216-B 2012. 2012. 12 p. (In Russ.)
5. *Belyaev S. V., Davydkov G. A., Perskij S. N.* Second generation biofuels: European experience // Proceedings of Petrozavodsk State University. 2012. Vol. 2, No. 8 (129). P. 61—64. (In Russ.)
6. *Belyaev S. V., Davydkov G. A., Perskij S. N.* Current status and prospects of using biomass for biofuels // Actual issues of science and technology. Nizhniy Novgorod: OOO «Areal», 2015. P. 61—63. (In Russ.)
7. *Davydkov G. A., Belyaev S. V.* Ethanol as a motor fuel // Automotive industry. Moscow: Mashinostroenie, 2011. № 4. P. 26—28. (In Russ.)
8. Internet-resource: <http://altfuel.com>. (10.08.2019).
9. On the problems of fuel production in the world // BIKI. 2005. July 21. No. 8118872. P. 12—14.
10. The heat supply strategy of the Republic of Karelia based on local types of biofuels until 2020. Republic of Karelia, 2014. (In Russ.)
11. Biofuels for Sustainable Transportation. URL: <http://www.IEA.org>. (10.08.2019).
12. Biofuels for Transport. URL: <http://www.IEA.org/books>. (10.08.2019).
13. Biofuels in the European Union a vision for 2030 and beyond. Final draft report of the Biofuels Research Advisory Council. 2006. 31 p.
14. *Broadhead J. S., Bahdon J. & Whiteman A.* Past trends and future prospects for the utilisation of wood for energy // Global Forest Products Outlook Study Working Paper. 2001. No. 5. FAO, Rome.
15. Economic and technological potential of forest bioenergy and the conditions for development. Rolf Björheden Skogforsk, the Forestry Research Institute of Sweden Proceedings of the Workshop W6.1 Forest bioenergy and soil sustainability at EUROSIL Congress 2nd July to 6th July 2012. Bari, Italy.

16. Forests and energy. Key issues FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Rome, 2008. 154 p.
17. Forest land sustainability and second generation biofuels. Informal meeting of Environmental ministers. Ljubljana. 11—13.04.2008.
18. Forest service research and development bioenergy and biobased products strategic direction 2009—2014. United States Department of Agriculture Forest Service FS-940. March 2010.
19. Technology state-of-the-art. Philippe Girard, Abigail Fallot, Fabien Dauriac. Forest Department of CIRAD. 2002. 55 p.

© Беляев С. В., Левина М. С., 2019