

ОЦЕНКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В КОНТЕКСТЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Елена Сергеевна ВОЛКОВА^{а*}, Мария Алексеевна МЕЛЬНИК^б, Татьяна Шавловна ФУЗЕЛЛА^с

^а кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории самоорганизации геосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Российская Федерация
elevolko@yandex.ru

^б кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории самоорганизации геосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Российская Федерация
melnik-m-a@yandex.ru

^с кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории самоорганизации геосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Российская Федерация
fts10@yandex.ru

* Ответственный автор

История статьи:

Принята 21.06.2015

Одобрена 04.08.2015

УДК 330.15:504.062.2

JEL: Q42, R11

Ключевые слова: биоэнергия, устойчивое развитие, энергетическая безопасность, энергоэффективность

Аннотация

Тема. В статье представлены опыт проведения анализа и алгоритм количественной оценки запасов альтернативных биоэнергетических ресурсов с позиции повышения энергоэффективности региона в соответствии с основополагающими принципами концепции устойчивого развития.

Цели и задачи. Основная цель работы заключается в определении степени возможности включения в региональную энергетическую систему альтернативных биоресурсов для устойчивого развития и обеспечения энергетической безопасности на примере энергодотационного субъекта РФ – Томской области. В ходе работы решались следующие задачи: изучение мирового опыта внедрения в хозяйственную практику возобновляемых ресурсов; оценка потенциальной энергии от разных видов альтернативных биоэнергоресурсов с помощью предлагаемых авторами методик; анализ плотности пространственного распределения биоэнергетических источников по территории Томской области с позиции целесообразности их использования.

Методология. Оценка плотности пространственного распределения биоэнергетических источников с учетом их экономической рентабельности и доли участия в диверсификации энергопотребления в народном хозяйстве на примере модельного региона проведена с использованием балансового, расчетно-статистического методов анализа, с применением ГИС-технологий (программный продукт ArcGis 10.2).

Результаты. Предлагаемая методика позволила проранжировать территорию исследуемого региона по степени обеспеченности биоэнергетическим потенциалом, обозначить перспективы развития биоэнергетических возобновляемых ресурсов, расширить диапазон и эффективность использования вовлекаемых в оборот возобновляемых, малоиспользуемых и неиспользуемых природных биоэнергоресурсов. Проанализирована целесообразность внедрения альтернативных источников в структуру энергопотребления Томской области.

Выводы и значимость. Обоснованы выводы о необходимости всесторонней количественной оценки и внедрения в практическое использование биоэнергоресурсов для поддержания дальнейшего устойчивого развития экономики региона. Предложены научно-практические рекомендации по диверсификации современной структуры энергопотребления в Томской области с использованием современных биоэнергетических технологий.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2015

Введение

Устойчивая экономика страны базируется на приоритетном развитии ее энергетического сектора. В России исторически сложилось так,

что традиционная энергетика отдает предпочтение строительству крупных энергетических систем, работающих, как правило, на углеводородном сырье либо на гидроэнергии. Это объясняется

Рисунок 1

Структурная схема основных видов возобновляемых источников энергии



Примечание. ТБО – твердые бытовые отходы; ОСВ – осадки сточных вод; ЛПК – лесопромышленный комплекс.

Источник: Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии и местным видам топлива (показатели по территориям). М.: ИАЦ «Энергия», 2007. 272 с.

большими запасами традиционных энергоносителей и их доступностью. Однако сооружение таких энергетических объектов требует больших капитальных вложений, а зона их обслуживания для отдаленных территорий существенно ограничена.

Проблема истощения запасов углеводородного сырья наряду с проблемами технологического старения энергооборудования и инфраструктурной труднодоступностью тепло- и энергосетей для отдаленных потребителей во многих регионах РФ диктуют необходимость поиска альтернативных вариантов развития энергетического сектора экономики. Одним из перспективных направлений в решении данной задачи является более активное использование таких источников энергии, скорость возобновления которых позволяет эксплуатировать их в непрерывном режиме на долгосрочной основе.

Возобновляемые ресурсы, в зависимости от характера использования, принято делить на *традиционные* и *альтернативные* (рис. 1). Альтернативные возобновляемые источники функционируют не на длительном традиционном способе использования (как, например, дрова, торф, гидроэнергия и т.д.), их применение основано на более современных технологиях, они имеют достаточно высокую экономичность и низкий риск воздействия на окружающую среду. Можно выделить несколько основных видов возобновляемых альтернативных источников: солнечная и ветровая энергия, энергия

земных недр, энергия океана, биоэнергоресурсы. Последние представляют собой биомассу растительного или животного происхождения, которую с помощью определенных технологий можно использовать в качестве энергоносителей. Общемировые запасы биомассы эквивалентны 1,0–1,2 млрд т нефти¹.

Часть биоэнергоресурсов составляет традиционную группу. К основным альтернативным источникам биомассы принято относить: отходы сельского хозяйства, т.е. отходы животноводства и растениеводства, твердые бытовые отходы коммунального хозяйства (ТБО), жидкие бытовые отходы или осадки сточных вод (ОСВ), отходы лесопромышленных комплексов (ЛПК), отходы пивоварен, бумажных и текстильных производств и т.п. Топливо из биомассы может использоваться как для получения тепловой энергии, так и для выработки электричества посредством переработки в современных устройствах – от стационарных котлов до мощных электростанций, работающих на газовых турбинах.

Основные недостатки применения альтернативных источников, заключающиеся в низкой плотности и неравномерном территориальном распределении, трудности использования их в энергосистемах в качестве заменяющих энергообъектов и высокие экономические издержки (даже с учетом отсутствия

¹ Говорушко С.М. Природа и человек: атлас. М.: Дрофа, ДИК, 2009. 96 с.

затрат на топливо) на данном этапе социально-экономического развития не дают им в полной мере конкурировать с традиционными. Но у них есть два несомненных преимущества: удобство работы в индивидуальном автоматическом режиме и возможность локального использования в труднодоступных районах. Дополнительный плюс состоит еще и в том, что производство электроэнергии из биомассы считается наиболее экологически безопасной отраслью энергетики².

Во многих странах получение тепловой и даже электрической энергии ведется на разных видах биотоплива, в том числе на отходах лесозаготовки и лесопереработки. По данным, приведенным в *Renewables 2010 Global Status Report*, в более чем 80 странах проводится политика стимулирования использования *возобновляемых источников энергии* (ВИЭ). Уже сейчас в Норвегии, Канаде, Финляндии доля энергии, получаемой из биомассы, составляет от 4 до 10% от общего объема энергии. Австрия и Италия сосредотачивают свои усилия на строительстве тепловых станций мощностью до 10 МВт, использующих в качестве топлива отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности.

По данным зарубежных экспертов, при использовании в качестве топлива биомассы можно покрыть 6–10% от общего количества энергетических потребностей промышленно развитых стран³. Естественно, что Россия не осталась в стороне от общей тенденции. В последние годы происходят некоторые сдвиги в сторону ориентации энергетического сектора на ВИЭ, что согласуется с основными принципами концепции устойчивого развития, предусматривающими, что развитие общественно-экономических структур не должно выходить за границы экологической емкости биосферы. Общая суть подобного рода определений у ученых, занимающихся проблемами устойчивого развития, сводится к такому прогрессивному развитию в рамках ограниченной емкости биосферы, которое не ведет к катастрофическому истощению ресурсов и обеспечивает равные возможности и условия развития человечества с позиции научного мировоззрения [1–3].

В области энергетики использование ВИЭ создает благоприятные условия для такого развития, поскольку природно-ресурсный базис региона

² Говорушко С.М. *Природа и человек: атлас*. М.: Дрофа, ДИК, 2009. 96 с.

³ *Renewables 2012/ Global Status Report*. 172 p. URL: <http://www.map.ren21.net/GSR/GSR2012.pdf>.

при данном векторе постоянно остается в естественных границах и обеспечивает дальнейшую жизнедеятельность общества.

Важным условием устойчивого развития экономики страны является ее энергетическая безопасность. По мнению П.В. Шестопалова, энергетическая безопасность представляет собой «способность топливно-энергетического комплекса страны на основе эффективного использования внутренних и внешних ресурсов обеспечить устойчивое развитие экономики страны, надежное энергоснабжение субъектов хозяйственной деятельности и населения в настоящее время и на перспективу...» [4, с. 201]. Одной из перспективных задач энергетической политики России является расширение использования местных топливно-энергетических ресурсов, включая нетрадиционные источники энергии. Региональная энергетическая политика предполагает учет территориальных различий структуры топливно-энергетического баланса, исходя из исторических традиций и особенностей природных, экономических и социальных условий.

Проблематика данного исследования особенно актуальна для территорий со сложными природно-климатическими условиями и таких, которые в значительной мере зависят от внешних энергоносителей. Как правило, это отдаленные сельские местности, попадающие в зону децентрализованного теплоэнергоснабжения. Учитывая, что более 65% территории России в настоящее время относится к такой зоне, причем здесь проживают более 15 млн россиян, проблема поиска и внедрения в практическую сферу альтернативных источников представляется очень важной народнохозяйственной задачей⁴.

Многие регионы России заняты поиском возможных вариантов перехода к политике энергосбережения. Томская область входит в их число и показывает пример активного внедрения ВИЭ. Томская область относится к категории субъектов РФ, где собственных источников энергии недостаточно, несмотря на добычу местного углеводородного сырья. Областные электрические сети осуществляют транзитные поставки электроэнергии для местного потребителя от внешних источников; почти 80% электроэнергии закупается на федеральном рынке.

⁴ Децентрализованное энергоснабжение, или как повысить уровень жизни на селе. URL: <http://www.solar-tlt.ru/articles/192-detsentralizovannoe-energосnabzhenie.html>.

К децентрализованной зоне относится 30% территории Томской области, где энергоснабжение осуществляется от дизельных электростанций. Основные недостатки работы этих станций состоят в их технологическом износе и высокой стоимости доставки для них горючего. Поскольку для таких отдаленных территорий экономически нерентабельно развивать централизованную сеть энергоснабжения, то основными путями повышения энергоэффективности являются использование энергоустановок, работающих на природных ВИЭ [5]. Органами государственной власти Томской области отмечается, что приоритет при реконструкции и внедрении новых локальных теплоустановок будет отдаваться именно таким источникам⁵.

Томскими учеными к настоящему времени на местном региональном уровне были сделаны расчеты природно-ресурсного потенциала по основным энергетическим характеристикам. В результате анализа оценены сезонные и региональные особенности энергопотенциала и выделены районы его перспективного использования⁶ [5, 6]. Специалисты Томского центра ресурсосбережения и энергоэффективности, сотрудники Томского политехнического университета и другие эксперты провели большую работу по оценке потенциала ВИЭ области и пришли к выводу, что их использование во многих районах технически возможно и экономически целесообразно [6].

Особого внимания в ряду альтернативных ВИЭ на территории Томской области заслуживают биоресурсы. Целесообразность развития биоэнергетики обусловлена природным и социально-экономическим потенциалом региона. С одной стороны, имеются значительные запасы биомассы. Антропогенный поток, формирующий «вторичный рынок» биоэнергоресурсов, представлен твердыми бытовыми отходами, отходами осадков сточных вод, отходами лесозаготовки и лесопереработки, а также животноводства и растениеводства. Эти отходы представляют собой вид топлива, который, в отличие от ископаемого, постоянно возобновляется. С другой стороны, как уже отмечалось, в регионе имеется насущная необходимость в дополнительных и независимых источниках теплоэнергоснабжения.

Методика, на которой базируется эта оценка, подразумевает следующий алгоритм:

⁵ Перспективы использования ВИЭ в Томской области. URL: <http://nacep.ru/novosti-energetiki/alternativnaya-energetika>.

⁶ Перспективы использования ВИЭ в Томской области. URL: <http://nacep.ru/novosti-energetiki/alternativnaya-energetika>.

1) расчет удельного валового потенциала энергии биомассы по каждому источнику в разрезе хозяйствующих территориальных единиц;

2) создание базы данных по всем видам возобновляемой энергии⁷ с помощью полнофункционального ГИС-пакета ARCGis 10.2 и визуализация пространственного распределения плотности биоэнергopotенциала по территории Томской области;

3) оценка доли возможного участия альтернативных биоресурсов в общей системе тепло- и энергопотребления;

4) практические рекомендации и мероприятия.

Биоэнергия отходов лесопромышленного комплекса. Томская область, расположенная преимущественно в зоне тайги, обладает большими запасами лесных ресурсов⁸ – лесопокрытая площадь достигает 61%, общий запас древесины оценивается специалистами в 2 820,88 млн м³. Однако в среднем по области доля биоэнергии, получаемая из древесного топлива, не превышает 5%, причем темпы заготовки топливной древесины в последние годы существенно сократились⁹. Говоря об отходах ЛПК, можно отметить, что они почти не вовлечены в хозяйственный оборот. Если отходы лесоперерабатывающей отрасли ЛПК еще как-то используются, то отходы лесозаготовительной деятельности практически не имеют никакого промышленного применения.

Таким образом, высокий древесно-сырьевой потенциал лесов области не является гарантом эффективности использования лесосечных отходов в энергетическом комплексе. Это во многом объясняется неравномерной и слаборазвитой дорожно-транспортной системой, заболоченностью территории, густотой речной сетью и суровыми погодными-климатическими условиями.

Вместе с тем на территории Томской области энергопотенциал лесных ресурсов достаточно высок [7], поэтому использование отходов древесного биотоплива представляется перспективным направлением развития локальной энергетики.

⁷ ГИС-проект «Энергopotенциал возобновляемых ресурсов территории Томской области», поддержанный Грантом РФФИ № 31-05-8060/p_Сибирь_а. ГИС-проект представлен на сайте лаборатории самоорганизации геосистем ИМКЭС СО РАН. URL: geosystema.su.

⁸ Лесной план Томской области. В 3-х кн. / ОАО «Лесинвест»; ИМКЭС СО РАН. Кн. 1. Томск, 2008. 238 с.

⁹ Новый Томский энергетический вектор. URL: <http://esto.tomsk.gov.ru/articles/org/14939>.

Автономные энергоустановки, работающие за счет переработки отходов лесопромышленности, можно устанавливать во многих районах области, поскольку большие объемы отходов создают возможность их более активного использования.

Основная задача, которую необходимо решить для реализации планов энергоэффективности – это обеспечение непрерывного и постоянного потока сырья для производства топлива из отходов ЛПК. На сегодняшний день это реально достижимо только для организаций лесоперерабатывающей отрасли. В области большинство крупных лесоперерабатывающих предприятий уже сейчас производят древесное топливо (щепу, пеллеты, топливные брикеты) из отходов ЛПК. К сожалению, большая доля такой продукции реализуется за пределами области, причем особенно охотно покупают такую продукцию зарубежные партнеры. В области перевод котельных на альтернативный вид биотоплива осуществляется только в рамках пилотных проектов и не носит массового характера. Наглядный пример удовлетворения энергопотребностей локальных потребителей при наличии богатой лесоресурсной базы – школьная котельная, работающая на щепе, расположенная в п. Белый Яр Верхнекетского района. В этом же районе в п. Степановка прорабатывается вопрос строительства когенерационной установки, работающей на древесных отходах, призванной заменить три котельные и одну дизельную электростанцию.

Для улучшения ситуации с переработкой отходов ЛПК важным этапом становится всесторонняя взвешенная оценка их энергopotенциала. Теоретическое значение энергopotенциала рассчитывалось авторами с учетом рабочей удельной объемной теплотворной способности древесины, с использованием данных об объемах отходов ЛПК¹⁰. Для основных лесобразующих пород области величина объемной рабочей удельной теплотворной способности древесины при влажности 15% колеблется от 10,8 до 6,6 ГДж/м³ [8]. Проведенный анализ показал большие перспективы использования биоэнергетического потенциала отходов ЛПК.

В целом по области ежегодный энергopotенциал лесосечных отходов достигает величины 2 556,1 ТДж, по отходам лесопереработки – 2 796,7 ТДж¹¹.

¹⁰ ГИС «Возобновляемые источники энергии Томской области». URL: <http://green.tsu.ru/tomres>.

¹¹ Волкова Е. С. Перспективы использования энергетического потенциала лесных ресурсов в отдаленных и труднодоступных районах Томской области // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014.

При этом общее потребление тепла по области за 2012 г. составило 31 935,4 ТДж¹², т.е. полная переработка отходов ЛПК способна покрыть 16,7% ежегодных потребностей области в тепле. Особенно экономически эффективна такая переработка для отдаленных поселений, если заменить дизельные котельные на газогенераторные, пеллетные и комбинированные котлы. При этом цена на вырабатываемое тепло будет уменьшаться, а новые установки окупятся уже в ближайшие годы.

Повсеместное использование отходов, однако, ограничивается территориальной неоднородностью их распределения. Отходы от лесозаготовительных работ наибольшей величины достигают в Верхнекетском, Первомайском и Асиновском лесничествах. Эти районы характеризуются значительным древесносырьевыми ресурсами и довольно благоприятным транспортно-географическим положением для вывоза древесины (рис. 2). Но, к сожалению, даже в таких выгодных условиях лесосечные отходы почти не используются ввиду отсутствия специального оборудования по их сбору и технологической обработке, и биоэнергетический потенциал лесозаготовки может быть учтен только на перспективу.

Наибольший энергopotенциал отходов лесопереработки имеют Верхнекетский, Томский, Первомайский, Асиновский, Молчановский районы области, где расположены основные центры лесопромышленной деятельности. Именно здесь находятся крупные действующие деревообрабатывающие предприятия области, на которых собираются большие объемы древесных отходов. На многих из них установлено оборудование по производству топливных пеллет.

Таким образом, значительные запасы древесины и отходы лесопромышленного комплекса, имеющиеся в отдаленных и труднодоступных районах области, создают возможности получать дополнительные энергетические ресурсы для экономики региона. Большинство обозначенных проблем по переработке отходов ЛПК свойственны многим субъектам РФ.

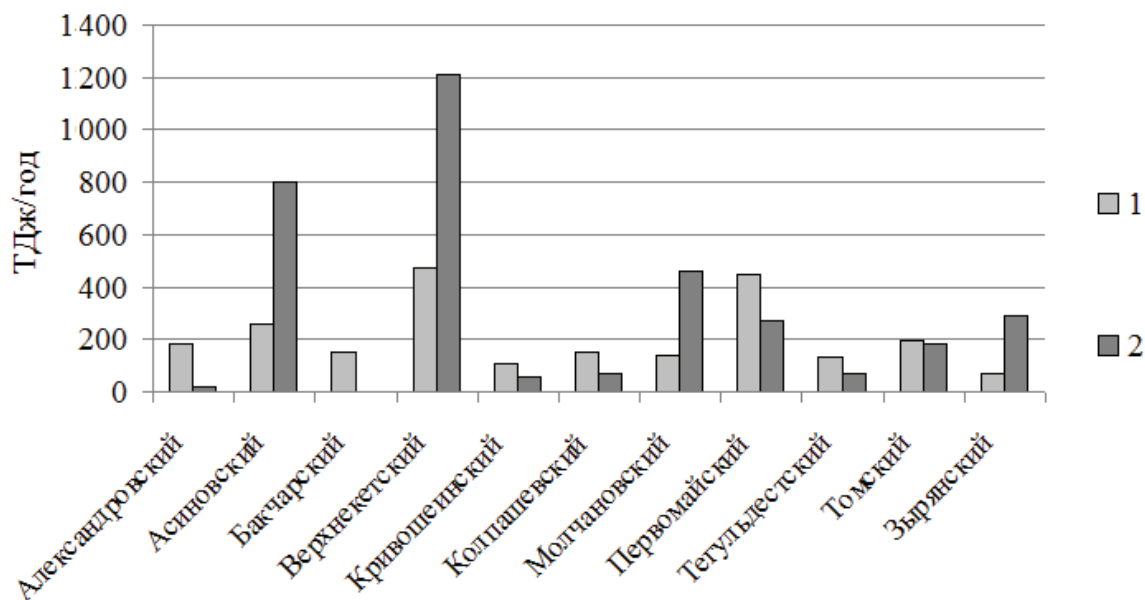
Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью»: сб. мат-лов в 2 т. Т. 2. Новосибирск: СГГА, 2014. С. 327–331.

¹² Схема и программа развития электроэнергетики Томской области на период 2014–2018 гг. Томск: Изд-во Администрации Томской области, 2013. 168 с.

Рисунок 2

Энергетический потенциал отходов лесопромышленного комплекса в рамках административных районов Томской области по объемной теплотворной способности:

1 – энергопотенциал лесосечных отходов; 2 – энергопотенциал отходов лесопереработки



Источник: расчеты проведены авторами с использованием данных: ГИС «Возобновляемые источники энергии Томской области» // Департамент природных ресурсов Томской области. URL: <http://green.tsu.ru/tomres>.

Отходы животноводства и растениеводства как потенциальный источник получения биоэнергии.

Использование другой группы биоэнергоресурсов – отходов животноводства и растениеводства – экономически рентабельно при определенной концентрации поголовья скота и посевных площадей. Так, широкое внедрение крупных биогазовых установок целесообразно для свиноферм с поголовьем более 5 000 голов и для ферм крупного рогатого скота (КРС) с поголовьем более 600 голов. Особенно эффективно получение и использование биогаза на агропромышленных комплексах с возможностью полного экологического цикла производства, т.е. если сельскохозяйственные угодья используются под кормовую и зерновую базы; выпас скота производится на собственных пастбищах; на полях применяются органические удобрения, полученные из части отходов животноводства.

В структуре экономики Томской области доминирует промышленность, а сельское хозяйство развито преимущественно в южных и юго-восточных районах. В области функционируют 97 сельскохозяйственных организаций, 620 крестьянско-фермерских хозяйств и 120 350 личных подсобных хозяйств¹³. Ежегодно образуется около 1,6 млн т органических отходов

¹³ Паспорт агропромышленного комплекса Томской области за 2014 г.

[9]. В основном это отходы животноводства, они формируют существенный потенциал для использования нетрадиционных (альтернативных) источников энергии в целях получения биогаза.

В настоящее время большая часть органических отходов агропромышленного комплекса не утилизируется. Несмотря на то, что отходы животноводства, птицеводства и растениеводства регулярно используются в качестве удобрения, полигоны их временного складирования и обеззараживания являются источниками негативного воздействия на окружающую среду. Внедрение биогазовых установок дает возможность одновременного получения электрической и тепловой энергии, а также позволяет производить значительные объемы высококачественного органического удобрения, при этом сокращая эмиссию метана.

Биоэнергия, получаемая из отходов животноводства (ОЖВ), рассчитывалась по формуле:

$$E_{\text{б.ж}} = \sum_{i=1}^3 N_{\text{к.р.с}i} \cdot m_i \cdot T_{\text{к.р.с}} + N_c \cdot T_c + N_n \cdot T_n,$$

где $E_{\text{б.ж}}$ – энергия биогаза из ОЖВ, млн кВт·ч/год;
 $N_{\text{к.р.с}i}$ – количество голов КРС i -й возрастной группы, гол.;

m_i – поправочный коэффициент для средней нормы получения биогаза от i -й возрастной группы КРС: $m_1 = 1$ (для КРС старше 24 мес.); $m_2 = 0,6$ (для телят 6–24 мес.); $m_3 = 0,25$ (для телят до 6 мес.);

$T_{к.р.с}$ – средняя норма получения энергии биогаза с одной коровы, кВт·ч/гол;

N_c – количество голов свиней, гол.;

T_c – средняя норма получения энергии биогаза с одной свиньи, кВт·ч/гол.;

N_n – поголовье птицы, гол.;

T_n – средняя норма получения энергии биогаза с птицы, кВт·ч/гол.

Принята средняя норма получения энергии (сжигание биогаза): от головы КРС – 3 400 кВт·ч/год, от свиньи – 970 кВт·ч/год, от птицы – 36 кВт·ч/год¹⁴. Энергия биогаза из отходов животноводства авторами оценивалась по административным районам для сельскохозяйственных организаций и фермерских хозяйств Томской области. Из анализа были исключены частные подсобные хозяйства и хозяйства других категорий, где численность поголовья скота недостаточна для эксплуатации биогазовой установки.

Количество энергии, получаемой из биогаза отходов растениеводства, рассчитывалось по формуле:

$$E_{б.р} = V_{б.р} \cdot Q_{б.р},$$

где $E_{б.р}$ – энергия, получаемая из биогаза отходов растениеводства, кВт·ч;

$V_{б.р}$ – объем биогаза из отходов растениеводства, м³;

$Q_{б.р}$ – наименьшая теплота сгорания биогаза из отходов растениеводства, принятая за 19,5 МДж/м³, или 5,4 кВт·ч/м³¹⁵.

Вычисление объема выхода биогаза из соломы для основных зерновых культур, выращиваемых в Томской области (яровая пшеница, озимая рожь, овес), осуществилось по формуле:

$$V_{б.р} = \sum_{i=1}^n M_{с.о.в.i} \cdot T_i = \sum_{i=1}^n M_{с.i} \cdot k_i \cdot T_i = \sum_{i=1}^n M_{з.i} \cdot l_i \cdot k_i \cdot T_i,$$

где $V_{б.р}$ – объем биогаза из отходов растениеводства, м³;

$M_{с.о.в.i}$ – масса сухого органического вещества, содержащаяся в соломе i -й зерновой культуры, кг;

T_i – норма получения биогаза на единицу массы сухого органического вещества i -й зерновой культуры, м³/кг (для яровой пшеницы – 0,24; озимой ржи – 0,25; овса – 0,275) [10];

$M_{с.i}$ – масса соломы i -й зерновой культуры, кг;

k_i – коэффициент содержания сухого органического вещества в 1 кг соломы i -й зерновой культуры (для озимой ржи и овса – 0,8, для яровой пшеницы – 0,82);

$M_{з.i}$ – масса зерна i -й зерновой культуры, кг;

l_i – коэффициент соотношения массы зерна к массе соломы i -й зерновой культуры (для яровой пшеницы и овса – 1,3; для озимой ржи – 1,6)¹⁶;

n – количество зерновых культур, включенных в анализ.

Согласно проведенным расчетам, в среднем по области наибольший потенциал энергии из биогаза приходится на отходы растениеводства (рис. 3). В анализ были включены лишь отходы зерновых культур, поскольку ими занято более 63% посевных площадей области. К тому же содержание сухого органического вещества в соломе значительно выше, чем в отходах других сельскохозяйственных культур, выращиваемых в Томской области. Самое высокое значение биоэнергии из отходов растениеводства приходится на Кожевниковский район – единственный в области район, расположенный в лесостепной зоне с наиболее оптимальными природно-климатическими условиями для ведения земледелия. В этом же районе прослеживаются наибольшие возможности получения биогаза из отходов КРС.

Интересен тот факт, что расчетный потенциал биоэнергии из отходов скотоводства в среднем по области достигает всего 15%, несмотря на то, что основной специализацией агропромышленного комплекса области является именно мясомолочное животноводство. Незначительность показателей объясняется тем, что более 50% всего томского молока производится в личных подсобных хозяйствах, где установка и эксплуатация биогазовых установок нерентабельна. Для наиболее крупных животноводческих комплексов области, специализирующихся на КРС (племзавод «Заварзино»,

¹⁶ Применение соломы зерновых культур на удобрение в Томской области // Рекомендации / ГНУ СибНИИТ СО РАНХН. Департамент социально-экономического развития села Томской области. Томск, 2004. 10 с.

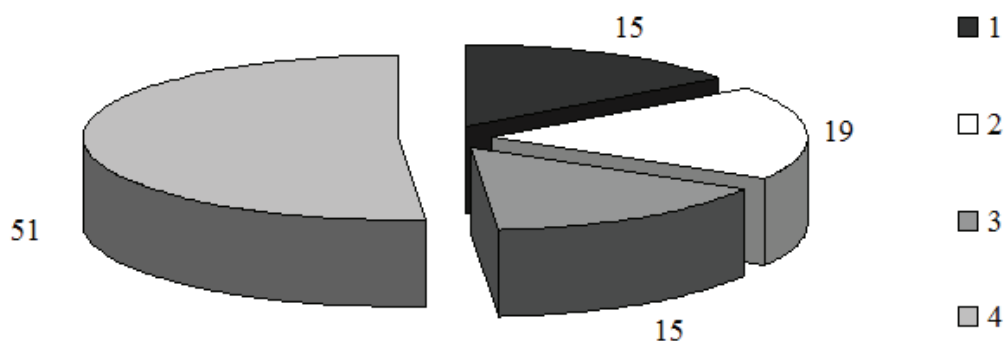
¹⁴ Технологии использования возобновляемых источников энергии // Дистанционный Интернет-курс. URL: <http://www.ecomuseum.kz/dieret/dieret.html>.

¹⁵ Технологии использования возобновляемых источников энергии // Дистанционный Интернет-курс. URL: <http://www.ecomuseum.kz/dieret/dieret.html>.

Рисунок 3

Потенциальная биоэнергия отходов сельского хозяйства Томской области в различных подотраслях, %:

1 – скотоводство; 2 – свиноводство; 3 – птицеводство; 4 – растениеводство



Источник: рассчитано авторами с использованием данных статистического ежегодника Томского Облкомстата за 2012 г. URL: <http://oblstat.tom.ru/default.aspx>.

сельскохозяйственный производственный кооператив «Нелюбино», КФХ «Лебязье», ООО «Вороновское»), при сопоставлении расчетных данных с объемами фактического потребления электроэнергии выявлено, что компенсация энергозатрат за счет биогаза возможна от 60 до 190%, в зависимости от численности поголовья КРС.

Самые крупные сельскохозяйственные организации области, ориентированные на птицеводство и свиноводство (свиноводческий комплекс «Томский», птицефабрики «Томская», «Инская», «Межениновская птицефабрика» и др.), расположены в наиболее промышленно развитом Томском районе, что и обуславливает здесь самый высокий по области потенциал сельскохозяйственных биоэнергетических ресурсов. Доля энергии, которую можно получить из отходов свиноводства, в общей потенциальной энергии биогаза из отходов сельского хозяйства в Томском районе составила 43%, а из отходов птицеводства – 35% (рис. 4).

Для примера расчета возможного получения электрической и тепловой энергии из отходов свиноводства был выбран крупный свиноводческий комплекс «Томский», где одновременно содержится поголовье свиней численностью порядка 176 тыс. голов¹⁷. Это по всем параметрам удовлетворяет требованиям технических характеристик для строительства и эксплуатации крупной биогазовой установки. Расчеты проводились для когенерационных биогазовых установок, одновременно производящих электрическую

(30–40%) и тепловую (60–70%) энергию, со средними техническими характеристиками. Согласно проведенной оценке, за счет биогаза из отходов животноводства на данном предприятии за год можно получить 39 млн кВт·ч электрической энергии и 265 тыс. Гкал – тепловой энергии, что составляет, соответственно, 249 и 363% от фактического потребления.

Таким образом, ранее не используемые и не имеющие стоимости отходы сельского хозяйства могут быть вовлечены в энергетическую систему организаций, частично или полностью (в зависимости от объемов производства) компенсировать энергопотребление, тем самым направляя вектор развития предприятия на автономное функционирование.

Биоресурсы, сконцентрированные в твердых бытовых отходах. Твердые бытовые отходы (ТБО) и отходы сточных вод (ОСВ) формируют более концентрированные биоресурсы, сосредоточенные, главным образом, вокруг крупных населенных пунктов. Проблема их утилизации является особенно актуальной, поскольку из накопленных на территории РФ свыше 82 млрд т отходов порядка 16 млрд т составляют бытовые отходы¹⁸. Отходы, накапливаемые в результате хозяйственной деятельности (ТБО и ОСВ) вокруг крупных населенных пунктов, необходимо использовать, имея в виду, прежде всего, экологический аспект.

Вложения на утилизацию и очистку территории от их загрязнения равны по стоимости затратам на строительство энергетических биоустановок.

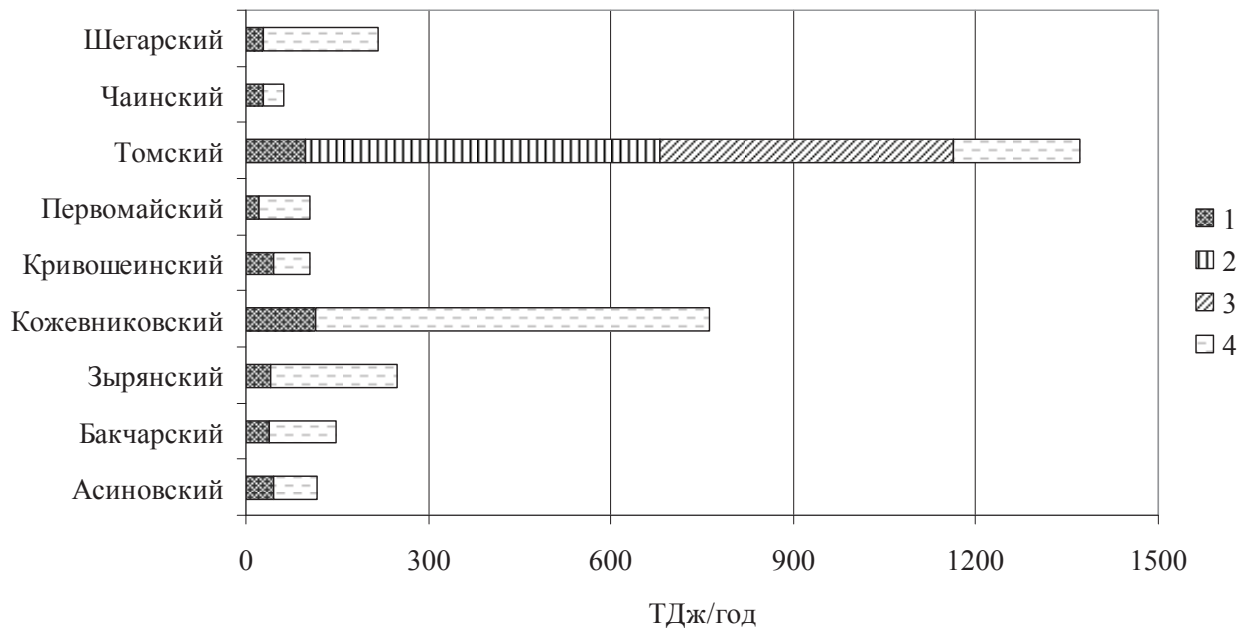
¹⁷ ГИС «Возобновляемые источники энергии Томской области». URL: <http://green.tsu.ru/tomres>.

¹⁸ URL: <http://novinkor.com/projects/housing/17-waste.html>.

Рисунок 4

Биоэнергия отходов сельского хозяйства по районам Томской области в различных подотраслях:

1 – скотоводство; 2 – свиноводство; 3 – птицеводство; 4 – растениеводство



Источник: рассчитано авторами с использованием данных статистического ежегодника Томского Облкомстата за 2012 г. URL: <http://oblstat.tom.ru/default.aspx>.

Соответственно, очень удачно сочетается экономическая выгода с экологической – переработка ТБО на биогаз (свалочный газ) уменьшает экологическую нагрузку на территорию, а с помощью биогаза можно вырабатывать электрическую и тепловую энергию, идущую на энергообеспечение очистных сооружений. Поскольку процесс разложения отходов продолжается многие десятки лет, то полигон ТБО можно рассматривать в качестве стабильного источника биоэнергии.

Количественная оценка возможности получения биоэнергии из ТБО проводилась из осредненной нормы накопления отходов: на городского жителя – 438 кг/чел. в год, на сельского жителя – 190 кг/чел. в год [11]. При этом использовалась формула:

$$E_{\text{ТБО}} = \sum_{i=1}^2 T_{\text{ТБО}i} \cdot N_i \cdot Q_{\text{ТБО}},$$

где $E_{\text{ТБО}}$ – биоэнергия из ТБО, ДЖ/год;

$T_{\text{ТБО}i}$ – средняя норма накопления отходов городскими или сельскими жителями, т/год;

N_i – количество городских или сельских жителей, чел.;

$Q_{\text{ТБО}}$ – низшая теплота сгорания на рабочую массу отходов ТБО, принятая за 5,8 ГДж/т или 1,61 МВт·ч [11].

Сопоставление фактических и полученных расчетных показателей обнаруживает хорошую корреляцию. Например, фактический показатель ежегодного образования ТБО на полигоне Сухово-Сухоречье, который обслуживает г. Томск¹⁹, составляет 292 тыс. м³, по расчетам авторов, соответственно 247,4 тыс. м³. С учетом минимального КПД биогазовых установок (70%) была рассчитана потенциальная биоэнергия, из которой 65% идет на производство тепла, 35% – на электроэнергию.

В расчет были включены полигоны ТБО Томской области, входящие в Государственный реестр объектов размещения отходов, исключая ТБО и шламовые амбары нефтегазовых месторождений. Авторами представлены результаты оценки потенциальных возможностей выработки энергии из образованных отходов ТБО по полигонам городов Томской области, где ежегодное размещение отходов превышает 10 000 м³ в год (см. таблицу). Здесь же показаны возможности обеспечения за счет переработки ТБО энергопотребностей местного населения и небольших хозяйств Томской области (без учета крупных промышленных предприятий).

В целом по Томской области биомасса ТБО ежегодно увеличивается на 3–6%. Потенциальная расчетная

¹⁹ ГИС «Возобновляемые источники энергии Томской области». URL: <http://green.tsu.ru/tomres>.

Оценка потенциальных возможностей получения энергии из ТБО для удовлетворения потребностей населения городов Томской области в 2012 г.

Место расположения полигона ТБО	Ежегодная выработка энергии из отходов ТБО, ТДж/год	Получение потенциальной электроэнергии из биогаза, млн кВт·ч	Доля потенциальной электроэнергии в фактическом потреблении населением, %	Получение потенциальной тепловой энергии, тыс. Гкал	Доля потенциальной тепловой энергии в фактическом потреблении населением, %
г. Стрежевой	106,01	7,21	16,7	11,52	3,5
г. Асино	63,09	4,29	5,4	6,86	7,1
г. Колпашево	58,90	4,00	2,6	7,38	4,2
г. Томск	1434,92	97,65	1,6	179,93	3,2
г. Северск	278,68	18,96	8,1	33,23	3,1

Источник: рассчитано авторами по данным: ГИС «Возобновляемые источники энергии Томской области». URL: <http://green.tsu.ru/tomges>; Государственный реестр объектов размещения отходов.

ежегодная выработка энергии из отходов ТБО по области достаточно высокая – 2 040,7 ТДж/год. Но основное накопление органической биомассы происходит на крупных городских полигонах, расположенных в 10 до 50 км от городских поселений.

Использование биоэнергии из ТБО в Томской области может понизить затраты при закупке электроэнергии со стороны и способствовать развитию местной экономики. Так, например, возможное замещение электроэнергии от традиционных видов топлива энергией, получаемой от переработки ТБО, составляет от 1,6 до 16,7%, для потенциальной тепловой энергии – от 3,1 до 7,1%.

Экономическая рентабельность может быть достаточно высокой при наличии вблизи свалки крупного потребителя газа. Так, особенно выгодным становится проект совместного размещения мусороперерабатывающего завода и завода по производству биогаза. Такой проект способен обеспечить возврат инвестиций за счет продажи ценных конечных продуктов: электроэнергии, тепла и продуктов вторичного использования – за несколько лет эксплуатации. Увеличение эффективности системы обращения с отходами в г. Томске и г. Северске возможно за счет строительства мусоросортирующих и мусороперерабатывающих комплексов. По расчетам авторов, расходы на топливо и горюче-смазочные материалы по содержанию ТБО составляют около 30% от всех расходов на утилизацию. Ввод в эксплуатацию подобных сооружений поможет сократить эту статью расходов.

Потенциальная биоэнергия, извлекаемая из осадка сточных вод. Осадки сточных вод (ОСВ) образуются в процессе очистки промышленных

сточных вод и хозяйственно-бытовых стоков. Они представляют собой жидкую смесь, в которой биологически безвредные вещества связаны с опасными токсичными компонентами органического и неорганического генезиса (соли тяжелых металлов, токсичная органика, микроорганизмы, бактерии, вирусы и пр.). В настоящее время ежегодно в России образуется 100 млн м³ ОСВ [12], основная доля которых утилизируется путем захоронения на иловых площадках, что приводит к значительному загрязнению атмосферного воздуха, грунтовых вод, водоемов и, как следствие, к отчуждению земель.

Перспективным направлением утилизации ОСВ в последние десятилетия становится их переработка в целях получения биоэнергии и органического удобрения. Уровень санитарно-химического состояния, бактериальная загрязненность и содержание тяжелых металлов позволяют использовать удобрения из ОСВ только после их обязательной дополнительной обработки, однако в некоторых странах Евросоюза отказываются от использования таких удобрений, причем даже после очистки. Переработка ОСВ разными методами для получения биоэнергии (пиролиз, анаэробное сбраживание, сжигание и др.) является наиболее перспективным направлением их утилизации, поскольку не только позволяет решить проблему загрязнения окружающей среды, но и получить дополнительный источник энергии.

Расчет потенциальной биоэнергии, извлекаемой из ОСВ, можно проводить, исходя из средней по России нормы накопления осадков на одного жителя в год (0,0949 т/чел. в год) [11]. Однако для рассмотрения ОСВ в качестве биоэнергетических ресурсов необходимы их значительная концентрация и постоянное пополнение объемов сырья, что возможно

только в крупных населенных пунктах, обеспеченных системами водоотведения и канализации. Поэтому валовый потенциал биоэнергии ОСВ, рассчитанный исходя из численности населения региона, без учета обеспеченности централизованной канализационной системой и плотности образования ОСВ [9], может носить только теоретический и общенаучный характер, не имея при этом технического и экономического значения.

Неравномерная освоенность территории и низкая плотность населения в Томской области определяют неэффективность широкого применения ОСВ в качестве энергоресурсов. Согласно характеристике систем водоотведения Томской области на 2010 г.²⁰, средние по районам значения показателей обеспеченности центральной канализацией варьируются в пределах от 0,1% для Тегульдетского района до 65,2% – для Томского. Пропускная способность очистных сооружений также достаточно низкая – от 12 до 5 500 тыс. м³/год, за исключением г. Томска (62 564,6 тыс. м³/год), на который приходится 75% всех сточных вод области. Именно здесь целесообразно рассматривать ОСВ в качестве возможного источника биоэнергии.

На примере одного из крупных предприятий коммунального хозяйства Томской области ЗАО «Городские очистные сооружения», расположенного в г. Томске, были проанализированы энергетические возможности использования такого вида биомассы, как осадки сточных вод. Предприятие осуществляет переработку более 150 тыс. м³ стоков в сутки с образованием 1 500 м³ илов, которые могут быть вовлечены в биогазовый процесс. В настоящее время иловые отстойники близки к насыщению, и на ближайшую перспективу необходимо принятие мер по утилизации и размещению биомассы. Согласно карточке предприятия²¹, на очистных сооружениях планируется строительство биогазовой станции с переработкой 1 500 м³ образующихся илов в сутки и производством 19 200 м³ биогаза с теплотворной способностью 25,7 МДж/м³. Расчеты показали, что энергопотенциал получаемого в год биогаза из ОСВ на данном предприятии составляет 50,12 млн кВт·ч.

ЗАО «Городские очистные сооружения» является энергоемким предприятием, где ежегодно

²⁰ Об утверждении государственной программы «Чистая вода Томской области» на 2012–2017 годы: постановление Администрации Томской области от 21.03.2012 № 105а (ред. от 13.11.2013).

²¹ URL: <https://www.dropbox.com/sh/09u5xk98j2g0gjj/cdrygz5WKg>.

расходуется значительное количество жидкого топлива и электроэнергии. Например, за 2012 г. потребление электроэнергии составило 17,18 млн кВт·ч. Таким образом, строительство установки по производству биогаза из ОСВ почти на 300% может компенсировать затраты электроэнергии, тем самым давая возможность снять энергетические проблемы самого предприятия и обеспечить теплом и электроэнергией ближайших соседей.

Заключение

Подводя итоги проведенному анализу эффективности внедрения альтернативных биоэнергоресурсов в топливно-энергетический баланс на примере западносибирского региона, можно отметить следующие аспекты.

Во-первых, новая энергетическая доктрина, направленная на устойчивое развитие экономики Российской Федерации, должна более активно инициировать использование альтернативных возобновляемых источников энергии (ВИЭ). К тому моменту, когда запасы традиционных ресурсов будут исчерпаны, многие развитые страны встанут на курс полномасштабного использования ВИЭ. Они уже сейчас постепенно ориентируют свою энергетику на возобновляемые ресурсы, создают более совершенные технологии для извлечения энергии из биомассы с минимальными потерями. Рост потребления энергоресурсов в современной экономике, сокращение запасов традиционных источников энергии, а также необходимость утилизации все возрастающего количества отходов и сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу в большинстве субъектов РФ формируют основания для перспективного направления развития топливно-энергетического комплекса – альтернативной биоэнергетики.

Анализ возможностей использования потенциала ВИЭ в энергетике Томской области показал, что полный отказ от традиционной системы энергоснабжения в пользу ВИЭ с технико-экономической стороны в данных условиях является несвоевременным. Сейчас в промышленности преобладает использование традиционных источников энергии, которые весьма проблематично заменить в массовом объеме, но для дальнейшего устойчивого развития экономики актуально постепенно внедрять в энергобаланс биоресурсы, которые имеют свойство достаточно быстро возобновляться. Для отдаленных, труднодоступных и многих сельских территорий нужно активнее создавать, совершенствовать и внедрять новые

технологии получения энергии из биомассы, при которых минимизируются объемы поставляемого топлива, уменьшается транспортная составляющая, сокращаются объемы отходов. Такие шаги предусматривает доктрина энергетической безопасности страны и основные положения и принципы устойчивого развития – создать возможность для удовлетворения насущных потребностей последующих поколений.

Во-вторых, нужно признать, что в настоящее время реализация проектов ВИЭ ограничена действующими методами тарифного регулирования, отсутствием законодательной базы государственной энергетической политики в этой сфере. Правила стимулирования для реализации проектов ВИЭ должным образом не регламентированы, поэтому весьма проблематично найти желающих инвестировать средства в подобные объекты. Развитию сектора биоэнергетики будет способствовать государственная поддержка, осуществляемая в виде субсидий, налоговых льгот, применения специальных тарифов на энергию,

произведенную на основе ВИЭ. Также должна проводиться активная работа по координации взаимоотношений поставщиков топливного сырья, поставщиков технологий и энергетических компаний.

В-третьих, каждый субъект РФ имеет свои особенности социально-экономических и природно-ресурсных условий, специфику энергопотребления, различия в развитии транспортной и энергетической систем. Все это подразумевает индивидуальный подход к выстраиванию стратегии развития отраслей биоэнергетики. Но общее направление можно выразить следующим образом – уже сейчас необходимо формировать новую энергетическую стратегию внедрения альтернативных биоресурсов в структуру энергопотребления для создания условий энергетической безопасности. Предлагаемый авторами подход к расчету возможного участия альтернативных возобновляемых биоресурсов в местном топливно-энергетическом балансе является унифицированным и может быть использован для других регионов.

Список литературы

1. Горшков В.Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды. М.: ВИНТИ, 1990. 237 с.
2. Лось В.А., Урсул А.Д. Устойчивое развитие. М.: Агар, 2000. 254 с.
3. Поздняков А.В. Стратегия российских реформ. Томск: Спектр, 1998. 324 с.
4. Шестопалов П.В. Энергетическая безопасность: определение понятия и сущность // Бизнес в законе. 2012. № 5. С. 200–201.
5. Литвак В.В., Лукутин Б.В., Яворский М.И. Энергетическая география Томской области. Томск: Дельтаплан, 2005. 80 с.
6. Данченко А.М., Задде Г.О., Земцов А.А. и др. Кадастр возможностей / под ред. Б.В. Лукутина. Томск: Изд-во научно-технической литературы, 2002. 280 с.
7. Мельник М.А., Волкова Е.С. Территориальные особенности биоэнергетического потенциала лесных ресурсов Томской области // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. 2014. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/5/717.pdf>.
8. Калашиников П.Л. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: Гослесбумиздат, 1963. 256 с.
9. Семенова К.А. Количественная оценка биоэнергетического потенциала Томской области // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 4. С. 179–185.
10. Баротфи И., Рафаи П. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах. М.: Агропромиздат, 1988. 228 с.
11. Григораши О.В., Хамула А.А., Квитко А.В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 92. URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/12.pdf>.
12. Дьяков М.С., Русакова В.А., Савинова Я.Н., Гуляева И.С. Анализ и обоснование методов обезвреживания и утилизации осадков сточных вод биологических очистных сооружений // Водоочистка. 2013. № 11. С. 7–16.

EVALUATING ALTERNATIVE BIOENERGY RESOURCES IN THE CONTEXT OF THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGION

Elena S. VOLKOVA^{a,*}, Mariya A. MEL'NIK^b, Tat'yana Sh. FUZELLA^c

^a Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of RAS, Tomsk, Russian Federation
elevelko@yandex.ru

^b Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of RAS, Tomsk, Russian Federation
melnik-m-a@yandex.ru

^c Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of RAS, Tomsk, Russian Federation
fts10@yandex.ru

* Corresponding author

Article history:

Received 21 June 2015
Accepted 4 August 2015

JEL classification: Q42, R11

Abstract

Importance The article overviews practices of analyzing reserves of bioenergy sources and an algorithm for their quantitative evaluation so to increase the region's energy efficiency under the fundamental principles of the sustainable development concept.

Objectives The research basically determines whether it is possible to include bioenergy sources into the region's energy system for sustainable development and energy security, illustrating the Tomsk oblast supplied with additional energy.

Methods The research was based on the balance-sheet, computational and statistical methods of analysis and GIS-technologies (ArcGis 10.2).

Results The proposed methods allowed ranking the region's area per availability of bioenergy sources, understand the prospects of developing renewable bioenergy sources, expand the scope and efficiency of renewable, little used or unused natural bioenergy sources involved into operation. We also analyzed whether it would be reasonable to integrate alternative sources into energy consumption of the Tomsk oblast.

Conclusions and Relevance The research substantiates the need to make a comprehensive and quantitative evaluation of bioenergy sources and put them into practical use so to promote sustainable development of the region's economy. The article presents our own scientific and practical recommendations for diversifying the contemporary structure of energy consumption in the Tomsk oblast using modern bioenergy technologies.

Keywords: bioenergy, sustainable development, energy security, energy efficiency

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2015

References

1. Gorshkov V.G. *Energetika biosfery i ustoichivost' sostoyaniya okruzhayushchei sredy* [Biosphere energy and the sustainability of the environment]. Moscow, VINITI Publ., 1990, 237 p.
2. Los' V.A., Ursul A.D. *Ustoichivoe razvitie* [Sustainable development]. Moscow, Agar Publ., 2000, 254 p.
3. Pozdnyakov A.V. *Strategiya rossiiskikh reform* [The strategy of the Russian reforms]. Tomsk, Spektr Publ., 1998, 324 p.
4. Shestopalov P.V. *Energeticheskaya bezopasnost': opredelenie ponyatiya i sushchnost'* [Energy security: definition and essence]. *Biznes v zakone = Business in Law*, 2012, no. 5, pp. 200–201.
5. Litvak V.V., Lukutin B.V., Yavorskii M.I. *Energeticheskaya geografiya Tomskoi oblasti* [Energy geography of the Tomsk oblast]. Tomsk, Del'taplan Publ., 2005, 80 p.
6. Danchenko A.M., Zadde G.O., Zemtsov A.A. et al. *Kadastr vozmozhnostei* [The cadastre of opportunities]. Tomsk, Izdatel'stvo nauchno-tehnicheskoi literatury Publ., 2002, 280 p.
7. Mel'nik M.A., Volkova E.S. [Territorial feature of the bioenergy potential of forest resources in the Tomsk oblast]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya: elektronnyi nauchnyi zhurnal*, 2014, no. 5. (In Russ.) Available at: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/5/717.pdf>.

8. Kalashnikov P.L. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Sciences of wood technologies and forestry commodities]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1963, 256 p.
9. Semenova K.A. Kolichestvennaya otsenka bioenergeticheskogo potentsiala Tomskoi oblasti [Quantitative assessment of bioenergy potential of the Tomsk oblast]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* = *Bulletin of Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 4, pp. 179–185.
10. Barotfi I., Rafai P. *Energoberegayushchie tekhnologii i agregaty na zhitovnovodcheskikh fermakh* [Energy saving technologies and machines in livestock farms]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988, 228 p.
11. Grigorash O.V., Khamula A.A., Kvitko A.V. [Renewable energy resources of the Krasnodar Krai]. *Nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 92. (In Russ.) Available at: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/12.pdf>.
12. D'yakov M.S., Rusakova V.A., Savinova Ya.N., Gulyaeva I.S. Analiz i obosnovanie metodov obezvrezhivaniya i utilizatsii osadkov stochnykh vod biologicheskikh ochistnykh sooruzhenii [Analyzing and substantiating the methods for purifying and utilizing sediment of waste water in biological treatment plant]. *Vodoochistka* = *Water Treatment*, 2013, no. 11, pp. 7–16.