

УДК 620.91(571.16)

ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Заворин Александр Сергеевич¹,
zavorin@tpu.ru

Тайлашева Татьяна Сергеевна¹,
taylasheva@tpu.ru

Буваков Константин Владимирович¹,
kvb@tpu.ru

Долгих Александр Юрьевич¹,
shurad@tpu.ru

Воронцова Елена Сергеевна¹,
ves@tpu.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность исследования обусловлена важностью рационального формирования регионального топливно-энергетического баланса, направленного на преодоление зависимости от доминирования внешних (привозных) топливных ресурсов. Это способствует энергетической безопасности территории и соответствует задачам обеспечения природоохранной стратегии и энергоэффективности.

Цель: сравнить местные топливные ресурсы по пригодности для эффективного использования в топливно-энергетическом балансе Томской области.

Объекты: топливно-энергетический комплекс Томской области и его текущий баланс, топливно-энергетические ресурсы региона, нефтегазовые углеводороды, бурый уголь, торф, растительная биомасса в виде естественного и техногенного органического сырья.

Методы: систематизация информации из открытых источников, аналитический обзор и оценочные исследования.

Результаты. Краткая характеристика энергобаланса Томской области показывает его энергодефицитность. Обобщены публикации по топливно-энергетическому комплексу региона в разрезе как централизованных, так и децентрализованных источников тепло- и электроснабжения. Подтверждена тенденция к возрастанию неудовлетворения спроса на энергопотребление и низкая конкурентоспособность по сравнению с другими участниками Объединённой энергосистемы Сибири. Рассмотрено все многообразие топливных запасов территории области, подходящих под определение топливно-энергетических ресурсов, приведена информация о их исследованности, разведанных и оцененных запасах, доступности и положении относительно потенциальных потребителей. Приведена информация о теплотехническом качестве местных топливно-энергетических ресурсов и возможности их использования с учетом характеристик имеющегося на энергопредприятиях области топливоиспользующего оборудования.

Выводы. Условиям выбора альтернативного твердого топлива для энергетического использования в наибольшей мере по сравнению с другими ресурсами соответствует бурый уголь Таловского месторождения.

Ключевые слова:

Томская область, топливно-энергетический баланс региона, топливно-энергетические ресурсы, местные альтернативные источники топлива, Таловское бурого угольное месторождение.

Введение

Долгосрочная энергетическая стратегия Российской Федерации в отношении регионов ориентирована на обеспечение гарантированной энергетической безопасности, в частности за счет формирования рационального топливно-энергетического баланса (ТЭБ) [1]. Для этого в ряде случаев предстоит преодолевать низкую вовлеченность в ТЭБ местных источников топливных ресурсов регионального или локального значения и соответственно доминирование внешних источников топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) [2]. Существующие проблемы при формировании рационального регионального ТЭБ системным образом проявляются на примере Томской области. По территории занимая менее 2 % от всей страны, находясь на шестом месте среди субъектов

РФ по добыче нефти и природного газа [3–5], уступая по прогнозируемым запасам торфа только Тюменской области [6], имея гигантский энергопотенциал лесов и суммарные разведанные запасы бурого угля в объеме на уровне 5 % всей страны [7–10], Томская область является энергодефицитной.

Объемы электроэнергии, привлекаемые за счет потоков от электростанций соседних регионов, за последние годы составили 50–70 %, а с учетом существующего в настоящее время прироста потребления электроэнергии прогнозируется дальнейшее увеличение дефицита генерирующих мощностей в области [11].

Для полноты характеристики ТЭБ особо выделяют тот факт, что по условиям континентального климата более 85 % территории области относится к районам крайнего севера [7, 12]. Длительная и суровая зима с

продолжительностью отопительного периода в среднем по региону до 240 дней при минимальной температуре -55°C для областного центра [12] выводит надежность теплоснабжения населения на уровень вопросов жизненной необходимости.

Изложенное определяет актуальность для Томской области рассмотрения возможности вовлечения местных ТЭР в энергетическое использование для диверсификации ТЭБ региона.

Источники тепло- и электроснабжения региона

Основными источниками централизованного электроснабжения на территории области являются тепловые электрические станции, на долю которых приходится 83 % от суммарной установленной электрической мощности [3]. Остальные 17 % составляют генерирующие мощности промышленных предприятий, среди которых преобладают газотурбинные установки [11].

Отдельные крупные предприятия, как правило, нефтедобывающего профиля используют децентрализованное электроснабжение от автономных газопоршневых электростанций. Имеются также в большом количестве дизельные электростанции, рассредоточенные в удаленных населенных пунктах, находящихся в труднодоступных районах области [4].

Теплоснабжение имеет схожие особенности. Централизованное теплоснабжение от тепловых электростанций, расположенных в черте двух крупнейших городов, имеют только Томск и Северск. Для всех других населенных пунктов области тепловую энергию поставляют многочисленные, в том числе муниципальные, котельные разной мощности [13].

Сложившиеся особенности такого распределения источников энергоснабжения имеют географически обусловленные причины. Более 90 % площади области занимают таежные леса и болота, труднодоступные и непригодные для проживания или малообжитые местности [7, 12]. Это, в свою очередь, определило и другие особенности региона, решающим образом влияющие на состояние и развитие топливно-энергетического комплекса. Во-первых, неравномерность распределения населения, при котором примерно 25 % проживает в сельских поселениях, разбросанных по территории региона, а подавляющая часть сосредоточена в южных районах области вокруг административного центра, причем в Томске проживает половина всех жителей области [4]. Во-вторых, следствием всего является слабое развитие транспортной инфраструктуры. Недостаток дорог с твердым покрытием приводит к тому, что доставка грузов во многие населенные пункты возможна только водным путем и авиатранспортом, а в зимнее время года – по ледовым дорогам.

Все крупные теплоэлектростанции Томской области, спроектированные для работы на угольном топливе, потребляют природный газ и уголь, причем расход природного газа квотируется. Использование природного газа сказывается на снижении конкурентоспособности их продукции на оптовом рынке электроэнергии. По этой причине тепловые электростан-

ции значительную часть времени вырабатывают электрическую энергию исходя из условия так называемого технологического минимума, который необходим для обеспечения графика теплоснабжения потребителей. Другие электростанции, задействованные в централизованной энергосистеме области, функционируют ориентируясь на потребности собственника своего базового предприятия. В результате выдают электроэнергию в общую сеть по остаточному принципу.

Котельные, обеспечивающие теплоснабжение, в большинстве случаев работают на жидком топливе, попутном или сжиженном газе. Те из них, которые расположены в районных центрах, куда возможна доставка угля по железной дороге или автомобильным транспортом, сжигают его в слоевых топках. Но общий объем потребления угля котельными невелик. Наконец, источники теплоснабжения местного значения, в основном в удаленных от центра и труднодоступных поселениях используют дрова [11].

В целом потребляемые топливно-энергетические ресурсы для целей генерации электрической и тепловой энергии можно охарактеризовать как разнообразные, хотя в наибольшей мере представлены природный или сжиженный газ, жидкое топливо и уголь. В совокупности этот объем потребления по разным оценкам превышает 2 млн т у.т. в год, причем соотношение в процентах по условному топливу газ/уголь/нефтепродукты составляет примерно 55/45/0,5 [3, 11]. Масштабы добычи нефти и газа в области позволяют удовлетворять энергетическое использование углеводородов в основном за счет собственных возможностей. Иначе обстоит дело с потреблением угля: весь его объем в области является привозным с месторождений Кузнецкого и Канско-Ачинского угольных бассейнов. Хотя маршруты перевозок не самые протяженные в Российской Федерации, но с учетом ежегодной перевозки примерно 1 млн т у.т. для областного бюджета формируется очень внушительная статья расхода.

Обобщение опубликованных данных и их анализ показывают, что топливно-энергетический комплекс Томской области имеет дефицит электрических мощностей (который проявляет тенденцию к возрастанию неудовлетворенных запросов по энергопотреблению) и характеризуется низкой конкурентоспособностью по сравнению с другими участниками Объединенной энергосистемы Сибири. Одна из наиболее важных причин несбалансированности ТЭБ области состоит в сложившейся безальтернативности использования внешних поставок твердого топлива, что вместе с тем актуализирует практическую значимость увеличения доли местных топливных ресурсов.

Наличие и использование топливных ресурсов

Разнообразие местных топливных ресурсов области превышает номенклатуру потребления ТЭР для нужд энергетического производства, причем разведанные и прогнозируемые запасы некоторых из них выходят за рамки только регионального значения. Наличие имеющихся запасов охватывает практически

весь спектр органических, в том числе ископаемых и возобновляемых, видов топлива. Среди них нефть и газ, уголь, торф, широкий перечень разновидностей биомассы (от отходов лесной и деревоперерабатывающей отраслей промышленности до твердых бытовых и сельскохозяйственных отходов).

Наиболее востребованным на современном этапе ресурсом являются нефтегазовые углеводороды, которые сосредоточены в более 100 выявленных месторождениях. Разведанные и извлекаемые ресурсы, то есть обеспечивающие существующий уровень добычи, составляют 276,6 млн т по нефти, 273,3 млрд м³ по природному газу, 33,4 млн т по газовому конденсату [5, 14]. Суммарно оцениваемые запасы природного газа находятся на уровне 1 трлн м³, а нефти – 1 млрд т [7]. При этом геологи не исключают появление на карте области новых месторождений, вследствие чего в перспективе возможен прирост запасов углеводородов [15].

В свете отмеченного естественно, что углеводородные ресурсы занимают доминирующее долевое положение в структуре ТЭБ области, даже несмотря на большие объемы их поставки в другие регионы страны. Масштабная добыча, а также наличие нефти и газотранспортных предприятий и нефтехимических заводов в регионе являются факторами, обеспечивающими, хотя и в пределах выделяемых квот, потребности крупных и малых энергопроизводителей.

Такие особенности ТЭБ региона имеют бесспорное позитивное влияние на экологическую ситуацию, снижая последствия так называемого «углеродного следа». Вместе с тем мало предсказуемые «взлеты» и «падения» цены углеводородов на мировом рынке отражаются на внутреннем ценообразовании и в конечном итоге дестабилизируют региональный бюджет. Наконец, монотопливное развитие ТЭБ территории входит в определенное противоречие с принципами энергетической безопасности [1].

Стоит отметить и еще один, на первый взгляд, конечно, менее важный аспект. Возможность сравнительно доступного перехода на сжигание природного газа в случае возникновения тех или иных эксплуатационных затруднений, которые часто имеют место в практике сжигания угольного топлива, снижают мотивацию инженерного корпуса и навыки в решении сложных научно-технологических задач, направленных на повышение эксплуатационной надежности, энергоэффективности и других показателей работы тепломеханического оборудования, его готовности к несению нагрузки на твердом топливе.

По объемам запасов к числу значимых топливных ресурсов области относится торф, по наличию которого Томская область уверенно находится на второй позиции в стране, а по занятой торфяными месторождениями территории (35,5 %) является абсолютным лидером [6, 16]. В границах залежей промышленного значения с общей площадью 7,7 млн га находятся более полутора тысяч месторождений с доказанными запасами торфа 29 млрд т [8, 16, 17]. По мнению отдельных специалистов, торф следует относить к возобновляемым видам природных ресурсов, поскольку

ежегодный прирост его массы преобладает над фактическим потреблением [18].

Именно так обстоит дело с этим видом органического топлива в Томской области, в результате чего надо полагать, что запасы его продолжают нарастать. Тем не менее за более чем тридцатилетний период разработки в общей сложности на 39 месторождениях добыча составила не более 33 млн т [6, 16, 17]. Наибольший объем добытого торфа 2,8 млн т приходится на 1988 г., но с 1998 г. промышленная добыча была прекращена [6].

Добываемый торф традиционно использовался в первую очередь для нужд сельского хозяйства как ценное удобрение, чему способствовали наличие и годы работы в Томске Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа. Опыт масштабного использования в качестве энергетического топлива в регионе практически отсутствует. По-видимому, по этой причине геологическая и экономическая изученность данного вида топливных ресурсов Томской области далека от своего завершения.

Исторически интерес к промышленному использованию торфа Томской области в энергетических целях в наибольшей мере связан с периодически возобновляющейся разработкой темы освоения Бакчарского железорудного месторождения [19, 20], локализованного в пределах юго-восточной части васюганских торфяных массивов. Химиками-технологами ТПУ [21] была предложена технология получения из торфа полукокса, пригодного для использования в металлургическом производстве. В отдаленной перспективе это может быть реализовано на практике. Наиболее детальной изученностью отличаются только четыре месторождения: Аркадьевское, Гусевское, Кандинское, Суховское [16]. Их суммарные запасы оцениваются в 570 млн т, что составляет менее трех процентов от запасов торфа в регионе [18]. Именно с этих месторождений использовались образцы для проводившихся в течение предшествующего десятилетия исследований [22, 23] по процессам и способам термической конверсии торфа в газообразные и твердые продукты, пригодные для сжигания в энергетических установках.

Технологическая осуществимость и экономическая эффективность этого направления характеризуется положительно только при условии территориальной близости производственных модулей к местам торфодобычи, а также при наличии транспортной инфраструктуры, обеспечивающей надежное топливоснабжение крупных энергопроизводителей. Поэтому только при осуществлении значительных инвестиций в теплотехнологическую переработку торфа и при его транспортной доступности этот ресурс в перспективе сможет, и то лишь частично, заменить привозное топливо для автономных энергетических установок, расположенных в удаленных поселениях. В этих условиях рассматривать торф как альтернативное топливо для централизованного производства электрической и тепловой энергии преждевременно.

Еще более повсеместно распространенным на территории области топливным ресурсом, чем торф, яв-

ляется биомасса. К этой категории местного сырья относятся прежде всего растительные, как естественные, так и техногенные, органические материалы. Учитывая площади, занятые лесами, региональный потенциал их топливно-энергетических ресурсов в общем балансовом исчислении характеризуется как огромный [7, 24] – 2,7 млрд куб. м, из которых более 27 % в хвойных лесах, а годовой прирост древесной массы составляет 27,4 млн куб. м. Согласно статистическим данным [25], не более 85 % заготавливаемой древесины идёт на производство лесоматериалов промышленным способом, ещё 4 % потребляется для бытового отопления. При этом в отходы от заготовки древесины и транспортировки её до места использования уходит не менее 11 %. В дальнейшем производстве изделий образуется опилочные отходы в объеме 6–30 %. В результате ежегодное количество отходов, накапливаемых на всех операциях – от вырубki леса до переработки древесины – составляет 350–360 тыс. куб. м [26]. Подсчитано [26, 27], что правильная организация санитарных рубок и ухода за лесами может увеличить полезное использование древесины, например, в виде дров, до 2 млн куб. м.

Многолетний опыт хозяйственной деятельности зарекомендовал древесину и лесные отходы на обширной территории области как вполне самостоятельное бытовое топливо (дрова). Можно рассмотреть их даже как сырьё для энергетического использования, хотя и ограниченного по объёму производства. Одно из ограничений для использования древесных ресурсов как возможной альтернативы для тепловых электростанций обусловлено отсутствием в регионе более производительных и освоенных технологий сжигания этого топлива, чем традиционные в неподвижном слое. Другим ограничивающим фактором является экономическая нецелесообразность транспортирования любой биомассы на дальние расстояния с целью топливоснабжения крупных энергопроизводителей по причине низкой удельной энергоёмкости. Эти недостатки распространяются и на другие виды биомассы, составляющие определённую часть топливных ресурсов, к которым относятся разнообразные отходы сельского хозяйства, коммунально-бытового сектора и агропромышленного производства.

Вместе с тем отмечается возрастание интереса мирового энергетического сообщества к различным технологиям, позволяющим повысить не только коэффициент полезного действия установок для прямого сжигания биомассы, но и получить из нее путем переработки продукты с более ценными энергетическими свойствами и повышенной прибавочной стоимостью [28–34]. За рубежом среди методов повышения эффективности энергетического использования биомассы получило распространение совместное сжигание её с углем [35–38]. Теоретический вклад в поддержку этих направлений вносят и томские ученые [38, 39].

Движущим стимулом большинства работ по вовлечению биомассы в топливно-энергетические балансы стран и отдельных регионов является ожидае-

мый природоохранный эффект [40–42]. Действительно, растительность в жизненном цикле в процессе фотосинтеза поглощает столько CO_2 , сколько затем выделяет при сжигании биомассы. Факт CO_2 -нейтральности биомассы позволяет при её сжигании, например, в смеси с углем уменьшить количество парниковых газов и других вредных выбросов пропорционально доле биомассы в смесевом топливе.

Несмотря на очевидные экологические преимущества биомассы как топлива, время её значения для региона в качестве альтернативного энергетического топлива в структуре ТЭБ области в обозримой перспективе не поддается какому-либо прогнозированию. Такие возможности могут реализоваться не только лишь при наступлении экономической целесообразности, но и при создании технологической совместности процессов подготовки и сжигания биомассы с задействованным в теплоэнергетике наиболее производительным оборудованием.

Соседствуя с угольными регионами, обладающими крупнейшими запасами мирового значения, – Кемеровской областью и Красноярским краем – Томская область никогда не воспринималась как значимая угленосная территория. Вместе с тем на ней зафиксированы более 100 локализаций бурого угля, в которых, по разным оценкам, сосредоточены суммарные ресурсы до 75,7 млрд т [3, 7, 8]. Геологически они относятся к Обь-Иртышскому угленосному бассейну, в юго-восточной его части, где специалисты выделяют по географо-экономическому положению 7 угленосных районов, на прогнозных площадях которых имеются угольные пласты с суммарной мощностью (залежи, толщи) более 5 м (рисунок).

Важной особенностью буроугольных ресурсов в свете направленности настоящей работы является то, что наиболее изученные с геологической точки зрения месторождения расположены в самой густонаселенной и промышленно развитой части Томской области. Из них к достаточно крупным и очень выгодно расположенным относится Таловское месторождение – 25 км от административного и промышленного центра области с его тепловыми электростанциями и 10–15 км от других основных потенциальных потребителей. Общие прогнозируемые ресурсы этого месторождения при средней мощности угольных пластов 3,9 м составляют 3 млрд 625,6 млн т [3, 7, 8], что позволит вести годовую добычу открытым способом в объеме не менее 7,5 млн т [43]. Для общей характеристики Таловского месторождения немаловажно то, что на северо-востоке от него выявлены от одного до четырех угольных пластов, формирующих Таловскую углеперспективную площадь с прогнозными ресурсами до 1 млрд т подобного по качеству угля [43].

Горно-геологические особенности месторождения и технические условия его разработки оценивались только в предварительном порядке, поскольку до реальных подходов к разработке дело не доходило, а интерес усиливался только по мере актуализации вопроса об освоении Бакчарского железорудного месторождения. Тем не менее были определены участки для первоочередной отработки Таловского месторож-

дения и получены основные ориентиры по геолого-экономическим показателям в границах этих участков [43]: суммарная мощность угольных пластов – 3,8–13,3 м; глубина их залегания – 27–80 м; угол па-

дения – не более 5 градусов; коэффициент вскрышных работ – 6,46 м³/т. Общая продолжительность эксплуатации углераза при таких его показателях прогнозируется около 30 лет.

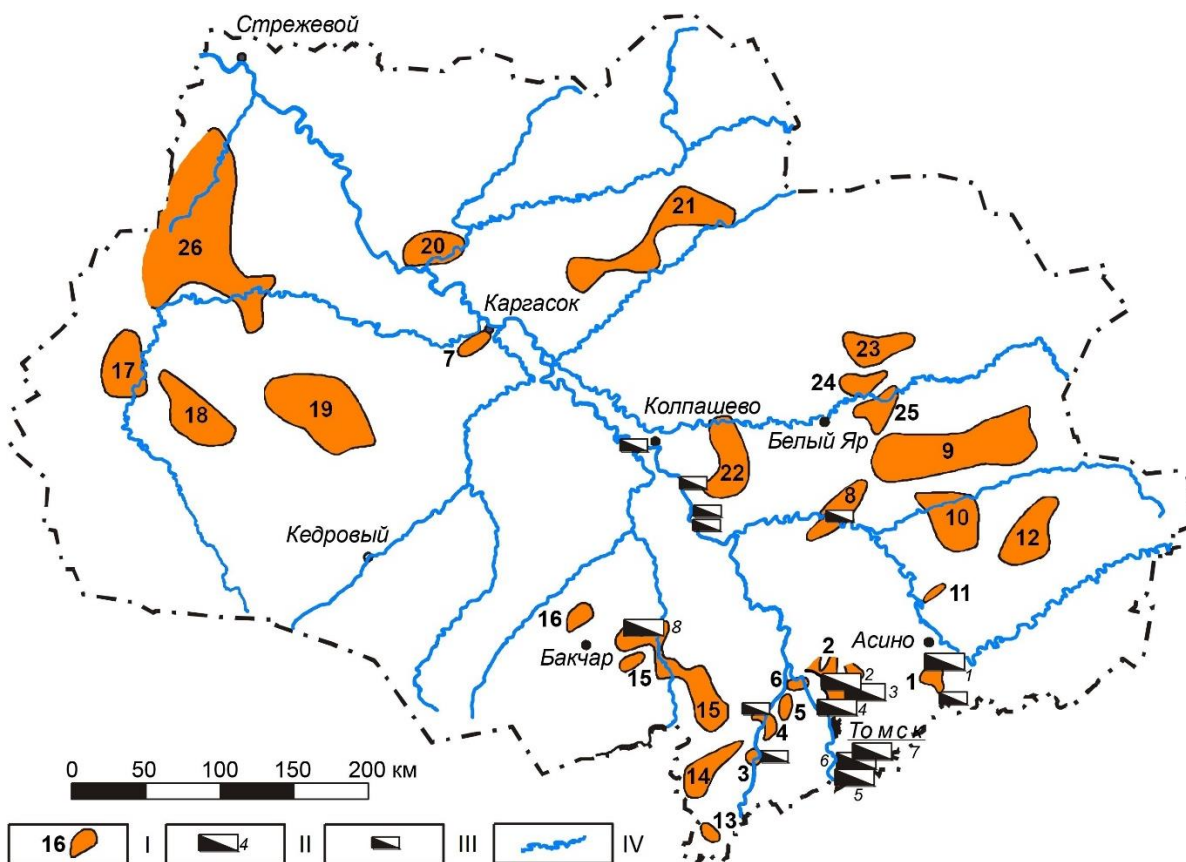


Рисунок. Схематичное расположение бурого угля на территории Томской области [8]: I – угольные районы: 1, 2 – Томский, 3–7 – Долинный, 8–12 – Чулымский, 13–16 – Бакчаро-Чайинский, 17–25 – Васюган-Тымский, 26 – Александровский; II – месторождения: 1 – Яйское, 2 – Таловское, 3 – Туганское, 4 – Реженское, 5 – Ярское, 6 – Казанское, 7 – Вороновское, 8 – Бакчарское; III – проявления; IV – речная сеть

Figure. Schematic allocation of brown coal deposits on the territories of Tomsk region [8]: I – coal-bearing areas: 1, 2 – Tomsk, 3–7 – Dolinny, 8–12 – Chulyum, 13–16 – Bakcharo-Chainskiy, 17–25 – Vasyugan-Tymsky, 26 – Aleksandrovskiy; II – deposits: 1 – Yaya, 2 – Talovsk, 3 – Tugan, 4 – Rezhenskoe, 5 – Yarskoe, 6 – Kazan, 7 – Voronovskoe, 8 – Bakchar; III – manifestations; IV – river net

Приведенный выше анализ показывает, что по определяющим признакам, таким как сконцентрированность и географическое местоположение запасов, экономическая предпосылка их использования, технологическая совместимость с топливосжигающим оборудованием источников централизованного тепло- и электроснабжения, в качестве альтернативного местного топлива, соответствующего основным принципам региональной энергетической безопасности, в первую очередь следует рассматривать бурый уголь Таловского месторождения.

Бурый уголь Таловского месторождения

Уголь Таловского месторождения относится к группе Б2 ранней стадии углефикации, проходившей в условиях заболоченности речных долин [44]. Вследствие этого является высоковлажным с диапазоном влажности рабочего состояния 29–60 %, причем преобладающая часть влаги (90 %) находится во внешней

составляющей, а в аналитическом состоянии содержится не более 10 % [44]. Согласно исследованиям теплотехнических свойств [44], керновые пробы на охваченных разведочным бурением площади и глубине показали зольность рабочей массы – 8–57 %, выход летучих в пересчете на сухую беззольную (горючую) массу – 58–71 %. Состав (%) элементов сухой беззольной массы: углерод – 5,9–79,4; водород – 1,2–7,3; сера – 0,1–2,0; азот – 0,5–3; кислород – 13,1–40,4. Соответственно диапазону изменения элементного состава оказались значения теплоты сгорания угля низшей на рабочую массу – $5 \cdot 10^3$ – $13,25 \cdot 10^3$ кДж/кг [44–46]. Такой уровень теплотворной способности характерен для многих бурых углей, которые известны как используемые в энергетических целях. Наряду с этим установленный диапазон теплотехнических характеристик свидетельствует о том, что керновыми пробами были охвачены не только собственно угольные пласты, но и прилегающие к ним вмещающие массивы.

Вместе с этим очевидно, что настолько широкий диапазон значений теплоты сгорания рабочей массы для исследованных керновых проб объясняется большими колебаниями зольности и влажности. Диапазон изменения теплоты сгорания предстает существенно сокращённым, если её значения пересчитать на сухое состояние угля. Действительно, значения низшей теплоты сгорания при этом повышаются вплоть до $25,38 \cdot 10^3$ кДж/кг. Этот факт свидетельствует о целесообразности подсушивания угля перед его непосредственным использованием.

Имея в виду влияние минеральной части твердого топлива на его свойства и процессы сжигания в энергетических установках, авторы [47] выделяют три

диапазона зольности угля по степени его пригодности для использования в имеющихся в регионе технологиях. Уголь с зольностью сухой массы не более 20 % (включительно) охарактеризован как наиболее благоприятный для энергетического сжигания. Уголь в диапазоне зольности $A^d=20-30$ % определен как пригодный для сжигания при реализации соответствующих инженеринговых мероприятий. Уголь с зольностью $A^d=30-45$ % – топливо ограниченного использования, например, в вариантах сжигания в смеси.

Свойства золы, имеющие значение при теплотехническом использовании твердого топлива, приведены для трех диапазонов зольности таловского угля в таблице.

Таблица. Характеристики и состав минеральной/негорючей части таловского бурого угля [47]

Table. Characteristics and composites of mineral/non-flammable part of Talovsk brown coal [47]

Интервал зольности Ash content spacing	Температуры плавкости золы Ash fusibility temperature			Начало нормального жидкого шлакоудаления Beginning of regular slag drip			Температура начала шлакования Temperature of slag disposal	
%	°C							
A ^d	t _a	t _b	t _c	t _{н.ж}			t _{шл}	
≤20	1185	1290	1375	1375			985	
20–30	1210	1300	1380	1425			990	
30–45	1260	1350	1395	1525			1015	
	Состав бессульфатной массы/Contents of sulfated-less bulk, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
≤20	46,9	25,3	1,7	10,0	13,0	1,6	0,9	0,6
20–30	46,9	24,6	1,9	12,2	12,0	1,2	0,8	0,5
30–45	59,2	21,2	2,1	7,4	7,1	1,1	1,4	0,6

С учетом этих данных были выполнены прогнозные оценки рабочих процессов с участием золы в газовых трактах пылеугольных котлов и в целом влияния минеральной части угля на их работу [45, 47]. Основная особенность этих процессов определяется типично кислотными свойствами и умеренной тугоплавкостью золы. При этом существенно важно, что свыше 60 % золообразующих компонентов угля представлены внешней, кремнийсодержащей породной примесью, которая механически отделяема от теплотворной органической массы, в том числе в процессе пылеприготовления. Примечательно, что при таком обширном диапазоне изменения зольности угля показатели его плотности охватывают довольно узкий интервал: истинная плотность – $1,66-1,86$ г/см³, а кажущаяся – $0,8-1,1$ г/см³. Подобные значения характерны для высокзолых бурых углей таких, например, как расположенные на Дальнем Востоке Артемовское и Бикинское месторождения. Имеются и другие примеры использования на тепловых электростанциях углей с близкими свойствами [48, 49], что позволяет переносить известный эксплуатационный опыт на практику сжигания таловского угля. Нельзя не отметить такое привлекательное его свойство, как очень низкое содержание серы, что позволяет минимизировать вредные выбросы оксидов с дымовыми газами.

В свете направленности настоящего анализа представляющий интерес исследования термической переработки, которые показали, что таловский уголь является перспективным сырьем для газификации или полукоксования. Полукоксы, получаемый в процессе низкотемпературного пиролиза, за счет своей пори-

стости становится реакционно-активным при горении, обладает более высокой теплотой сгорания, чем натуральный таловский уголь. Поэтому, по оценкам исследователей [47, 50], полукоксы являются транспортабельным топливом, что может расширить сферу его использования вплоть до рассредоточенных котельных систем жилищно-коммунального хозяйства и до бытового потребления населением области.

Заключение

Среди разнообразия топливных ресурсов Томской области условиям выбора альтернативного твердого топлива для энергетического использования в наибольшей мере соответствует бурый уголь Таловского месторождения.

В целом по совокупности теплотехнических свойств уголь Таловского месторождения значительно уступает привозному твердому топливу, особенно по теплоте сгорания. Поэтому, не входя в круг вопросов о реконструкции или модернизации действующего топливосжигающего оборудования, которые имеют самостоятельное значение, можно рассматривать несколько вариантов использования таловского угля как топлива для централизованного энергопроизводства, исключая непосредственное сжигание «сырого», свежедобытого угля. Во-первых, сжигание с предварительной подсушкой до величины влажности, не лимитирующей нормальное ведение топочного процесса. Во-вторых, сжигание в смеси с привозным углем, которое можно сочетать с первым вариантом. Еще одним вариантом может стать производство полукоксов, который пригоден для любых из имеющихся

в регионе технологий топливосжигания. В камерных топках пылеугольных котлов электростанций полукокс можно использовать не только как самостоятельное топливо, но и в смеси с сушённой таловского угля или с привозным углём. Использование полукокса для брикетирования позволит получать топливо для слоевых топков, составляющих основу муниципальных источников теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» // Собрание законодательства РФ. – 15.06.2020. – № 24. – Ст. 3847.
2. Распоряжение Правительства РФ от 13.06.2020 № 1582-р «Об утверждении Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года» // Собрание законодательства РФ. – 22.06.2020. – № 25. – Ст. 3963.
3. Постановление Государственной Думы Томской области от 28.02.2008 № 1008 «Об утверждении Энергетической стратегии Томской области на период до 2020 года» // Департамент промышленности и энергетики Администрации Томской области. 2008. URL: <https://depenerg.tomsk.gov.ru/files/front/download/id/43598> (дата обращения 12.03.2022).
4. Постановление Законодательной Думы Томской области от 26.03.2015 № 2580 «Об утверждении Стратегия социально-экономического развития Томской области до 2030 года» // Официальный интернет-портал Администрации Томской области. 2015. URL: <https://tomsk.gov.ru/files/front/download/id/34591> (дата обращения 12.03.2022).
5. Нефтегазовый комплекс России – 2020. Часть 1. Нефтяная промышленность – 2020: долгосрочные тенденции и современное состояние / И.В. Филимонова, В.Ю. Немов, И.В. Проворная и др. – Новосибирск: ИНГТ СО РАН, 2021. – 88 с.
6. Оценка современного состояния перспективных для освоения участков торфяных месторождений Томской области / А.А. Синюткина, А.А. Малолетко А.А. Беленко, Л.П. Гашкова, Ю.А. Харанжевская // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – Т. 28. – № 12. – С. 72–75.
7. Томская область: трудный выбор своего пути / В.А. Крюков, В.В. Шмат, В.И. Нефедкин, А.Е. Севастьянова, В.Ю. Силкин, А.Н. Токарев / под ред. В.В. Кулешова. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2014. – 260 с.
8. Черняев Е.В., Бернатонис В.К., Боярко Г.Ю. Твердые полезные ископаемые Томской области // Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых: Материалы Международной научно-технической конференции. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2001. – С. 361–368.
9. Myasnikov A. Reforestation and features of forest-forming processes in southeast of Western Siberia. Tomsk region, Russia // Indian Journal of Ecology. – 2021. – V. 48. – № 1. – P. 216–218.
10. Pelkki M.H., Kirillova N.V., Sedykh V.N. The forests of Western Siberia: new century, new role // Journal of Forestry. – 2001. – V. 99. – № 7. – P. 21–27.
11. Распоряжение губернатора Томской области от 30.04.2019 № 114-р «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Томской области на период 2020–2024 годов» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/467955148> (дата обращения 12.03.2022).
12. География Сибири в начале XXI века. Т. 5: Западная Сибирь / отв. ред. Ю.И. Винокуров, Б.А. Краснаярова. – Новосибирск: Гео, 2016. – 447 с.
13. Тайлашева Т.С., Красильникова Л.Г., Воронцова Е.С. Оценка вредных выбросов в атмосферу от котельных Томской области // Известия Томского политехнического университета. Теплоэнергетика. – 2013. – Т. 322. – № 4. – С. 52–55.
14. Ulmishek G.F. Petroleum geology and resources of the West Siberian Basin, Russia. – Reston Virginia: U.S. Geological Survey Bulletin 2201-G, 2003. – 49 p.
15. Новые перспективные объекты для открытия крупных месторождений нефти и газа на юго-востоке Томской области / В.В. Ростовцев, Е.Ю. Липихина, В.В. Лайнвебер, В.Н. Ростовцев // Геология нефти и газа. – 2019. – № 2. – С. 63–71.
16. Торфяные ресурсы Томской области и их использование / Л.И. Инишева, В.С. Архипов, С.Г. Маслов, Л.С. Михантьева. – Новосибирск: Редакционно-полиграфическое объединение СО РАСХН, 1995. – 88 с.
17. Нечепуренко А. Болотные перспективы // Недра и ТЭК Сибири. – 2013. – № 11 (89). – С. 13.
18. Geochemical and mineralogical features of the substrates of the Vasyugan Mire, Western Siberia, Russia / M. Rudmin, M.J. Wilson, L. Wilson, O. Savichev, T. Yakich, M. Shalbybin, A. Ruban, R. Tabakaev, K. Ibraeva, A. Mazurov // Catena. – 2020. – V. 194. – P. 104781.
19. Перспективы комплексного освоения Бакчарского железорудного месторождения (Западная Сибирь, Россия) / М.А. Рудмин, А.К. Мазуров, И.В. Рева, М.Д. Стеблецов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 10. – С. 85–94.
20. Применение новых технологий для освоения Бакчарского железорудного месторождения / Н.Х. Белоус, Е.Я. Горюхин, В.И. Лунёв, М.С. Паровинчак, Ю.В. Чесноков, А.Б. Шашкин // Томская горнодобывающая компания. Сборник публикаций к 5-летию ТомГДК. 2001–2005 гг. – Томск: STT, 2006. – С. 64–66.
21. Смольянинов С.И., Маслов С.Г. Термобрикетирование торфа. – Томск: Изд-во ТГУ, 1975. – 108 с.
22. Заворин А.С., Казаков А.В., Табакаев Р.Б. Экспериментальные предпосылки к технологии производства топливных брикетов из торфа // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 4. – С. 18–22.
23. Теплотехнология переработки низкосортного топлива в высококалорийные топливные брикеты / Р.Б. Табакаев, А.С. Заворин, А.В. Казаков, И.Г. Черемисин // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – № 6 (92). – С. 29–33.
24. Приказ Департамента лесного хозяйства Томской области от 15.02.2021 № 2 «Об утверждении ведомственной целевой программы Томской области «Повышение эффективности развития лесов Томской области на 2021–2023 годы» // Официальный интернет-портал Администрации Томской области. 2021. URL: <https://www.tomsk.gov.ru/documents/front/view/id/66156> (дата обращения 28.02.2022).
25. Отчёт о деятельности лесной отрасли Томской области за 2020 год // Департамент лесного хозяйства Томской области. 2021. URL: <https://deple.tomsk.gov.ru/files/front/download/id/303947> (дата обращения 12.03.2022).
26. Степанов В.И., Мезина Н.А. Отходы лесной промышленности и их использование в национальном хозяйстве // Вестник российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2012. – № 3 (45). – С. 83–88.
27. Воронцов Н. В списке регионов по объёму заготовки дров в 2020 году Томская область заняла четвертое место // Томская интернет газета. 2021. URL: <https://gt-tomsk.ru/news/v-spiske-regionov-po-obemu-zagotovki-drov-v-2020-godu-tomskaya-oblast-zanyala-chetvertoe-mesto> (дата обращения 28.02.2022).
28. Furniture wood waste as a potential renewable energy source / A. Plis, M. Kotyczka-Moranska, M. Kopczyński, G. Labojko // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2016. – V. 125. – № 3. – P. 1357–1371.
29. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review / M.J.C. van der Stelt, H. Gerhauser, J.H.A. Kiel, K.J. Ptasiński // Biomass and Bioenergy. – 2011. – V. 35. – № 9. – P. 3748–3762.

30. Biomass waste as sustainable raw material for energy and fuels / N.M. Clauser, G. Gonzalez, C.M. Mendieta, J. Kruijeniski, M.C. Area, M.E. Vallejos // Sustainability. – 2021. – V. 13. – № 2. – P. 794.
31. Feasibility of agriculture biomass power generation in Morocco: techno-economic analysis / A.A. Mana, A. Allouhi, K. Ouazzani, A. Jamil // Journal of Cleaner Production. – 2021. – V. 295. – P. 126293.
32. Thermal processing of biomass into high-calorific solid composite fuel / R. Tabakaev, I. Shanenkov, A. Kazakov, A. Zavorin // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2017. – V. 124. – P. 94–102.
33. Ash contents and ash-forming elements of biomass and their significance for solid biofuel combustion / S.V. Vassilev, C.G. Vassileva, Y.-C. Song, W.-Y. Li, J. Feng // Fuel. – 2017. – V. 208. – P. 377–409.
34. Schorling M., Enders C., Voigt C.A. Assessing the cultivation potential of the energy crop *Miscanthus × giganteus* for Germany // GCB Bioenergy. – 2015. – V. 7. – № 4. – P. 763–773.
35. Robinson A.L., Junker H., Baxter L.L. Pilot-scale investigation of the influence of coal-biomass cofiring on ash deposition // Energy Fuels. – 2002. – V. 16. – № 2. – P. 343–355.
36. Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) Fuels. Part III: fouling results from a 500,000 BTU/h pilot plant scale boiler burner / K. Annamalai, J. Sweeten, M. Freeman, M. Mathur, W. O'Dowd, G. Walbert, S. Jones // Fuel. – 2003. – V. 82. – № 10. – P. 1195–1200.
37. Test results from sugar cane bagasse and high fiber cane co-fired with fossil fuels / S.Q. Turn, B.M. Jenkins, L.A. Jakeway, L.G. Blevins, R.B. Williams, G. Rubenstein, C.M. Kinoshita // Biomass and Bioenergy. – 2006. – V. 30. – № 6. – P. 565–574.
38. Characteristics and conditions for ignition of bio-coal mixtures based on coal and forest combustible material / S.V. Syrodoy, G.V. Kuznetsov, N.Y. Gutareva, Zh.A. Kostoreva, A.A. Kostoreva, N.A. Nigay // Journal of the Energy Institute. – 2020. – V. 93. – № 5. – P. 1978–1992.
39. Thermal enrichment of different types of biomass by low-temperature pyrolysis / R. Tabakaev, I. Kanipa, A. Astafev, A. Zavorin, Y. Dubinin, N. Yazykov, V. Yakovlev // Fuel. – 2019. – V. 245. – P. 29–38.
40. Nunesa L.J.R., Matias J.C.O., Catalao J.P.S. A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – V. 40. – P. 153–160.
41. Vershinina K.Yu., Shlegel N.E., Strizhak P.A. Impact of environmentally attractive additives on the ignition delay times of slurry fuels: Experimental study // Fuel. – 2019. – V. 238. – P. 275–288.
42. Emission characteristics of PCDD/Fs, PAHs and PCBs during the combustion of sludge-coal water slurry / X. Zhao, W. Zhu, J. Huang, M. Li, M. Gong // Journal of the Energy Institute. – 2015. – V. 88. – № 2. – P. 105–111.
43. Проект комплексного освоения Таловского бурогоугольного месторождения / В.С. Скобельский, Ю.Н. Нисковский, В.И. Лунев, К.М. Паровинчак // Томская горнодобывающая компания. Сборник публикаций к 5-летию ТомГДК. 2001–2005 гг. – Томск: STT, 2006. – С. 68–69.
44. Теплотехнические свойства углей Таловского месторождения Томской области / А.С. Заворин, С.К. Карякин, С.Г. Маслов, В.И. Николаева, С.Х. Сиразитдинова, О.А. Ласовская // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. – № 2. – С. 131–136.
45. Казакова О.А., Заворин А.С., Казаков А.В. Оценка технологических параметров при энергетическом использовании угля Таловского месторождения Томской области // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 4. – С. 45–50.
46. Investigation of the elemental and technical composition and thermophysical properties of coal samples from the Talovsky deposit of Siberia / A.S. Zavorin, V.I. Salomatov, R.B. Tabakaev, V.A. Karelin, V.V. Salomatov // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1128. – P. 012101.
47. Казакова О.А., Заворин А.С., Казаков А.В. Исследование угля Таловского месторождения Томской области. – Томск: STT, 2010. – 172 с.
48. Скуратов А.П., Козлов С.Г. Топочные процессы при сжигании шлакующих канско-ачинских углей: монография. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2021. – 172 с.
49. Серант Ф.А. Пылеугольные котлы с кольцевой топкой для крупных энергоблоков. Издание второе, переработанное и дополненное результатами освоения и испытаний первого промышленного котла 820 т/ч с кольцевой топкой. – Кемерово: Изд-во ООО «Фортуна Принт», 2021. – 256 с.
50. Табакаев Р.Б., Казаков А.В., Заворин А.С. Перспективность низкосортных топлив Томской области для теплотехнологического использования // Известия Томского политехнического университета. Теплоэнергетика. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 41–46.

Поступила: 20.04.2022 г.

Информация об авторах

Заворин А.С., доктор технических наук, профессор научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Тайлашева Т.С., кандидат технических наук, доцент научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Буваков К.В., кандидат технических наук, доцент научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Долгих А.Ю., старший преподаватель научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Воронцова Е.С., ассистент научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 620.91(571.16)

FUEL RESOURCES OF TOMSK REGION FOR ALTERNATIVE ENERGY USAGE

Alexander S. Zavorin¹,
zavorin@tpu.ru

Tatyana S. Taylasheva¹,
taylasheva@tpu.ru

Konstantin V. Buvakov¹,
kvb@tpu.ru

Aleksandr Yu. Dolgikh¹,
shurad@tpu.ru

Elena S. Vorontsova¹,
ves@tpu.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Relevance of the research is determined by the importance of rationalized regional fuel and energy balance plan organization which is directed towards overcoming dependence on outsourced (imported) fuel resources. This conduces to energy security of the territories and correlates to the goals of environmental protection strategy and energy efficiency.

Goal: comparing local fuel resources by the suitability for effective usage in the fuel and energy balance plan of Tomsk region.

Objects: fuel and energy complex of Tomsk region and its current balance; region fuel and energy resources, oil and gas hydrocarbons, brown coal, peat, green biomasses in forms of natural and anthropogenic organic fuel.

Methods: systematizing information from open sources, analytical review and appraisal procedure.

Results. Brief characteristic of Tomsk region energy balance shows its energy deficiency. The publications regarding fuel energy complex of region are summed up. Tendency of increasing unsatisfaction of demand on energy consumption was confirmed as well as low level of competitiveness comparing to other members of United energy system of Siberia. All variety of region's fuel storages which can be defined as fuel energy resources were examined, the level of their research, the proved and evaluated reserves as well the accessibility of their location to potential consumers were examined too. The information about heat engineering qualities of local fuel and energy resources are provided as well as information regarding possibilities of their usage with account of characteristics of presented equipment of energy companies.

Conclusion. The brown coal of Talovsk deposit meets the main selection criterion for alternative fossil fuel for energy usage unlike other candidates.

Key words:

Tomsk region, fuel and energy balance of the region, fuel and energy resources, local alternative fuel sources, Talovsk brown coal deposit.

REFERENCES

1. *Rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 09.06.2020 № 1523-r «Ob utverzhdenii Energeticheskoy strategii Rossiyskoy Federatsii na period do 2035 goda»* [Decree of the Government of the Russian Federation dated June 9, 2020 no. 1523-r «On approval of the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035»]. *Sobranie zakonodatelstva RF*, 15.06.2020, no. 24, St. 3847.
2. *Rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 13.06.2020 № 1582-r «Ob utverzhdenii Programmy razvitiya ugolnoy promyshlennosti Rossii na period do 2035 goda»* [Decree of the Government of the Russian Federation dated June 13, 2020 no. 1582-r «On Approval of the program for the development of the Russian coal industry for the period up to 2035»]. *Sobraniye zakonodatelstva RF*, 22.06.2020, no. 25, St. 3963.
3. *Postanovlenie Gosudarstvennoy Dumi Tomskoy oblasti ot 28.02.2008 № 1008 «Ob utverzhdenii Energeticheskoy strategii Tomskoy oblasti na period do 2020 goda»* [Decree of the State Duma of the Tomsk Region dated February 28, 2008 no. 1008 «On approval of the Energy Strategy of the Tomsk Region for the period up to 2020»]. Available at: <https://depenerg.tomsk.gov.ru/files/front/download/id/43598> (accessed 12 March 2022).
4. *Postanovlenie Zakonodatelnoy Dumi Tomskoy oblasti ot 26.03.2015 № 2580 «Ob utverzhdenii Strategiya sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Tomskoy oblasti do 2030 goda»* [Decree of the Legislative Duma of the Tomsk Region dated March 26, 2015 no. 2580 «On Approval of the Strategy for the Social and Economic Development of the Tomsk Region until 2030»]. Available at: <https://tomsk.gov.ru/files/front/download/id/34591> (accessed 12 March 2022).
5. Filimonova I.V., Nemov V.Yu., Provornaya I.V. *Neftegazovy kompleks Rossii – 2020. Chast 1. Neftyanaya promyshlennost – 2020: dolgochnyye tendentsii i sovremennoe sostoyaniye* [Oil and gas complex of Russia – 2020. Part 1. Oil industry – 2020: long-term trends and current state]. Novosibirsk, INGG SO RAN Publ., 2021. 88 p.
6. Sinyutkina A.A., Maloletko A.A., Belenko A.A., Gashkova L.P., Kharanzhevskaya Y.A. Assessments of the current state of the peatlands prospective areas for their wise use in Tomsk region. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*, 2014, vol. 28, no. 12, pp. 72–75. In Rus.
7. Kryukov V.A., Shmat V.V., Nefedkin V.I., Sevastyanova A.E., Silkin V.Yu., Tokarev A.N. *Tomskaya oblast: trudnyy vybor svoego puti* [Tomsk region: a difficult choice of one's path]. Novosibirsk, IEOPP SO RAN Publ., 2014. 260 p.
8. Chernyaev E.V., Bernatonis V.K., Boyarko G.Yu. *Tverdye poleznyye iskopayemye Tomskoy oblasti* [Solid minerals of the Tomsk region]. *Regionalnaya geologiya. Geologiya mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii*. [Regional geology. Geology of mineral deposits. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Tomsk, National Research Tomsk Polytechnic University Publ., 2001. pp. 361–368.
9. Myasnikov A. Reforestation and features of forest-forming processes in southeast of Western Siberia. Tomsk region, Russia. *Indian Journal of Ecology*, 2021, vol. 48, no. 1, pp. 216–218.

10. Pelkki M.H., Kirillova N.V., Sedykh V.N. The forests of Western Siberia: new century, new role. *Journal of Forestry*, 2001, vol. 99, no. 7, pp. 21–27.
11. *Rasporyazhenie gubernatora Tomskoy oblasti ot 30.04.2019 № 114-r «Ob utverzhdenii skhemy i programmy razvitiya elektroenergetiki Tomskoy oblasti na period 2020–2024 godov»* [Order of the Governor of the Tomsk Region dated April 30, 2019 No. 114-r «On Approval of the Scheme and Program for the Development of the Electric Power Industry of the Tomsk Region for the Period 2020–2024»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/467955148> (accessed 12 March 2022).
12. Vinokurov Yu.I., Krasnoyarova B.A. *Geografiya Sibiri v nachale XXI veka. T. 5: Zapadnaya Sibir* [Geography of Siberia in the early 21st century. Vol. 5: Western Siberia]. Novosibirsk, Geo Publ., 2016. 447 p.
13. Taylasheva T.S., Krasilnikova L.G., Estimation of harmful emissions into the atmosphere from boiler houses of the Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no. 4. pp. 52–55. In Rus.
14. Ulmishek G.F. *Petroleum geology and resources of the West Siberian Basin, Russia*. Reston Virginia, U.S. Geological Survey Bulletin 2201-G, 2003. 49 p.
15. Rostovtsev V.V., Lipikhina E.Yu., Lainveber V.V., Rostovtsev V.N. New exploration targets for large oil and gas fields discovery in the south-east of Tomsk region. *Oil and gas geology*, 2019, no. 2, pp. 63–71. In Rus.
16. Inisheva L.I., Arkhipov V.S., Maslov S.G., Mikhanteyeva L.S. *Torfyanye resursy Tomskoy oblasti i ikh ispolzovanie* [Peat resources of the Tomsk region and their use]. Novosibirsk, SO RASKHN Publ., 1995. 88 p.
17. Nechepurenko A. Bolotnye perspektivy [Swamp prospects]. *Nedra i TEK Sibiri*, 2013, no. 11 (89), pp. 13.
18. Rudmin M., Wilson M.J., Wilson L., Savichev O., Yakich T., Shaldybin M., Ruban A., Tabakaev R., Ibraeva K., Mazurov A. Geochemical and mineralogical features of the substrates of the Vasyugan Mire, Western Siberia, Russia. *Catena*, 2020, vol. 194, pp. 104781.
19. Rudmin M.A., Mazurov A.K., Reva I.V., Stebletsov M.D. Prospects of integrated development of Bakchar iron deposit (Western Siberia, Russia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2018, vol. 329, no. 10. pp. 85–94. In Rus.
20. Belous N.H., Goryukhin E.Ya., Lunov V.I., Parovinchak M.S., Chesnokov Yu.V., Shashkin A.B. *Primenenie novykh tekhnologiy dlya osvoiniya Bakcharskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya* [Application of new technologies for the development of the Bakchar iron ore deposit]. *Tomskaya gornodobyvayushchaya kompaniya. Sbornik publikatsiy k 5-letiyu TomGDK. 2001–2005 gg.* [Tomsk Mining Company. Collection of publications for the 5th anniversary of TomGDK. 2001–2005]. Tomsk, STT Publ., 2006. pp. 64–66.
21. Smolyaninov S.I. *Termobriketirovanie torfa* [Thermal briquetting of peat]. Tomsk, TGU Publ., 1975. 108 p.
22. Zavorin A.S., Kazakov A.V., Tabakaev R.B. Experimental prerequisites for the technology of production of fuel briquettes from peat. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 320, no. 4, pp. 18–22. In Rus.
23. Tabakaev R.B., Zavorin A.S., Kazakov A.V., Cheremisin I.G. Thermotechnological processing of low-grade fuel in high-calorie fuel briquettes. *Energoberezhenie i vodopodgotovka*, 2014, no. 6 (92), pp. 29–33. In Rus.
24. *Prikaz Departamenta lesnogo khozyaystva Tomskoy oblasti ot 15.02.2021 № 2 «Ob utverzhdenii vedomstvennoy tselevoy programmy Tomskoy oblasti «Povyshenie effektivnosti razvitiya lesov Tomskoy oblasti na 2021–2023 gody»* [Order of the Department of Forestry of the Tomsk Region dated February 15, 2021 No. 2 «On Approval of the Departmental Target Program of the Tomsk Region «Improving the Efficiency of Forest Development in the Tomsk Region for 2021–2023»]. Available at: <https://www.tomsk.gov.ru/documents/front/view/id/66156> (accessed 28 February 2022).
25. *Otchet o deyatelnosti lesnoy otrasli Tomskoy oblasti za 2020 god* [Report on the activities of the forest industry of the Tomsk region for 2020]. Available at: <https://deples.tomsk.gov.ru/files/front/download/id/303947> (accessed 12 March 2022).
26. Stepanov V.I., Mezina N.A. Otkhody lesnoy promyshlennosti i ikh ispolzovanie v natsionalnom khozyaystve [Waste of the forestry industry and their use in the national economy]. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova*, 2012, no. 3 (45), pp. 83–88.
27. Vorontsov N. *V spiske regionov po obyemu zagotovki drov v 2020 godu Tomskaya oblast zanyala chetvertoe mesto* [In the list of regions in terms of the volume of firewood harvested in 2020, the Tomsk region took fourth place]. Available at: <https://gt-tomsk.ru/news/v-spiske-regionov-po-obemu-zagotovki-drov-v-2020-godu-tomskaya-oblast-zanyala-chetvertoe-mesto> (accessed 12 March 2022).
28. Plis A., Kotyczka-Moranska M., Kopczynski M., Labojko G. Furniture wood waste as a potential renewable energy source. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2016, vol. 125, no. 3, pp. 1357–1371.
29. Van der Stelt M.J.C., Gerhauser H., Kiel J.H.A., Ptasiński K.J. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: a review. *Biomass and Bioenergy*, 2011, vol. 35, no. 9, pp. 3748–3762.
30. Clauser N.M., Gonzalez G., Mendieta C.M., Kruiyanski J., Arrea M.C., Vallejos M.E. Biomass Waste as Sustainable Raw Material for Energy and Fuels. *Sustainability*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 794.
31. Mana A.A., Allouhi A., Ouazzani K., Jamil A. Feasibility of agriculture biomass power generation in Morocco: Techno-economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 295, pp. 126293.
32. Tabakaev R., Shanenkov I., Kazakov A., Zavorin A. Thermal processing of biomass into high-calorific solid composite fuel. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2017, vol. 124, pp. 94–102.
33. Vassilev S.V., Vassileva C.G., Song Y.-C., Li W.-Y., Feng J. Ash contents and ash-forming elements of biomass and their significance for solid biofuel combustion. *Fuel*, 2017, vol. 208, pp. 377–409.
34. Schorling M., Enders C., Voigt C.A. Assessing the cultivation potential of the energy crop *Miscanthus × giganteus* for Germany. *GCB Bioenergy*, 2015, vol. 7, no. 4, pp. 763–773.
35. Robinson A.L., Junker H., Baxter L.L. Pilot-Scale Investigation of the Influence of Coal-Biomass Cofiring on Ash Deposition. *Energy Fuels*, 2002, vol. 16, no 2, pp. 343–355.
36. Annamalai K., Sweeten J., Freeman M., Mathur M., O'Dowd W., Walbert G., Jones S. Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) Fuels. P. III: fouling results from a 500,000 BTU/h pilot plant scale boiler burner. *Fuel*, 2003, vol. 82, no. 10, pp. 1195–1200.
37. Turn S.Q., Jenkins B.M., Jakeway L.A., Blevins L.G., Williams R.B., Rubenstein G., Kinoshita C.M. Test results from sugar cane bagasse and high fiber cane co-fired with fossil fuels. *Biomass and Bioenergy*, 2006, vol. 30, no. 6, pp. 565–574.
38. Syrodoev S.V., Kuznetsov G.V., Gutareva N.Y., Kostoreva Zh.A., Kostoreva A.A., Nigay N.A. Characteristics and conditions for ignition of bio-coal mixtures based on coal and forest combustible material. *Journal of the Energy Institute*, 2020, vol. 93, no. 5, pp. 1978–1992.
39. Tabakaev R., Kanipa I., Astafev A., Zavorin A., Dubinin Y., Yazykov N., Yakovlev V. Thermal enrichment of different types of biomass by low-temperature pyrolysis. *Fuel*, 2019, vol. 245, pp. 29–38.
40. Nunes L.J.R., Matias J.C.O., Catalao J.P.S. A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol. 40, pp. 153–160.
41. Vershinina K.Yu., Shlegel N.E., Strizhak P.A. Impact of environmentally attractive additives on the ignition delay times of slurry fuels: Experimental study. *Fuel*, 2019, vol. 238, pp. 275–288.
42. Zhao X., Zhu W., Huang J., Li M., Gong M. Emission characteristics of PCDD/Fs, PAHs and PCBs during the combustion of sludge-coal water slurry. *Journal of the Energy Institute*, 2015, vol. 88, no. 2, pp. 105–111.
43. Skobelsky V.S., Niskovsky Yu.N., Lunev V.I., Parovinchak K.M. *Proekt kompleksnogo osvoiniya Talovskogo burougnolnogo mestorozhdeniya* [The project for the integrated development of the Talovskoe lignite deposit]. *Tomskaya gornodobyvayushchaya kompaniya. Sbornik publikatsiy k 5-letiyu TomGDK. 2001–2005 gg.* [Tomsk Mining Company. Collection of publications for the 5th anniversary of TomGDK. 2001–2005]. Tomsk, STT Publ., 2006. pp. 68–69.
44. Zavorin A.S., Karyakin S.K., Maslov S.G., Nikolaeva V.I., Sirazitdinova S.Kh., Lasovskaya O.A. Thermal properties of coals of

- the Talovsky deposit of the Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2002, vol. 305, no. 2, pp. 131–136. In Rus.
45. Kazakova O.A., Zavorin A.S., Kazakov A.V. Evaluation of technological parameters in the energy use of coal from the Talovsky deposit of the Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 4, pp. 45–50.
 46. Zavorin A.S., Salomatov V.I.V., Tabakaev R.B., Karelin V.A., Salomatov V.V. Investigation of the elemental and technical composition and thermophysical properties of coal samples from the Talovsky deposit of Siberia. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1128, pp. 012101.
 47. Kazakova O.A., Zavorin A.S., Kazakov A.V. *Issledovaniye uglya Talovskogo mestorozhdeniya Tomskoy oblasti* [Research of coal of the Talovsky deposit of the Tomsk region]. Tomsk, STT Publ., 2010. 172 p.
 48. Skuratov A.P., Kozlov S.G. *Topochnye protsessy pri szhiganiy shlakuyushchikh kansko-achinskikh ugley: monografiya* [Fire-fronts when burning slaging of Canco-Achinsky coal: monograph]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University Publ., 2021. 172 p.
 49. Serant F.A. *Pyleugolnye kotly s koltsevoy topkoy dlya krupnykh energoblokov. Izdanie vtoroe, pererabotannoye i dopolnennoye rezultatami osvoiniya i ispytaniy pervogo promyshlennogo kotla 820 t/ch s koltsevoy topkoy* [Dust carbon boilers with ring firebox for large power units. The second publication, revised and supplemented by the results of the development and testing of the first industrial boiler 820 t/h with an annular firebox]. Kemerovo, «Fortuna Print» Publ., 2021. 256 p.
 50. Tabakaev R.B., Kazakov A.V., Zavorin A.S. Prospects of using low-grade fuels of Tomsk region for thermal technology use. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 4, pp. 41–46. In Rus.

Received: 20 April 2022.

Information about the authors

Alexander S. Zavorin, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Tatyana S. Taylasheva, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Konstantin V. Buvakov, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Aleksandr Yu. Dolgikh, senior lecturer, National Research Tomsk Polytechnic University.

Elena S. Vorontsova, assistant, National Research Tomsk Polytechnic University.