



Перспективы использования энергетических углей Иркутской области

© Л.Н. Такайшвили, Г.В. Агафонов

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Россия

Резюме: Цель – оценка направлений и перспектив использования энергетических углей Иркутской области для нужд электро- и теплоэнергетики с учетом возможного экспорта электроэнергии в страны Юго-Восточной Азии, а также в качестве сырья для нужд углехимии. Исследования проведены с применением методов системного анализа: анализ и синтез, формализация и конкретизация, структурирование и реструктурирование, классификация. При анализе балансовых запасов энергетических углей впервые выделена категория местных, особенностью которых являются их низкокачественные характеристики и удаленность от населенных пунктов и транспортных коммуникаций, также дана их ресурсная оценка – 0,54 млрд т. Получена оценка извлекаемых запасов местных углей – 260 млн т и рассчитан потенциально возможный уровень добычи местных углей. Рассмотрены тенденции потребления энергетических углей области в ретроспективе и возможные направления использования в перспективе. Показано, что наиболее востребованным направлением является использование углей для нужд энергетики, в основном на теплоэлектростанциях. Показаны расчетные объемы потребления углей двух экспортных теплоэлектростанций – Мугунской и Ишидейской, соответственно – 11 и 6 млн т. По расчетам авторов, доля выработки электроэнергии на угольных теплоэлектростанциях в зависимости от реализации варианта ее экспорта может возрасти по сравнению с уровнем 2019 г. в 1,5–2,1 раза. Наличие значительных запасов энергетических углей области позволяет рассматривать их как надежный источник энергоресурсов для электро- и теплоэнергетики, в том числе для экспорта электроэнергии, и как перспективное сырье для нужд углехимии. Потенциальные возможности добычи углей оцениваются в 50–60 млн т в год, в том числе местных – 6,5 млн т. Возможности добычи значительно превышают их востребованность как в настоящее время, так на перспективу.

Ключевые слова: энергетический уголь, балансовые запасы, восточные регионы России, потребление, добыча, проекты

Благодарности: Исследование выполнено в рамках научных проектов: XI.174.2. программы фундаментальных исследований СО РАН, рег. № AAAA-A17-117030310435-0, и проекта III.17.6.1 государственного задания, рег. № AAAA-A17-117030310445-9.

Для цитирования: Такайшвили Л.Н., Агафонов Г.В. Перспективы использования энергетических углей Иркутской области. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2020. Т. 24. № 6. С. 1271–1284. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-6-1271-1284>

Application prospects of Irkutsk region thermal coals

Lyudmila N. Takaishvili, Gleb V. Agafonov

Melentiev Energy System Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Abstract: The purpose of the paper is to assess application directions and prospects of Irkutsk region power generating coals for the needs of electric and heat power engineering with regard to the possible export of electrical energy to the countries of South-East Asia, and use as raw materials for coal chemistry needs. The research is carried out using the methods of system analysis involving analysis and synthesis, formalization and concretization, structuring and restructuring, classification. It is the first time when the category of local power generating coals is distinguished under the analysis of the balance reserves of thermal coals. Their feature is low-quality and remoteness from settlements and transportation lanes. Their resource estimate is also given – 0.54 billion tons. An estimate of the recoverable reserves of local coals is obtained: it is 260 million tons. The potential level of local coal production is calculated. A retrospect of consumption trends of regional thermal coals is given and possible application directions are considered in the long run. It is shown that the most demanded direction is the use of coals for energy needs, mainly at thermal power plants. The calculated volumes of coal consumption of two export TPPs, Mugunskaya and Ishideiskaya, are respectively 11 and 6 million tons. According to the authors' calculations, the percentage of electrical energy generation at coal-fired TPPs depending on its export variant implementation can increase by 1.5 – 2.1 times as compared with the level of 2019. Availability of signifi-

cant reserves of power generating coals in the region makes them a reliable source of energy resources for the electric and thermal power industry, including the export of electrical energy and a promising raw material for the needs of coal chemistry. Potential capacity of coal mining is estimated at 50-60 million tons per year, including 6.5 million tons of local coals. Production potential of coal significantly exceeds its demand both at present and in the future.

Keywords: power generating (thermal) coal, balance reserves, Eastern regions of Russia, consumption, coal production, projects

Acknowledgements: The research has been carried out within the frameworks of the scientific projects XI.174.2., the program of fundamental research SB RAS, reg. no. AAAA-A17-117030310435-0 and the project III.17.6.1 of the state assignment, reg. no. AAAA-A17-117030310445-9.

For citation: Takaishvili LN, Agafonov GV. Application prospects of Irkutsk region energy coals. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2020;24(6): 1271–1284. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-6-1271-1284>

ВВЕДЕНИЕ

Иркутская область располагает значительными запасами энергоресурсов: гидро-ресурсы, уголь, нефть и природный газ. В настоящее время основными ресурсами для выработки электроэнергии в области являются гидроресурсы и уголь. Угольные электростанции всегда играли важную роль в энергосистеме Восточной Сибири и Иркутской области в частности. Иркутская энергосистема является одной из крупнейших энергосистем России¹. Доля Иркутской области от объемов выработки электроэнергии в России составляет 6,2%, при доле численности населения области 1,68%. Уголь является основным видом топлива, потребляемым на электростанциях Иркутской области. Угледобывающие предприятия являются градообразующими в регионах добычи угля.

Проектом Программы Развития угольной промышленности России на период до 2035 г. основное развитие угледобычи планируется за счет восточных регионов России², в результате к 2035 г. доля восточных регионов в прогнозируемых объемах добычи угля увеличится с 35% до 45–49% [1]. При этом на территории Сибири и Дальнего Востока предусмотрена реализация целого ряда проектов, предполагающих строительство 7 но-

вых угольных ТЭС и модернизацию 12 действующих². В предыдущей редакции программы³, принятой в июне 2014, рассматривалось сооружение новых крупных угольных электростанций в Иркутской области, предназначенных не только для удовлетворения внутренней потребности, но и для экспорта электроэнергии. В настоящее время проекты сооружения в области таких угольных электростанций рассматриваются как потенциально возможные как к 2035 году, но и в более отдаленной перспективе.

Согласно средне- и долгосрочным прогнозам, в перспективе сохранится как динамика роста мирового потребления угля, так и общая международная торговля углем, причем рост торговли связан в первую очередь с растущим (4–5% в год) рынком стран Азиатско-Тихоокеанского региона [1]. Это подтверждается и прогнозами, составленными «BP Energy Outlook – 2019 edition»⁴ и «EnerOutlook 2050»⁵: спрос на первичные энергоресурсы и на электроэнергию в странах Юго-Восточной Азии в перспективе возрастет [2, 3], что создаст благоприятные условия для строительства в Иркутской области электростанций, ориентированных на экспорт электроэнергии в эти страны, и в первую очередь, в Китай.

¹Схема и программа развития электроэнергетики Иркутской области на 2021–2025 гг. Утв. указом № 124-уг Губернатора Иркутской области от 29.04.2020.

²Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 г. Утв. распор. № 1582-р Правительства Российской Федерации от 13.06.2020.

³Долгосрочная программа развития угольной промышленности России на период до 2030 г. Утв. распоряжением № 1099-р Правительства Российской Федерации от 21.06.2014.

⁴BP Energy Outlook – 2019 edition [Электронный ресурс]. URL: <https://nangs.org/analytics/bp-bp-energy-outlook-pdf.xlsx-pptx> (19.08.2020).

⁵EnerOutlook 2050 [Электронный ресурс]. URL: <https://eneroutlook.enerdata.net/> (21.08.2020).



ЗАПАСЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ

В пределах Иркутской области находятся три основных угольных бассейна – Иркутский, Канско-Ачинский и Тунгусский [4]. На территории этих бассейнов выделяется свыше двух десятков крупных угольных месторождений, а, кроме того, на северо-востоке области находится еще ряд более мелких месторождений угля в районе Предбайкальского геологического прогиба. По состоянию на 01.01.2019 г. всего на территории области располагается 24,7 млрд т прогнозных ресурсов угля и 14,7 млрд т разведанных запасов по категориям $A+B+C_1+C_2$, а также 10 млрд т забалансовых запасов, которые со временем могут быть переведены в балансовые [5] (табл. 1). Разрабатывается и подготовлено к освоению 3,36 млрд т – 40,7%. Доля энергетических углей в балансовых запасах составляет около 90%.

Таблица 1. Запасы Иркутской области по видам угля и способу отработки, млрд т

Table 1. Irkutsk region reserves by coal types and mining methods, billion tons

Вид угля, способ отработки	Категория запасов		
	A+B+C ₁	C ₂	A+B+C ₁ +C ₂
Всего, в т.ч.	8,06	6,63	14,69
коксующийся	0,75	0,56	1,31
энергетический, их них:	7,31	6,07	13,38
бурый	2,19	0,78	2,97
каменный	5,12	5,29	10,41
Для открытой разработки, всего, в т.ч.	7,7	4,54	12,24
энергетический	7,03	0	7,03

От объемов балансовых запасов категорий $A+B+C_1$ для отработки наиболее эффективным открытым способом пригодно 95,5%. Основные запасы угля сосредоточены на трех месторождениях Иркутского бассейна: Каранцайском, Мугунском и Ишидейском. Месторождения расположены на территории густонаселенной южной части области с развитой транспортной инфраструктурой, что важно для создания крупных объектов энергетики. Условия залегания угольных пластов являются благоприятными для отработки открытым способом.

Обеспеченность запасами энергетических углей в Иркутской области при современном уровне добычи составляет около 700 лет, что позволяет рассматривать уголь как надежный источник топлива для энергетики.

Качество углей месторождений крайне неоднородно, даже в пределах одного бассейна. Таким образом, из более десятка месторождений Иркутского бассейна на большей части из них среднее содержание серы колеблется от 0,4% до 2,0%, в то время как на Мугунском, Каранцайском и Новометелкинском месторождениях угли характеризуются высоким содержанием органической серы – до 5,7% [6]. Характерным примером территориальной неоднородности содержания серы в угольных пластах является одно из месторождений бурых углей Предбайкальского прогиба – Хандинское, где угли в восточной его части малосернистые, а в западной – сернистые и высокосернистые.

Практически на каждом месторождении есть доля углей, которые можно отнести к низкокачественным [5–6]. В первую очередь это бурые угли, которые, зачастую малотранспортабельны, а среди каменных – низкосортные тощие и окисленные.

Ресурсы низкокачественных энергетических углей нераспределенного фонда для Иркутской области составляют 2,2 млрд т, или 15% от разведанных (табл. 2).

Таблица 2. Запасы Иркутской области

низкокачественных и местных углей по видам, млрд т
Table 2. Irkutsk region reserves of low-quality and local coals by types, billion tons

Вид и категория угля	Категория запасов		
	A+B+C ₁	C ₂	A+B+C ₁ +C ₂
Бурый низкокачественный	1,53	0,56	2,09
Местные из бурого	0,13	0,31	0,44
Каменный низкокачественный	0,03	0,08	0,11
Местные из каменного	0,02	0,08	0,10
Всего низкокачественных	1,56	0,64	2,20
Всего местных	0,15	0,39	0,54

Основная их часть приходится на бурые и лишь незначительная на каменные – 5%. Из этих месторождений был выделен ряд таких, которые из-за крайней удаленности от по-

тенциальных потребителей и отсутствия транспортной инфраструктуры наиболее целесообразно использовать на месте добычи. С учетом этих двух признаков далее такие угли обозначим как «местные» (см. табл. 2).

Наиболее крупными из местных бурогольных месторождений являются два месторождения Предбайкальского прогиба – Хандинское в Казачинско-Ленском районе и Тулонское в Качугском районе. Предварительная оценка геологических запасов каждого превышает 500 млн т [6]. В районе Предбайкальского прогиба есть еще несколько менее крупных бурогольных месторождений – Мостовское, Корсаковское, Булузинское, Харанурское и Лапхайское с оцененными запасами и прогнозными ресурсами каждого в пределах 12–82 млн т. На западе Иркутской области в Тайшетском районе есть несколько угольных месторождений Канско-Ачинского бассейна – Конторское, Шиткинское и Урало-Ключевское, которые также могут быть отнесены к местным [6].

Из месторождений каменных углей к местным относятся отдельные участки углей марок «тощие» и «окисленные» Жеронского месторождения Тунгусского бассейна (Веринский, Жеронский, Зелендинский). К ним также отнесены имеющиеся там угли марок, используемых в энергетике – Т, А и Д, Т [6]. Суммарная величина балансовых запасов этих углей, пригодных для добычи открытым способом, составляет 101 млн т.

Геологические особенности залегания угольных пластов местных углей и неоднородность их качества для большинства месторождений могут потребовать применения технологий, связанных с селективной отработкой, что приведет, соответственно, к удорожанию добычи. Суммарные балансовые запасы всех местных углей составляют 0,54 млрд т, или 24% от суммарных балансовых запасов низкокачественных углей (см. табл. 2). В настоящее время большая часть этих запасов являются слабоизученными и, соответственно, невостребованными. В перспективе с развитием экономики и энергетики области значительная их часть может быть вовлечена в использование.

РЕСУРСНАЯ БАЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ И ВОЗМОЖНОСТЬ ДОБЫЧИ МЕСТНЫХ УГЛЕЙ

Наличие значительных запасов энергетических углей в области позволяет рассматривать их как надежный энергетический ресурс на длительную перспективу не только для развития угольной энергетики, но также и для использования в качестве сырья, отвечающего требованиям углехимии [7]. Наиболее перспективными для развития угольной энергетики являются два месторождения Иркутского бассейна – Мугунское и Ишидейское, расположенные в районах с развитой транспортной инфраструктурой, вблизи от Восточно-Сибирской железной дороги.

Балансовые запасы категорий А+В+С₁ Мугунского бурогольного месторождения составляют 1,64 млрд т. Низшая теплота сгорания угля 18–20,6 МДж/кг, содержание золы 16–21%, серы 0,5–1,6%, общей влаги 14–15%. Содержание ценных элементов в углях не превышает подлежащих количественной оценке, кроме германия. Повышенное содержание германия (до 2,9 г/т) наблюдается в виде отдельных вкраплений сложной конфигурации, расположенных в разрезе пластов без какой-либо закономерности [5]. Строительство угольной ТЭС на Мугунском месторождении угля планируется за счет расширения мощности действующего Мугунского разреза с 6 млн т до 13 млн т.

Балансовые запасы категорий А+В+С₁ Ишидейского каменноугольного месторождения составляют 0,83 млрд т. Низшая теплота сгорания угля составляет 21–31 МДж/кг, содержание золы 17–20%, серы 0,5–1,8%, общей влаги 14–15%. Особенности разработки Ишидейского месторождения угля связаны с сложными гидрологическими и горнотехническими условиями разработки месторождения: наличие водоносного комплекса, широкое развитие на площади карьерного поля речной сети, интенсивная заболоченность (80% от площади) и распространение островной мерзлоты (30%), шестибалльная сейсмичность. Месторождение предполагается разрабатывать открытым способом. При разработке месторождения потребуются большой комплекс работ по мелиорации заболочен-



ных долин рек Ишидей и Икей. Ценных компонентов и малых элементов в углях и вмещающих породах, подлежащих количественной оценке, не выявлено. В непосредственной близости от месторождения выявлены проявления строительных материалов (песчано-гравийная смесь, глины, строительный камень) [5]. Небольшие объемы угля с низким содержанием серы добываются на месторождении Жилпоселок. Для строительства электростанции предполагается создание нового угольного разреза мощностью 12 млн т/год. Ограничением для востребованности угля месторождения как энергоносителя служит высокое содержание серы на большинстве участков месторождения. Содержание токсичных и потенциально токсичных элементов этих месторождений не превышает предельно допустимых концентраций.

Хандинское месторождение местных бурых углей расположено в 46 км от п. Магистральный и 7 км от п. Казачинское вблизи от железнодорожной трассы БАМ. Балансовые запасы категорий $A+B+C_1$ месторождения составляют 0,44 млрд т. Низшая теплота сгорания угля 6,8 МДж/кг, содержание золы 25%, серы 1,5%. Угли взрывоопасны по пыли, неустойчивы к окислению, но могут быть использованы как низкосортное энергетическое топливо [5]. При отсутствии конкуренции с газом Ковыктинского месторождения возможно использование Хандинских углей в качестве котельно-печного топлива в близлежащих поселках, где преобладает неблагоустроенное жилье с печным отоплением. Особую уникальность и ценность Хандинские угли представляют для углехимии. Уголь содержит 70% гуминовых кислот и по своему качественному составу является перспективным сырьем для получения буроугольного воска, углещелочных реагентов и препаратов гуминовых кислот, а также производства органоминеральных удобрений для северных районов области [5]. К настоящему времени накоплен многолетний опыт изучения состава и свойств битуминозных углей Хандинского месторождения, а также других бурых углей, пригодных для углехимии, и получены рекомендации по их перспективному применению [8–11].

Конторское месторождение расположено в Тайшетском районе Иркутской области, 15 км севернее г. Тайшет, в 5 км деревни Конторка и в 15 км от железнодорожной станции Юрты. Балансовые запасы категорий $A+B+C_1$ Конторского месторождения составляют 1,5 млн т. Содержание золы 15%, серы 0,8%. Требуется доразведка. В районе развита лесная и деревообрабатывающая промышленности и сельское хозяйство. Уровень благоустройства жилфонда района характеризуется низкой обеспеченностью: централизованным отоплением, горячим водоснабжением и прочим, чуть более 50%. Котельные в настоящее время работают на более качественном привозном угле, чем угли Конторского месторождения. Район не является энергодефицитным и угли месторождения пока не востребованы.

Освоение каменноугольных месторождений и угленосных площадей Тунгусского бассейна в Иркутской области началось с создания в начале 2000-х годов разреза Вереинский, находящегося на участке Жеронского месторождения. Месторождение расположено в 40 км к северо-востоку от г. Усть-Илимск. Его балансовые запасы по категориям $A+B+C_1$ оцениваются в 0,47 млрд т, из них 0,012 млрд т (0,03% от объемов запасов) относятся к низкокачественным тощим и окисленным. Качественные характеристики основной части месторождения: низшая теплота сгорания угля 18,0–22,3 МДж/кг, содержание золы 16,2–18,0%, серы 0,4–0,6%. Проектная мощность разреза составляет 3 млн т в год, востребованный объем добычи (менее 1 млн т) поставляется на Усть-Илимскую теплоэлектроцентраль (ТЭЦ). Освоение других участков месторождения в Катангском районе является проблематичным, поскольку они удалены от путей сообщения и слабо связаны с промышленно освоенными территориями. В перспективе тунгусские каменные угли можно рассматривать как стратегический запас для развития северных территорий области.

Извлекаемые запасы низкокачественных местных углей на вышеперечисленных месторождениях оцениваются в 260 млн т, а наибольшая потенциальная добыча этих уг-

лей в год в течение 40 лет может составить в пределах 6,5 млн т.

В настоящее время на территории области из всех месторождений угля освоено лишь 7, но основная доля добычи приходится на Черемховское, Азейское и Мугунское [4]. На угледобывающих предприятиях области добываются лишь энергетические угли, обеспеченность запасами которых составляет от 30 до 62 лет. В 2019 г. объем добычи составил 13,1 млн т, а объемы поставок 11,1 млн т.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ ОБЛАСТИ НА ПРАКТИКЕ

Уголь, добываемый в области, поставляется в основном на тепловые электростанции, а меньшая его часть в котельные (табл. 3). Доля поставок на электростанции в объеме поставок угля на внутренний рынок составляла в разные годы от 83 до 89%. Этот уголь используется для выработки электро- и теплоэнергии на ТЭЦ.

В настоящее время в структуре генерирующих мощностей электростанций области наибольшая доля приходится на объекты гидроэнергетики – 78% (в целом по России 11,2%), а на тепловые электростанции – 22% (по России 68,4%). В области действует 15 ТЭС. Являясь основным топливом для ТЭЦ, потребление угля за период с 2010 по 2019 гг. было подвержено колебаниям (рис. 1), в зависимости от погодных условий и водности рек, влияющей на выработку электроэнергии гидроэлектростанциями. Суммарное потребление угля в этот период имело тенденцию к снижению как в абсолютном, так и в относительном исчислении. Это происходило как с сокращением объемов производства крупными промышленными предприятиями – основными потребителями электроэнергии, так и в связи с мероприятиями по модернизации оборудования на ТЭЦ и ряда промышленных производств.

Таблица 3. Поставки углей Иркутской области, млн т
Table 3. Coal supplies of the Irkutsk region, million tons

Показатель	2011	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Внутренний рынок, в том числе	12,35	8,22	8,37	8,65	9,14	10,38	9,68
электростанции	10,30	7,07	7,48	7,68	7,92	8,83	8,51
котельные и прочие потребители	2,05	1,15	0,89	0,97	1,22	1,55	1,17
На электростанции других регионов	0,11	0,68	0,01	0,88	1,00	0,73	1,45
ВСЕГО	12,46	8,90	8,38	9,53	10,14	11,11	11,13

Источник: статистические данные Центрального диспетчерского управления топливно-энергетического комплекса – филиала ФГБУ «РЭА» Минэнерго России.

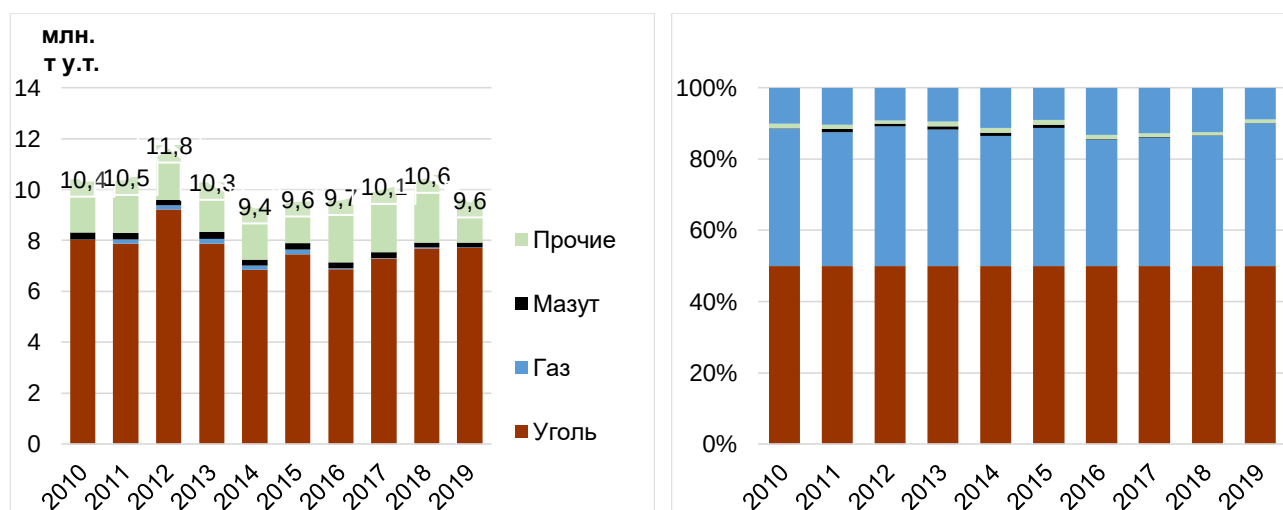


Рис. 1. Потребление топлива объектами энергетики Иркутской области⁶⁻⁸
Fig. 1. Fuel consumption of Irkutsk region energy facilities⁶⁻⁸



Территория южной части области, где сосредоточено большинство промышленных предприятий и прочих крупных потребителей области, практически полностью охвачена централизованным электроснабжением. Наибольший отпуск электроэнергии и теплоэнергии приходится на компанию ПАО «Иркутскэнерго». Электроснабжение отдельных северных территорий области осуществляется мелкими децентрализованными дизельными электростанциями (суммарной мощностью 17,1 МВт).

На тепловых электростанциях области доля угля в общем потреблении энергоресурсов составляет 84–94%, на объектах теплоэнергетики 65–69%. Объекты ПАО «Иркутскэнерго» используют в основном уголь (более 99%). Электростанциями промышленных предприятий потребляется прочее твердое топливо, являющееся отходами производственной деятельности профильных предприятий: отходы лесопереработки, целлюлозно-бумажного производства и дрова. Из общего объема потребления угля около 53–54% приходится на выработку теплоэнергии и 46–47% на выработку электроэнергии.

На электростанции в западной и северной части области поставляются кроме иркутских углей по экономическим соображениям угли Красноярского края (табл. 4).

В качестве важного направления экономического развития области на предстоящее

пятилетие в Схеме и программе развития электроэнергетики Иркутской области на 2021–2025 гг. обозначены меры по снижению электро- энергоемкости валового внутреннего продукта. Для этого предусматривается решение двух важных задач, одной из которых является задача структурной перестройки энергопотребления (т.е. освоение менее энергоемких схем энергообеспечения), а другой – развитие малой энергетики в зоне децентрализованного энергоснабжения за счет более эффективного использования местных энергоресурсов и сокращения объемов потребления завозимых светлых нефтепродуктов.

ПРОЕКТЫ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Иркутская область располагает достаточными ресурсами угля для развития угольной энергетики, как для снабжения собственных потребителей, так и для поставок электроэнергии в соседние регионы, в том числе на экспорт в Китай и Монголию [12].

Проекты сооружения угольных электростанций большой мощности в Иркутской области периодически то появляются в программных документах, то исчезают по разным причинам. Долгосрочной программой развития угольной промышленности России на период до 2030 г., принятой в 2014 г., в Иркутской области планировалось строительство двух ТЭС на углях Мугунского и

Таблица 4. Снабжение углем электростанций Иркутской области, млн т

Table 4. Coal supply of Irkutsk region power plants, million tons

Угли, млн т	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Иркутские	9,17	9,49	9,50	7,07	7,48	7,67	7,88	8,83	8,51
Красноярские	2,05	3,00	2,25	1,52	1,55	2,09	2,50	2,70	2,35
ВСЕГО	11,22	12,49	11,75	8,60	9,03	9,76	10,38	11,53	10,86

Источник: статистические данные Центрального диспетчерского управления топливно-энергетического комплекса – филиала ФГБУ «РЭА» Минэнерго России.

⁶Схема и программа развития электроэнергетики Иркутской области на 2020–2024 гг. Утв. указом Губернатора Иркутской области от 22.08.2019.

⁷Схема и программа развития электроэнергетики Иркутской области на 2016–2020 гг. Утв. указом № 179-уг Губернатора Иркутской области от 23.07.2015.

⁸Схема и программа развития электроэнергетики Иркутской области на 2021–2025 гг. Утв. указом № 124-уг Губернатора Иркутской области от 29.04.2020.

Ишидейского месторождений. В последующие годы указанные объекты рассматривались в работах ИСЭМ, где определялись место и роль их в покрытии перспективной потребности в электроэнергии и энергетических углях области и Байкальского региона [13].

На Мугунском месторождении планировалось строительство угольной теплоэлектростанции мощностью 3200 МВт, а на Ишидейском – 2000 МВт. Лицензия на разработку Ишидейского месторождения в 2001 г. получила компания СУЭК, а в 2004 г. компания отказалась от прав пользования Ишидейским месторождением из-за неблагоприятной конъюнктуры угольного рынка. В реализации проектов кроме российской компании предполагалось участие энергетических компаний Китайской Народной Республики.

При удельном расходе топлива 276 г у.т./кВт·ч потребность в угле Мугунского месторождения составляет 5,74 млн т у.т., а в натуральном исчислении около 11 млн т, а Ишидейского 3,59 млн т у.т, или около 6 млн т.

Кроме Мугунской и Ишидейской ТЭС, в программных документах рассматривались проекты, ориентированные на экспорт электроэнергии и в других регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока: конденсационная электростанция (КЭС) на угле в Республике Бурятия и Забайкальском крае (Олонь-Шибирская и Новая Харанорская), Ургальская ТЭС и другие⁹⁻¹¹ [14]. Эти электростанции могут составить конкуренцию экспортно-ориентированным ТЭС Иркутской области, хотя по многим показателям сооружение Мугунской ТЭС является более предпочтительным [15].

Для удовлетворения роста спроса на электро- и теплоэнергию в городах и других развивающихся объектах области планируется реконструкция и расширение мощностей действующих угольных электростанций: Ир-

кутской ТЭЦ-9, Ново-Иркутской ТЭЦ, Усть-Илимской ТЭЦ и Ново-Зиминской ТЭЦ. В целом основное развитие крупной энергетики юга Иркутской области будет осуществляться за счет угольной генерации.

Для надежного обеспечения электроснабжения децентрализованных потребителей северных территорий области в настоящее время остро стоит проблема модернизации дизельной генерации и перехода на использование местных видов топлива, в частности на местный уголь. Предпосылки такого перехода имеются в Катангском, Братском, Киренском и Казачинско-Ленском районах, на которые приходится около 80% всей вырабатываемой в настоящее время на дизельных электростанциях электроэнергии¹². В этих районах, где имеются месторождения местных углей, весьма перспективно внедрение энергоисточников распределенной генерации, которая позволяет обеспечить устойчивое развитие территорий с низкой плотностью электропотребления, где централизованное электроснабжение оказывается затратным [16].

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ ОБЛАСТИ

Широкое использование энергетических углей на электростанциях России в традиционных паровых энергоблоках продолжает быть коммерчески эффективным не только в настоящее время, но будет выгодно и в перспективе [17, 18]. Несмотря на складывающееся соперничество между «угольной» и «газовой» генерацией, предпочтительность первой будет сохраняться еще длительное время, особенно в восточных регионах России. Основные проблемы при этом сводятся к необходимости разработки и внедрения новых современных технологий в угольной

⁹Схема территориального планирования РФ в области энергетики до 2030 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/media/files/41d4a33bd567e72145d3.pdf> (13.08.2020).

¹⁰Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.city-strategy.ru/UserFiles/Files/Strategy%20DVFO_2025.pdf (13.08.2020).

¹¹Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики России до 2020 г. с учетом перспективы до 2030 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://proatom.ru/files/genshema.doc> (13.08.2020).

¹²Схема и программа развития электроэнергетики Иркутской области на 2021–2025 гг. Утв. указом № 124-уг Губернатора Иркутской области от 29.04.2020.



энергетике. Эта проблема широко обсуждается в многочисленных работах как российских, так и зарубежных исследователей [7, 17–22]. Здесь намечен целый ряд важных направлений, по которым будет происходить внедрение современных технологий, и в первую очередь путем совершенствования оборудования угольных ТЭС с целью повышения их технической эффективности и улучшения экологических показателей.

Особенно остро эта проблема стоит для сжигания низкокачественных энергетических углей [20], к каковым относится и значительная часть иркутских углей.

Рассматривая возможности их использования для Иркутской энергетики, можно сформировать возможный коридор их вовлечения в энергетический баланс области без привязки к периодам времени.

Минимальный объем потребления иркутских энергетических углей подразумевает сохранение существующих мощностей угольных электростанций, возможный переход отдельных энергоисточников, в первую очередь котельных на газ и реализацию энергоемких проектов развития промышленности.

Максимально возможный объем потребления энергетических углей включает еще и строительство ТЭС для экспорта электроэнергии. При сохранении действующих угольных электростанций возможен в перспективе умеренный рост спроса на электро- и теплоэнергию за счет реализации проектов развития горнодобывающей промышленности и улучшения энергоснабжения прочих потребителей.

В перспективе наибольший прирост использования энергетических углей возможен в индустриально-аграрном Тулунском районе с развитой транспортной инфраструктурой, где расположены наиболее крупные месторождения бурых и каменных углей – Ишидеевское и Мугунское. Кроме угольных месторождений район располагает месторождениями редких металлов: титана, железа, меди, свинца, цинка, олова, бериллия, редкозе-

мельных элементов (иттрий, гадолиний, самарий), ртути, золота, агросырья и торфов, пресных и минеральных вод. По отдельным месторождениям подсчитаны и утверждены запасы минеральных ресурсов и имеются проекты разработки месторождений. В разной степени разработки и реализации находятся проекты разработки минерального сырья: горно-металлургического комбината на базе Зашихинского редкометального месторождения (ЗАО «Техноинвест альянс») [23]; предприятий по производству высококачественного стекловолокна на основе кварцевого песка (ООО «Тулунский завод стеклокомпозитов»); карбида кремния и микропорошков и гидроксида лития (АО «Ангарский электролизно-химический комбинат»). Развитие горнорудной и перерабатывающей промышленности в этих районах потребует также развитие энергетики, и с наибольшей вероятностью – угольной, как наиболее обеспеченной ресурсами. Дополнительная потребность в электро- и теплоэнергии создастся также при сооружении жилых комплексов в области, в первую очередь в ее крупных городах.

В ближайшей перспективе существенного прироста спроса на электрическую энергию угольной генерации в энергосистеме Иркутской области не прогнозируется¹³. С большой вероятностью прирост потребления энергетических углей за счет ввода на территории области новых крупных потребителей будет отодвигаться на неопределенный срок. В перспективе структура выработки электроэнергии может измениться: доля ГЭС в выработке электроэнергии сократится, а угольной генерации возрастет (рис. 2), в большей или меньшей мере в зависимости от ввода экспортных электростанций, а за счет ввода Ленской КЭС-ПГУ на газе может появиться газовая составляющая.

Проекты экспорта электроэнергии из области нацелены в основном на рынок электроэнергии Китая. Вопрос о рентабельности экспорта электроэнергии в Китай и надежности этой страны (как импортера электроэнер-

¹³Схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2019–2025 гг. Утв. приказом № 174 Минэнерго России от 28.02.2019. 57 с.

гии) требует дополнительного изучения. Сроки реализации зависят от готовности китайских партнеров покупать электроэнергию по приемлемым ценам. Из представленных проектов наиболее предпочтительным представляется проект реализации угольной ТЭС на Мугунском угле [15], но реализация этого проекта может быть отодвинута за пределы 2030 г. Проблемы использования углей месторождений Иркутской области связаны, во-первых, с неоднородностью качества углей, во-вторых, с высоким содержанием в них серы [24].

Переход на безуглеродную энергетику для Сибири и Иркутской области в частности в настоящее время не подлежит рассмотрению. Отказ обусловлен не только неблагоприятным соотношением цен угля и газа, но и в значительной степени социально-экономическими последствиями закрытия градообразующих для Иркутской области угледобывающих предприятий, возникающими при этом проблемами с закупкой угля для коммунально-бытовых нужд и другими причинами.

Вовлечение низкокачественных и местных углей в хозяйственный оборот будет зависеть в основном от их востребованности и в первую очередь от их местоположения относительно потенциальных потребителей, а

также от качественных характеристик углей. Наиболее широкое использование местных углей предполагается в поселках на севере области в качестве топлива для мини-ТЭЦ [25]. При этом в качестве важнейшего технического направления получают развитие новые технологии сжигания местных видов топлива в кипящем слое, позволяющие заметно снижать выбросы вредных веществ [26]. Вторым возможным направлением использования местных углей является их энерготехнологическая переработка с одновременным производством тепловой и электрической энергии, коксовой продукции и водорода [27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наличие значительных запасов энергетических углей в Иркутской области позволяет рассматривать их не только как надежный источник топлива на длительную перспективу, но и как резерв для обеспечения нужд энергетики в случае снижения выработки электроэнергии на ГЭС в периоды маловодности рек.

Потребление угля электростанциями подвержено значительным колебаниям, что оказывает негативное влияние на социально-экономические условия в регионах добычи.

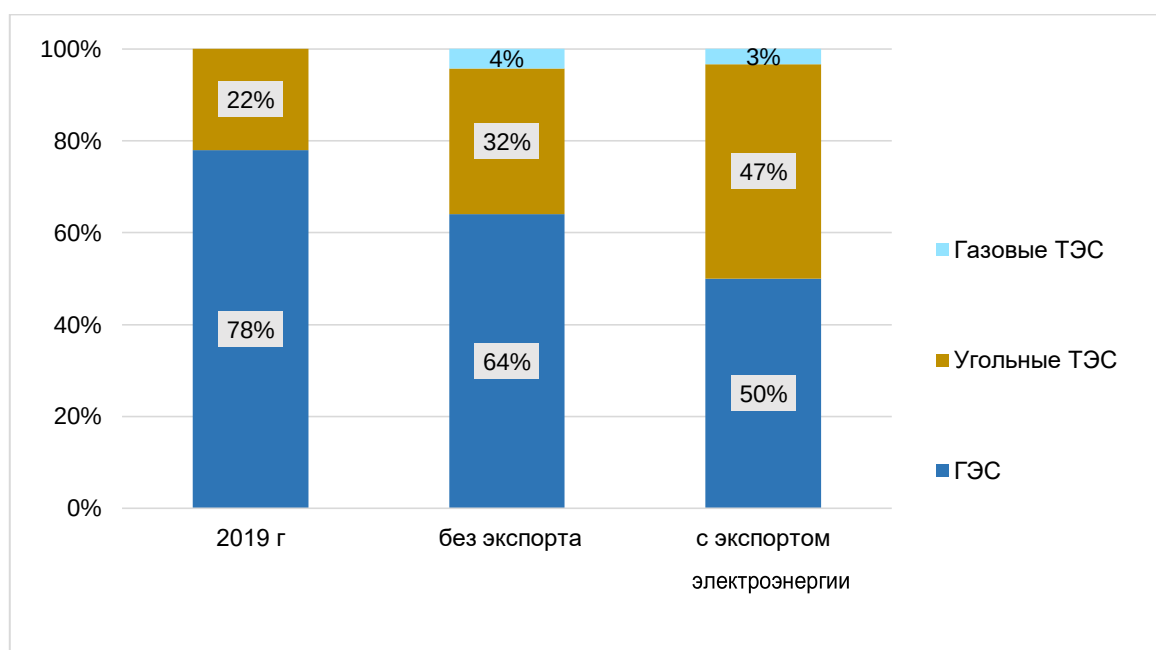


Рис. 2. Структура выработки электроэнергии в Иркутской области (расчеты авторов)
Fig. 2. Structure of electrical energy generation in the Irkutsk region (authors' calculations)



В Иркутской области, в особенности на севере, имеются энергодефицитные территории, обладающие высоким потенциалом промышленного развития. Устранение дефицита электро- и теплоэнергии возможно за счет рационального использования потенциала местных энергоресурсов, местных угольных. В зависимости от сценария развития экономики области возможен рост производства электроэнергии в Иркутской области при увеличении доли угольной генерации и сокращении доли ГЭС. Переход на безуглеродную энергетику для Иркутской области в настоящее время не подлежит рассмотрению.

Впервые выделены ресурсы низкокачественных местных углей и дана оценка возможностей их вовлечения в качестве потенциальных энергоресурсов. Низкосортные и местные угли месторождений Иркутской области не имеют перспектив широкого использования ввиду наличия в области ресурсов

более качественных углей, а для энергодефицитных районов конкуренции с другими энергоносителями (газ, гидроэнергия, угли крупных месторождений). ТЭС малой мощности в этих районах могут составить конкуренцию для источников, главным образом теплоэнергии на другом виде топлива, только при использовании передовых технологий сжигания угля. Они могут рассматриваться только как стратегический запас для нужд теплоэнергетики и углехимии.

Значительный рост использования энергетического угля Иркутской области возможен только на электростанциях, ориентированных на экспорт электроэнергии. Амбициозные проекты сооружения таких электростанций на углях Мугунского и Ишидейского месторождений нуждаются в дополнительных проработках, поскольку качество этих углей в пределах месторождений неоднородно.

Список литературы

1. Новак А.В. Угольная промышленность России: история на века // Энергетическая политика. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://energypolicy.ru/anovak-ugolnaya-promyshlennost-ross/business/2020/13/17/> (02.08.2020).
2. BP Energy Outlook – 2019 edition [Электронный ресурс]. URL: <https://nangs.org/analytics/bp-bp-energy-outlook-pdf-xlsx-pptx> (02.08.2020).
3. Final electricity consumption // EnerOutlook 2050 [Электронный ресурс]. URL: <https://eneroutlook.enerdata.net/forecast-world-electricity-consumption.html> (02.08.2020).
4. Санеев Б.Г., Агафонов Г.В., Еделева О.А., Иванова И.Ю., Ижбулдин А.К., Кононов Ю.Д. [и др.]. Топливно-энергетический комплекс Иркутской области: современное состояние и перспективы развития / под ред. Б.Г. Санеева, П.А. Воронина. М.: ИД «Энергия», 2013. 304 с.
5. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2019 года. Вып. 91, Уголь, Том VII, Сибирский федеральный округ, часть 2. М.: Министерство Природных Ресурсов и Экологии Российской Федерации, Федеральное агентство по недропользованию, Российский Федеральный геологический фонд. 2019. 314 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://rfgf.ru/info-resursy/raboty-po-izucheniyu-nedr> (02.08.2020).
6. Быкадоров В.С., Череповский В.Ф. Угольная база России. Том III. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири Южная часть (Красноярский край, Канско-Ачинский бассейн; Республика Хакасия, Минусинский бассейн; Республика Тыва, Улугхемский бассейн; Иркутская область, Иркутский бассейн и угольные месторождения Предбайкалья). М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. 488 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geokniga.org/books/15173> (02.08.2020).
7. Афанасьев А.А. Уголь VS газ в электроэнергетике (обзор состояния и перспективы) // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 9. С. 2–10. <http://doi.org/10.31857/S023336190001701-7>
8. Вязова Н.Г., Пройдаков А.Г., Шаулина Л.П., Шмидт А.Ф. Использование молодых бурых углей Хандинского месторождения Иркутской области // Химия твердого топлива. 2019. № 3. С. 3–8. <http://doi.org/10.1134/S0023117719030113>
9. Покуль Т.В., Крюкова В.Н., Комарова Т.Н., Белоногова Л.Н., Лобанова Г.Л., Вязова Н.Г. и др. Битуминозные бурые угли Хандинского месторождения западного региона БАМа // Химия твердого топлива. 1988. № 1. С. 3–8.
10. Жеребцов С.И. Экстракционные технологии и продукты переработки бурых и некондиционных углей // Уголь. 2009. № 7. С. 63–66.
11. Кузнецов Б.Н., Шендрик Т.Г., Щипко М.Л. Глубокая переработка бурых углей с получением жидких топлив и углеродных материалов. Вып. 36 / отв. ред. Г.И. Грицко. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 212 с.
12. Lagerev A., Khanaeva V., Smirnov K. A comprehensive assessment of comparative effectiveness of projects for power export from East Siberia to China: a methodological approach and results of its application // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 27.

<http://doi.org/10.1051/e3sconf/20182702003>

13. Топливно-энергетический комплекс Байкальского региона: современное состояние, перспективы развития / под ред. Б.Г. Санеева. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. 176 с.

14. Сценарные условия развития электроэнергетики России на период до 2030 года [Электронный ресурс]. URL:

https://atompool.ru/images/data/gallery/1_8337__usloviya_elektroenergetiki_na_period_do_2030_goda.pdf (02.08.2020).

15. Смирнов К.С. Комплексная оценка реализации проектов экспорта российской электроэнергии из Восточной Сибири в Китай // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 10. С. 131–137. <http://doi.org/10.21285/1814-3520-2017-10-131-137>

16. Филиппов С.П., Дильман М.Д., Илюшин П.В. Распределенная генерация и устойчивое развитие регионов // Теплоэнергетика. 2019. № 12. С. 4–17. <http://doi.org/10.1134/S0040363619120038>

17. Тумановский Ф.Г. Перспективы развития угольных ТЭС России // Теплоэнергетика. 2017. № 6. С. 3–13. <http://doi.org/10.1134/S004036361706008X>

18. Макаров А.А., Веселов Ф.В., Макарова А.С., Урванцева Л.В. Комплексная оценка технологической трансформации электроэнергетики России // Теплоэнергетика. 2019. № 10. С. 3–18. <http://doi.org/10.1134/S0040363619100047>

19. Oberschelp C., Pfister S., Raptis C.E., Hellweg S. Global emission hotspots of coal power generation // Nature Sustainability. 2019. Vol. 2. P. 113–121. <http://doi.org/10.1038/s41893-019-0221-6>

20. Mills S. Low quality coals – key commercial, environmental and plant considerations // IEA Clean Coal Centre. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://usea.org/sites/default/files/Low%20quality%20coal%20-%20key%20commercial%2C%20environmental%20and%20plant%20considerations%20-ccc270.pdf> (02.08.2020).

21. Росляков П.В., Кондратьева О.Е., Головтеева А.Н., Сиваковский А.М. Алгоритм оптимального выбора наилучших доступных технологий для Российских ТЭС // Теплоэнергетика. 2019. № 4. С. 60–72. <http://doi.org/10.1134/S0040363619040064>

22. Yucekaya A. Multi-objective fuel supply for coal-fired power plants under emission, transportation and operational constraints // Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy. 2013. Vol. 8. Issue 2. P. 179–189. <https://doi.org/10.1080/15567249.2010.551822>

23. Проект строительства горно-металлургического комбината на базе Зашихинского месторождения был представлен в рамках Дня Забайкальского инвестора в Москве [Электронный ресурс]. URL: <https://columbite.ru/page9858398.html> (12.08.2020).

24. Кудряшов А.Н., Елманов А.В., Киселева И.И., Бибикова Ю.Д. Оценка доли оксидов серы, связываемых летучей золой, при сжигании мугунского и ирбейского углей в котлоагрегатах Ново-Иркутской ТЭЦ // ИргТУ. 2017. Т. 21. № 3. С. 110–122.

<http://doi.org/10.21285/1814-3520-2017-3-110-122>

25. Бушуев В.В., Воропай Н.И., Мастепанов А.М., Шафранчик Ю.К. Энергетическая безопасность России. Новосибирск: Наука, 1998. 306 с.

26. De Vita A., Kielichowska I., Mandatova P., Capros P., Dimopoulou E., Evangelopoulou S., et al. Technology pathways in decarbonisation scenarios // Asset. 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2018_06_27_technology_pathways_-_finalreportmain2.pdf (12.08.2020).

27. Баякин С.Г. Актуальный вектор развития угольной энергетики // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: сб. тр. XIV Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. В.И. Клишина, З.Р. Исмагилова, В.Ю. Блюменштейна, С.И. Протасова, Г.П. Дубинина (г. Кемерово, 18–21 сентября 2012 г.). Кемерово: СО РАН, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2012. С. 212–217.

References

1. Novak AV. Russian coal industry: history through the centuries. *Energeticheskaya politika*. 2020. Available from: <https://energypolicy.ru/a-novak-ugolnaya-promyshlennost-ross/business/2020/13/17/> [Accessed 2nd August 2020]. (In Russ.)

2. BP Energy Outlook – 2019 edition. Available from: <https://nangs.org/analytics/bp-bp-energy-outlook-pdf-xlsx-pptx> [Accessed 2nd August 2020].

3. Final electricity consumption. *EnerOutlook 2050*. Available from: <https://eneroutlook.enerdata.net/forecast-world-electricity-consumption.html> [Accessed 2nd August 2020].

4. Saneev BG, Agafonov GV, Ivanova IYu, Izhbuldin AK, Kononov YuD, Korneev AG. Fuel and energy complex of Irkutsk region: current state and prospects for development / ed. BG Saneev, PA Voronin. Moscow: Energiya; 2013, 304 p. (In Russ.)

5. State balance of mineral reserves of the Russian Fed-

eration on 1st January 2019. Issue 91, Coal, Volume VII, Siberian Federal District, Part 2. Moscow: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, Federal Agency for Subsoil Use, Russian Federal Geological Fund, 2019, 314 p. Available from: <https://rfgf.ru/info-resursy/raboty-po-izucheniyu-nedr.html> [Accessed 2nd August 2020].

6. Bykadorov VS, Cherepovskij VF. Coal base of Russia. Volume III. Coal basins and deposits of in the Southern part of Eastern Siberia (Krasnoyarsk Territory, Kansk-Achinsk basin; Republic of Khakassia, Minusinsk basin; Republic of Tyva, Ulugkhemsky basin; Irkutsk region, Irkutsk basin and Cisbaikalia coal deposits). Moscow: Geoinformmark; 2002, 488 p. Available from: <https://www.geokniga.org/books/15173.html> [Accessed 2nd August 2020].

7. Afanasyev A. Coal vs gas in the power industry (over-



- view of the state and prospects). *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2018;9:2–10. (In Russ.) <http://doi.org/10.31857/S023336190001701-7>
8. Vyazova NG, Projdakov AG, Shaulina LP, Shmidt AF. Applications of young brown coals from the Khandinsky deposit in Irkutsk oblast. *Himiya tverdogo topliva*. 2019;3:3–8. (In Russ.) <http://doi.org/10.1134/S0023117719030113>
9. Pokul' TV, Kryukova VN, Komarova TN, Belonogova LN, Lobanova GL, Vyazova NG, et al. Bituminous brown coals of the Khandinsky deposit in the western region of the Baikal-Amur Mainline. *Himiya tverdogo topliva*. 1988;1:3–8. (In Russ.)
10. Zherebcov SI. Extraction technologies and products of processing of brown and sub-standard coals. *Ugol*. 2009;7:63–66. (In Russ.)
11. Kuznecov BN, Shendrik TG, Shchipko ML. Deep processing of brown coal to obtain liquid fuels and carbon materials. Issue 36 / ed. GI Gricko. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2012, 212 p. (In Russ.)
12. Lagerev A, Khanaeva V, Smirnov K. A comprehensive assessment of comparative effectiveness of projects for power export from East Siberia to China: a methodological approach and results of its application. In: *E3S Web of Conferences*. 2018;27. <http://doi.org/10.1051/e3sconf/20182702003>
13. Baikal region fuel and energy complex: modern state, development prospects / ed. BG Saneev. Novosibirsk: Geo; 2015, 176 p. (In Russ.)
14. Scenario conditions for the development of Russian electric power industry for the period up to 2030. Available from: https://atompool.ru/images/data/gallery/1_8337__usloviya_elektroenergetiki_na_period_do_2030_goda.pdf [Accessed 2nd August 2020]. (In Russ.)
15. Smirnov KS. Comprehensive assessment of Russian Eastern Siberia to China energy export project implementation. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2017;21(10):131–137. (In Russ.) <http://doi.org/10.21285/1814-3520-2017-10-131-137>
16. Filippov SP, Dilman MD, Ilyushin PV. Distributed generation of electricity and sustainable regional growth. *Teploenergetika = Thermal Engineering*. 2019;12:4–17. (In Russ.) <http://doi.org/10.1134/S0040363619120038>
17. Tumanovskii AG. Prospects for the development of coal-steam plants in Russia. *Teploenergetika = Thermal Engineering*. 2017;6:3–13. (In Russ.) <http://doi.org/10.1134/S004036361706008X>
18. Makarov AA, Veselov FV, Makarova AS, Urvantseva LV. Comprehensive assessment of Russia's electric power industry's technological transformation. *Teploenergetika = Thermal Engineering*. 2019;10:3–18. <http://doi.org/10.1134/S0040363619100047>
19. Oberschelp C, Pfister S, Raptis CE, Hellweg S. Global emission hotspots of coal power generation. *Nature Sustainability*. 2019;2:113–121. <http://doi.org/10.1038/s41893-019-0221-6>
20. Mills S. Low quality coals – key commercial, environmental and plant considerations. IEA Clean Coal Centre. 2016. Available from: <https://usea.org/sites/default/files/Low%20quality%20coal%20-%20key%20commercial%2C%20environmental%20and%20plant%20considerations%20-ccc270.pdf> [Accessed 2nd August 2020].
21. Roslyakov PV, Kondrat'eva OE, Golovteeva AN, Sivakovskii AM. Optimal choice of the best available technologies for Russian thermal power plants. *Teploenergetika = Thermal Engineering*. 2019;4:60–72. <http://doi.org/10.1134/S0040363619040064>
22. Yucekaya A. Multi-objective fuel supply for coal-fired power plants under emission, transportation and operational constraints. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*. 2013;8(2):179–189. <https://doi.org/10.1080/15567249.2010.551822>
23. Construction project of a mining and metallurgical plant based on the Zashikhinsky field was presented as a part of the Trans-Baikal Investor Day in Moscow. Available from: <https://columbite.ru/page9858398.html> [Accessed 12th August 2020].
24. Kudryashov AN, Elmanov AV, Kiseleva II, Bibikova ID. Estimation of sulfur oxide proportion bound by fly ash under Mugunsky and Irbeisky coal combustion in Novo-Irkutsk CHP boiler units. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2017;21(3):110–122. <http://doi.org/10.21285/1814-3520-2017-3-110-122>
25. Bushuev VV, Voropaj NI, Mastepanov AM, Shafranchik YuK. Energy security of Russia. Novosibirsk: Nauka; 1998, 306 p. (In Russ.)
26. De Vita A, Kielichowska I, Mandatova P, Capros P, Dimopoulou E, Evangelopoulou S, et al. Technology pathways in decarbonisation scenarios. Asset. 2018. Available from: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2018_06_27_technology_pathways_-_finalreportmain2.pdf [Accessed 12th August 2020].
27. Bayakin SG. Actual development vector of coal energy. In: *Energeticheskaya bezopasnost' Rossii. Novye podhody k razvitiyu ugol'noj promyshlennosti: sbornik trudov XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Energy security of Russia. New approaches to coal industry development: collected articles of XIV International scientific and practical conference / ed. VI Klishina, ZR Ismagilova, VYu Blyumenshtejna, SI Protasova, GP Dubinina*. 18–21 September 2012, Kemerovo. Kemerovo: SO RAN, OOO KVK "Ekspo-Sibir"; 2012, p. 212–217. (In Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Такайшвили Людмила Николаевна,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Лаборатория топливно-энергетического комплекса
Сибири и Дальнего Востока,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева
СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия;
✉ e-mail: luci@isem.irk.ru

Агафонов Глеб Владимирович,
кандидат технических наук,
научный сотрудник,
Лаборатория комплексных и межрегиональных
проблем энергетики,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева
СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия;
e-mail: gleb@isem.irk.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 08.11.2020; одобрена после рецензирования 30.11.2020; принята к публикации 21.12.2020.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lyudmila N. Takaishvili,
Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher,
Fuel and Energy Complex Laboratory of Siberia
and the Far East,
Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences,
130, Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia;
✉ e-mail: luci@isem.irk.ru

Gleb V. Agafonov,
Cand. Sci. (Eng.),
Researcher, Laboratory of Complex and Interregional
Energy Problems,
Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences,
130, Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia;
e-mail: gleb@isem.irk.ru

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interests.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 08.11.2020; approved after reviewing 30.11.2020; accepted for publication 21.12.2020.