

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ТОРФОВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Ю. Бажин¹, И.И. Аксенов¹, О.В. Зырянова¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: bazhin_vyu@pers.spmi.ru

Аннотация: Актуальность работы заключается в создании алгоритма оценки энергетических показателей торфяного сырья в зависимости от его состава, морфологии и содержания примесей применительно к конкретному источнику и месторождению. На примере образцов месторождений Греко-Ушаковского и Саккала предлагается способ подобной оценки путем анализа энергетического хозяйства региона, технического анализа образцов торфа в лаборатории и сравнительного анализа полученных результатов и нормативных требований. Анализ энергетического хозяйства региона на основе картографических данных дает возможность оценить конкурентоспособность торфа по сравнению с природным газом для использования в конкретных населенных пунктах. Технический анализ упрощается путем применения расчетного метода определения низшей теплоты сгорания вместо использования калориметрической бомбы. Были получены значения низшей теплоты сгорания: для торфа Греко-Ушаковского $Q_{\text{H}}^{\text{I}} = 10\,252,1$ кДж/кг, для торфа Саккала $Q_{\text{H}}^{\text{I}} = 7897,5$ кДж/кг. Сравнение результатов технического анализа с нормативными значениями демонстрирует возможность использования торфов данных месторождений для сжигания в котельных установках. Предлагаемый способ анализа торфов может быть применен для месторождений регионов с низким уровнем газификации, где вероятнее повышение доли торфяного топлива. К таким регионам можно отнести Новгородскую область и Республику Карелия.

Ключевые слова: торф, сжигание торфа, минеральное топливо, региональная энергетика, газификация, технический анализ, теплота сгорания.

Для цитирования: Бажин В. Ю., Аксенов И. И., Зырянова О. В. Алгоритм оценки торфов для энергетического использования на примере месторождений Ленинградской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 7. – С. 157–169. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_7_0_157.

Estimation algorithm for peat as an energy source as a case-study of peat fields in the Leningrad Region

V.Yu. Bazhin¹, I.I. Aksenov¹, O.V. Zyryanova¹

¹ Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia, e-mail: bazhin_vyu@pers.spmi.ru

Abstract: The research significance lies in the creation of an estimation algorithm for energy data of peat depending on its composition, morphology and content of impurities at a specific site or field. As a case-study of the Greko-Ushakovsky and Sakkala peat fields, the estimation method is proposed in the form of the review of the regional power system management, technical analysis of peat samples on a laboratory scale and the comparative analysis of the results and regulatory requirements. The review of the regional power facilities from the cartographic information allows estimating competitiveness of peat as compared with natural gas in application in certain residential areas. The technical analysis is simplified through computational determination of a heat value instead of using a bomb calorimeter. The low heat values are obtained for the Greko-Ushakovsky peat and Sakkala peat: $Q_L^r = 10252.1$ kJ/kg and $Q_L^r = 7897.5$ kJ/kg, respectively. The comparison of the technical analysis results and the standard values demonstrates applicability of peat from the test fields in combustion at boiler stations. The proposed method of peat analysis is applicable to peat fields in the regions with lower gas supply, where it is probable to increase the use of peat fuel, for example, the Novgorod Region and the Republic of Karelia.

Key words: peat, peat combustion, mineral fuel, regional energy economy, gasification, technical analysis, heat value.

For citation: Bazhin V. Yu., Aksenov I. I., Zyryanova O. V. Estimation algorithm for peat as an energy source as a case-study of peat fields in the Leningrad Region. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(7):157-169. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_7_0_157.

Введение и актуальность

Одним из основных приоритетов «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» является полное и надежное обеспечение населения и экономики страны энергоресурсами по доступным ценам, в том числе с использованием местных видов топлива (торф, древесина). Использование низкосортного сырья позволяет диверсифицировать структуру экономики страны и способствует увеличению запасов энергетических и химических ресурсов [1].

В нашей стране размещено около половины мировых запасов торфа, и Россия занимала ведущее место по его добыче, переработке и экспорту. Более того, поиск новых и альтернативных источников сырья для промышленности страны, а также расширение ее минерально-сырьевой базы являются актуальными для производственных и научных институтов. Вместе с экологическими и экономическими факторами

направление развития торфяной отрасли соответствует идеям устойчивого развития государства [2–4]. Одним из основных препятствий для использования местного торфяного топлива в качестве основного является стоимость и высокие риски нанесения ущерба окружающей среде при внедрении существующих технологий производства [5]. В связи с этим активно ведутся исследования, направленные на усовершенствование способов добычи торфа, а также модернизации добывающих машин.

Направления использования торфа многогранны. Помимо энергетического использования торфа возможны термические методы его переработки, например, пиролиз или газификация; механические методы; физико-химические и комплексные [6–8]. При этом торф является сырьем для получения жидких и газообразных топлив, конкурентоспособных нефти и газу, а также кокса, полукокса и топливных композиций [9],

например, органоводугольных суспензий [10]. Торф, как и другие виды низкосортного технологического топлива, может использоваться для утилизации отходов процессов переработки и производства, например, глиноземных производств [11, 12]. Более того, в некоторых регионах, например, в Малайзии, торфяная вода является основным источником пресной воды. Ее очистка от органических соединений осуществляется методом электрокоагуляции [13].

Запасы торфа могут стать основой для решения проблем местной энергетики, повышения плодородия почв, экологических задач во всех техногенных отраслях промышленности [14].

Проблема повышения энергоэффективности и энергосбережения может быть решена путем повышения автономии электро- и теплоэнергетических комплексов [15]. Замена местным торфом дальнепривозных углей может повысить надежность топливоснабжения котельных и теплоснабжения потребителей тепла. Кроме того, замена топлива во многих случаях позволит существенно сократить затраты на приобретение и доставку топлива из других регионов. В то же время замена торфом природного газа, энергетическая ценность которого соответственно в 3–4 раза выше, потребует существенной реконструкции котельных и привлечения значительных инвестиций и вряд ли будет рентабельной [16, 17].

В исследованиях также отмечается потенциальная эффективность использования композитного топлива, например, торфоугольной смеси или торфа, загрязненного нефтепродуктами [18].

Исследования отмечают в последние 10–15 лет рост объемов добычи торфяного сырья в России. При этом наблюдается локализация добычи и производства в Северо-Западном регионе, обладающем необходимыми климатическими

условиями для формирования торфяных месторождений [19].

За последние несколько лет все котельные Санкт-Петербурга отказались от сжигания угля и мазута и перешли на природный газ [Бахчиванжи С. Все котельные Петербурга перейдут на экологически чистое топливо. URL: <https://tvspb.ru/news/2023/08/2/vse-kotelnye-peterburga-perejdut-na-ekologicheskichistoe-toplivo> (дата обращения 19.09.2025)]. В крупных населенных пунктах региона, например, в Вырице и Красном селе, также снижается доля потребления угля и мазута для выработки энергии [В п. Вырица Ленинградской области газифицирована котельная. URL: <https://mrg.gazprom.ru/press/news/2024/01/4910> (дата обращения 19.09.2025)., ТЭК приступил к газификации 6-й Красносельской котельной. URL: <https://aotek.spb.ru/press/news/tek-pristupil-k-gazifikatsii-6-oy-krasnosejskoy-kotelnoy-> (дата обращения 19.09.2025).]. Кроме того, программа Газпрома «Газификация России» мотивирует генерирующие компании переходить на газообразное топливо.

Если поднимать вопрос об использовании возобновляемых неуглеродных источников энергии, то современные исследования в Финляндии [20] демонстрируют необходимость преодоления большого числа затруднений, связанных с переходом на новую энергетическую политику. Похожий тезис утверждается в Ирландском исследовании [21], в котором авторы обращают внимание научной общественности на тот факт, что торфяные технологии в большей степени могут считаться экологичными, чем угольные и мазутные. Предлагаются также эко-технологии, использующие выбросы CO₂ сжигания торфа для его каталитического пиролиза [22].

Исследования неоднократно подтверждали, что торф не может конкурировать с природным газом как топливо

для небольших котельных. Газ, при наличии инфраструктуры, экономичнее и экологичнее. Однако по сравнению с привозными видами топлива, такими как уголь и мазут, торф обладает лучшими экономическими показателями и выделяет значительно меньше сернистых соединений и углекислого газа [23, 24].

Таким образом, использование торфа в качестве топлива для малых населенных пунктов оправданно при соблюдении трех условий: расположение населенного пункта рядом с месторождением; действующие установки работают на угле или мазуте; отсутствие перспектив газификации.

Актуальность данной работы заключается в разработке комплексного алгоритма оценки эффективности использования торфяного месторождения, который, в отличие от существующих методик, учитывает не только физико-химические свойства топлива, но и инфраструктурные факторы региона (уровень газификации, удаленность населенных пунктов). Предложен подход, позволяющий на этапе предварительной разведки или оценки запасов определять целесообразность вовлечения торфа в топливный баланс конкретного населенного пункта, исключая нецелесообразные капитальные затраты на модернизацию котельных. Также новизна заключается в адаптации расчетного метода определения теплотворной способности для экспресс-оценки энергетического потенциала торфа без проведения калориметрических исследований.

Описание и анализ месторождений

Ленинградская область и соседние регионы обладают значительными запасами торфа, например, месторождения Греко-Ушаковское, Саккала и Исо-Сурсуо. В то же время низкий уровень газификации соседних регионов (Республики Карелия, Псковской и Новгородской

областей) повышает целесообразность перевода локальных котельных на торфяное топливо [25]. Так, в исследовании энергетики Республики Карелия [26] отмечается ее энергодефицитность, зависимость от поставок топлива из других регионов, и для повышения ее автономности предлагается в том числе использование местного топлива.

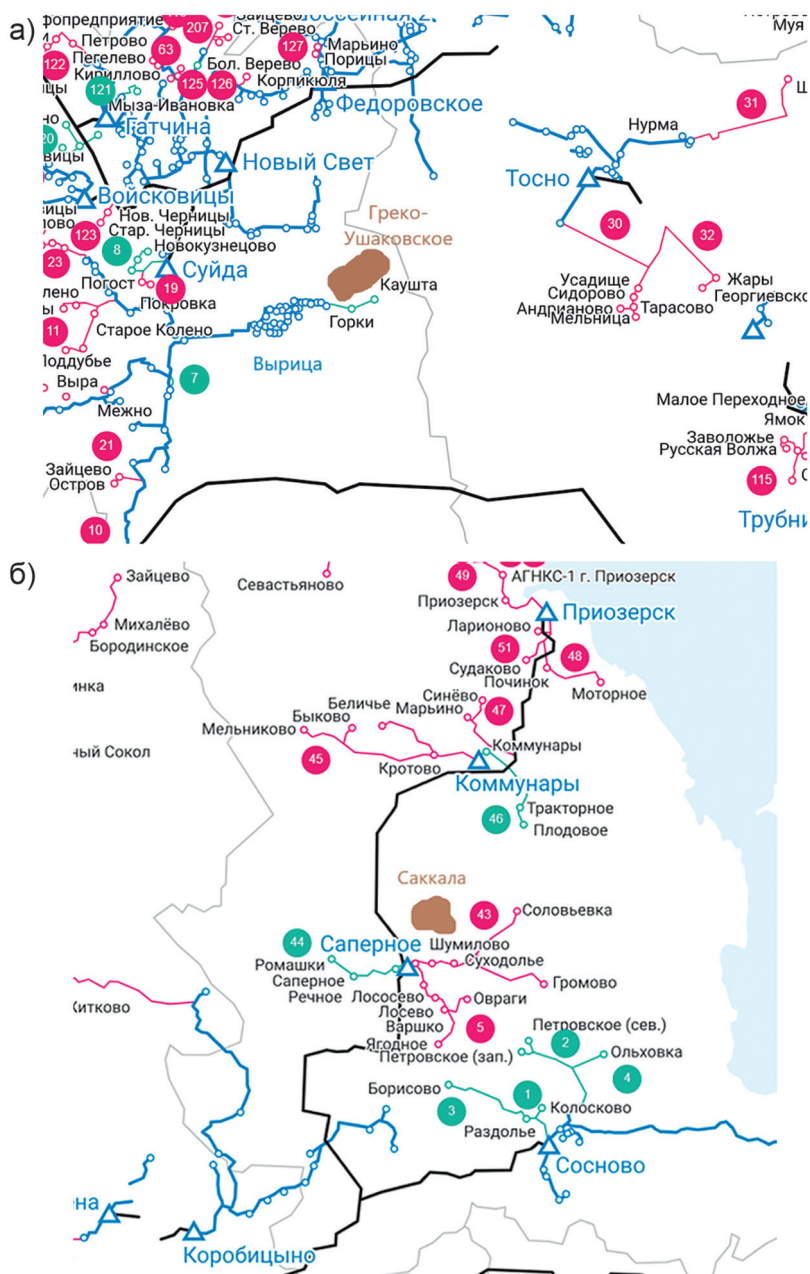
Греко-Ушаковское месторождение разрабатывается на территории Кауштинского болота. Площадь месторождения около 1000 га, оно расположено в 75 км от Санкт-Петербурга в Тосненском районе Ленинградской области. Торф добывается фрезерным способом и является сфагновым верховым. Балансовые запасы торфа более 5 млн т.

Месторождение Саккала расположено в Приозерском районе, в 15 км от г. Приозерск Ленинградской области, вблизи пос. Соловьевка. Площадь месторождения верхового торфа около 480 га, балансовые запасы — более 1,2 млн т.

Демонстрируя алгоритм анализа на примере, можно сказать, что, несмотря на близость к населенным пунктам, потенциал месторождений Греко-Ушаковского и Саккала в качестве источников местного топлива ограничен развитой газовой инфраструктурой. Ключевые города рядом с Греко-Ушаковским уже газифицированы, и их котельные, вероятно, будут переведены на газ. Рядом с месторождением Саккала также проходит газопровод, о чем свидетельствует активное расширение сети, например, в поселках Речное и Ромашки в 2021 — 2025 гг. (рис. 1). Таким образом, хотя месторождения и доступны, экономическая целесообразность диктует приоритет развития газовой, а не торфяной энергетики в этих районах.

Технический анализ и результаты

Торф условно можно представить как совокупность трех составляющих:



коричневый – месторождения торфа; черный – магистральные газопроводы;
 синий – существующие газопроводы; зеленый – газопроводы, построенные по программе к 2025 г;
 красный – газопроводы, планируемые к постройке к 2030 г.

Рис. 1. Фрагменты схем газификации по программе «Газификация России»: близ Греко-Ушаковского месторождения (а); близ месторождения Саккала (б) [Программа газификации 2021–2025 в Ленинградской области. URL: <https://www.gazprommap.ru/lenobl> (дата обращения 19.09.2025)]

Fig. 1. Fragments of gasification schemes under the Gazifikatsiya Rossii program: near the Greko-Ushakovskoy field (a); near the Sakkala field (b) [available at: <https://www.gazprommap.ru/lenobl> (accessed 19.09.2025)]

органической массы, влаги и минеральной части. Главным образом соотношение этих компонентов определяет технологическую ценность топлива для сжигания или переработки. Так, например, торф Западной Сибири, исследованный в работе [27], использовать в качестве топлива нерационально из-за высокого значения зольности. При этом виды минерального топлива, являясь звеньями генезиса угля, представляют собой объекты с закономерным изменением этих свойств.

В связи с различиями в физических свойствах твердых топлив для их технической оценки выбираются определенные показатели. Так, ГОСТ 4.105-83 регламентирует номенклатуру определяемых показателей в зависимости от области применения торфа и продуктов его переработки.

В целях составления более полной характеристики образцов дополнительно на основе результатов технического анализа произведена оценка низшей теплоты сгорания по методике [28], а также определена влагоемкость по ГОСТ 24160-80 для уточнения максимальной влажности рабочей массы образца.

Таблица 1

Результаты определения показателей качества и технических характеристик образцов торфа

Results of determining the quality indicators and technical characteristics of peat samples

| Показатель | Стандарт | Торф Греко-Ушаковского месторождения | Торф месторождения Саккала |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------------|
| Степень разложения R | ГОСТ 10650-2013 | 37,8±1,9% | 24,8±0,7% |
| Зольность A^d | ГОСТ 11306-2013 | 4,16% | 6,96% |
| Массовая доля общей влаги W^r | ГОСТ 11305-83 | 55,14±0,11% | 63,88±0,13% |
| Гигроскопическая влажность $W_{гигр}$ | — | 13,89±0,03% | 16,03±0,03% |
| Влагоемкость Ve | ГОСТ 24160-80 | 4,55±0,08 кг/кг | 7,63±0,08 кг/кг |
| Максимальная влажность W_{max} | — | 81,98% | 88,41% |
| Засоренность Z | — | 17,6% | 7,9% |
| Выход летучих веществ V^{daf} | ГОСТ 55660-2013 | 58,6% | 54,3% |

Пробы для анализа представляли собой подсушенный продукт торфопредприятий, расположенных на месторождениях Греко-Ушаковское и Саккала. По данным, полученным от производителей, оба образца являлись верховым торфом. Полученные значения результатов исследований и методики, по которым они проводились, указаны в табл. 1.

Расчет низшей теплоты сгорания

Использование расчетного метода определения низшей теплоты сгорания связано с целью исследования — разработкой алгоритма для экспресс-оценки перспективности месторождения. Проведение калориметрического анализа согласно ГОСТ 147-2013 требует специализированного дорогостоящего оборудования (калориметрической бомбы) и значительных затрат времени на подготовку проб. Для этапа предварительной технико-экономической оценки месторождения, когда необходимо быстро принять решение о целесообразности дальнейших инвестиций, использование расчетных формул на основе данных технического анализа (зольность, влаж-

ность, выход летучих веществ) является методически оправданным. Как указано в работе [28], погрешность данного метода для низкосернистых твердых топлив не превышает 6%, что приемлемо для сравнительного анализа энергетической ценности сырья и принятия управленческих решений о переводе котельных на местное топливо. Хотя для окончательной сертификации топлива перед сжиганием требуется подтверждение по стандарту, на этапе оценки ресурсного потенциала расчетный метод является эффективным инструментом.

Полученные данные о доле общей влаги, зольности, выходе летучих веществ могут быть использованы для определения низшей теплоты сгорания твердого минерального топлива с использованием формулы Д.И. Менделеева:

$$Q_H^r = 340C^r + 1035(O^r - S^r) - 25W^r, \quad (1)$$

где C^r , O^r , S^r , W^r – содержание углерода, кислорода, серы и влаги на рабочую массу топлива, %.

Для расчета по упомянутой формуле необходимо иметь сведения об элементном составе топлива. Согласно [27], авторы работы [29] отмечают взаимосвязь между элементным составом горючей массы топлива с выходом летучих ве-

ществ. Предлагаемые авторами формулы могут быть использованы для расчета низшей теплоты сгорания с погрешностью до 6% для твердых топлив с низким содержанием серы. Данный метод расчета позволит ускорить анализ без использования калориметрической бомбы. При этом используются отношения H_{am}/C_{am} и O_{am}/C_{am} – атомные отношения водорода к углероду и кислорода к углероду в горючей массе топлива. Переходя к массовым отношениям, получим следующие формулы:

$$H_{am}/C_{am} = \frac{A_C H^{daf}}{A_H C^{daf}}, \quad (2)$$

$$O_{am}/C_{am} = \frac{A_C O^{daf}}{A_O C^{daf}}, \quad (3)$$

где A_C , A_H , A_O – атомные массы элементов; C^{daf} , H^{daf} , O^{daf} – горючие массы элементов в составе топлива, %.

Далее предлагается определить содержание углерода в горючей массе топлива через значение выхода летучих веществ V^{daf} . Для этого выход летучих веществ выражается через функцию:

$$f_v = \frac{V}{1-V}, \quad (4)$$

где

$$V = \frac{V^{daf}}{100}. \quad (5)$$

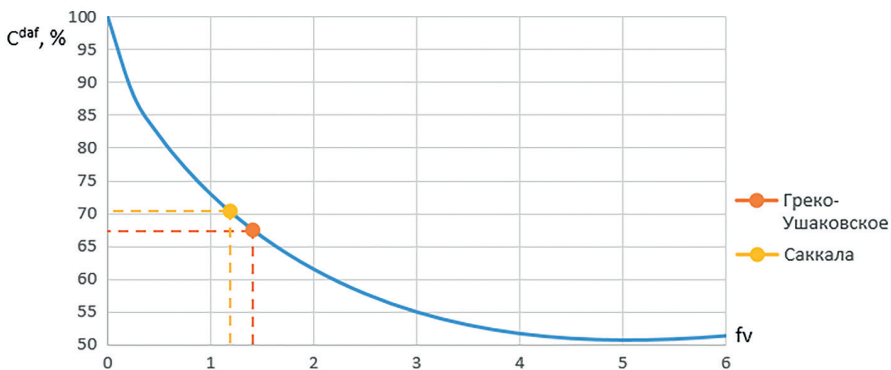


Рис. 2. Зависимость содержания углерода в топливе от функции выхода летучих веществ f_v [разработано авторами]

Fig. 2. Dependence of the carbon content in fuel on the volatile matter yield function f_v [developed by the authors]

Зависимость для определения C^{daf} имеет следующий вид:

$$C^{daf} = 100 - 27 f_V^{0,6 - 0,0454 f_V} \quad (6)$$

Графическое изображение этой зависимости, с точками, соответствующими исследуемым образцам — подсушенным продуктам торфопредприятий, расположенных на месторождениях Греко-Ушаковское и Саккала, представлено на рис. 2.

Определение отношений H_{am} / C_{am} и O_{am} / C_{am} осуществляется через функцию:

$$f_C = \frac{100 - C^{daf}}{C^{daf}} \quad (7)$$

Уравнения имеют следующий вид:

$$H_{am} / C_{am} = 1,48 f_C^{0,45} \quad (8)$$

$$O_{am} / C_{am} = 0,655 f_C^{1,3} \quad (9)$$

Кривые уравнений (8) и (9) представлены на рис. 3. На нем же указаны точки, соответствующие значениям, полученным экспериментально.

Используя формулы (2), (3), получим выражения для определения элементного состава горючей массы топлива. Дополнительно введем коэффициент, учитывающий содержание серы и азота в топливе:

$$K = 100 - N^{daf} - S^{daf} \quad (10)$$

где N^{daf} , S^{daf} — содержание азота и серы в горючей массе топлива, %.

Выражения для определения масс элементов:

$$C^{daf} = \frac{KA_C}{A_H \cdot (H_{am} / C_{am}) + A_O \cdot (O_{am} / C_{am}) + A_C} \quad (11)$$

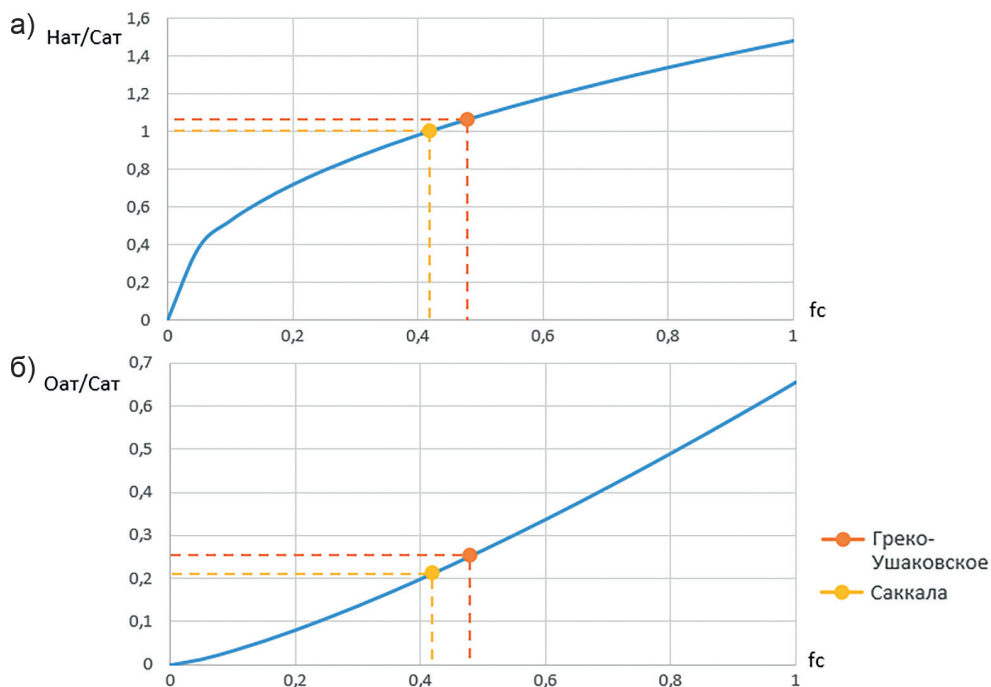


Рис. 3. Зависимости атомных отношений водород–углерод H_{am} / C_{am} от функции содержания углерода f_c (1) и кислород–углерод O_{am} / C_{am} от функции содержания углерода f_c (2) [разработано авторами]

Fig. 3. Dependences of the hydrogen–carbon atomic ratios H_{am} / C_{am} on the carbon content function f_c (1) and the oxygen–carbon atomic ratios O_{am} / C_{am} on the carbon content function f_c (2) [developed by the authors]

Таблица 2

Требования к показателям качества торфа для пылевидного сжигания
Requirements for peat quality indicators for dust combustion

| Наименование показателя | Значение по ГОСТ | Торф Греко-Ушаковский | Торф Саккала |
|---|------------------|-----------------------|-----------------|
| 1. Массовая доля влаги в рабочем состоянии W^r , %, не более | 52 | 55,14±0,11% | 63,88±0,13% |
| 2. Зольность A^d , %, не более | 23 | 4,16% | 6,96% |
| 3. Степень разложения R , %, не менее: - для низинного торфа - для верхового торфа | 15 20 | 37,8±1,9% | 24,8±0,7% |
| 4. Низшая теплота сгорания на рабочее топливо Q_n^r , кДж/кг, не менее | 7900 | 10 252,1 | 7897,5 |
| 5. Засоренность 3 посторонними горючими примесями (куски размером более 25 мм), %, не более | 8 | 17,6% | 7,9% |
| 6. Массовая доля общей серы S_d , %, не более | 0,5 | не определяется | не определяется |

$$H^{daf} = \frac{KA_H \cdot (H_{am} / C_{am})}{A_H \cdot (H_{am} / C_{am}) + A_O \cdot (O_{am} / C_{am}) + A_C} \quad (12)$$

$$O^{daf} = \frac{KA_O \cdot (O_{am} / C_{am})}{A_H \cdot (H_{am} / C_{am}) + A_O \cdot (O_{am} / C_{am}) + A_C} \quad (13)$$

Полученный по этим формулам элементный состав относится к горючей массе торфа, однако расчет низшей теплоты сгорания осуществляется на рабочую массу, то есть с учетом массы зольного остатка и влаги.

Анализ результатов исследования

Согласно ГОСТ 50902-2011 «Торф топливный для пылевидного сжигания» в табл. 2 приведены требования к показателям качества торфа. В этой же таблице указаны полученные значения для исследуемых образцов.

Таким образом, в экспериментальной части алгоритма на примере месторождений Ленинградской доказываемся

возможность их использования в качестве топлива. Повышенные значения засоренности будут снижены после сепарации, которую проходит торфяное топливо перед сжиганием, а технология полевой сушки, применяемая при фрезерном способе добычи торфа, позволяет получать кондиционное торфяное топливо в требуемом диапазоне влажностей.

Выводы

На примере существующих месторождений торфа в Ленинградской области проведена оценка по разработанному алгоритму. Суть предлагаемого алгоритма заключается в оценке обеспеченности в котельном топливе близлежащих к месторождению населенных пунктов, упрощенном техническом анализе образца с расчетным методом определения низшей теплоты сгорания, сравнении полученных результатов с государственным стандартом. Перспективным является создание базы данных по различным месторождениям торфа на основе разработанной методологии оценки энергетической способности с учетом физико-химических свойств ма-

териала (влажность, зольность, степень разложения, содержание углерода и т.д.). Алгоритм анализа учитывает: уровень развития энергетики региона, характеристики сырья и месторождений, результаты технического анализа предполагаемого топлива.

Для верификации разработанного алгоритма были рассмотрены потенциальные объекты в регионах с низким уровнем газификации: Республике Карелия и Новгородской области. В качестве примера в Республике Карелия рассмотрено Нигозерское месторождение. Анализ картографических данных и схем газификации показал, что г. Медвежьегорск, расположенный в непосредственной близости от месторождения, не имеет доступа к магистральному газу, а котельные города функционируют на угле и

мазуте. Согласно алгоритму, соблюдены все условия для перехода на торфяное топливо: близость источника сырья, отсутствие конкуренции с газом и наличие потребителей, требующих замены дорогостоящего привозного топлива.

Похожая ситуация прослеживается на примере Тишанковского месторождения в Новгородской области (Пестовский район). Несмотря на развитие газовой сети в центре области, восточные районы остаются наименее газифицированными. Использование торфа местных месторождений для котельных г. Пестово может стать экономически эффективной альтернативой привозному углю, что подтверждает работоспособность предложенного алгоритма для выявления перспективных точек роста торфяной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаренко М. Ю., Салтыкова С. Н. Влияние параметров процесса полукоксования горючих сланцев на качество сланцевого полукокса // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2021. — Т. 332. — № 9. — С. 109–118. DOI: 10.18799/24131830/2021/9/3361.
2. Михайлов А. В., Бажин В. Ю., Пиирайнен В. Ю. Анализ перспектив термической конверсии торфяного сырья и его использования в черной металлургии // Черные металлы. — 2024. — № 9. — С. 9–14. DOI: 10.17580/chm.2024.09.02.
3. Литвиненко В. С., Петров Е. И., Василевская Д. В., Яковенко А. В., Наумов И. А., Ратников М. А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами // Записки Горного института. — 2023. — Т. 259. — С. 95–111. DOI: 10.31897/PMI.2022.100.
4. Trushko V. L., Trushko O. V., Potemkin D. A. Efficiency increase in mining of highgrade iron ore deposits with soft ores // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018, vol. 9, no. 3, pp. 1038–1045.
5. Kokonkov A. A., Lyah D. D., Ivanov S. L., Stroykov G. A., Ivanova P. V. Experimental estimation of specific heat of combustion of agglomerated peat fuel // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019, vol. 378, no. 1, article 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012046.
6. Передерин Ю. И., Анзельм Е. Г., Усольцева И. О. Переработка торфа: современное состояние технологии // Ползуновский вестник. — 2024. — № 4. — С. 173–180. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.026.
7. Тимофеева С. С., Караева Ю. В. Термохимическая переработка низкосортного торфа на основе газификации // Вестник Казанского государственного энергетического университета. — 2021. — Т. 13. — № 2 (50). — С. 15–26.
8. Nazarenko M. Yu., Saltykova S. N. Obtaining semi-coke from oil shale of the Leningrad deposit // Chernye Metally. 2022, no. 10, pp. 4–8. DOI: 10.17580/chm.2022.10.01.
9. Тимофеева С. С., Мингалеева Г. Р. Перспективы использования торфа в региональной энергетике // Известия Томского политехнического университета. Техника и технологии в энергетике. — 2014. — Т. 325. — № 4. — С. 46–55.

10. Чукаева М. А., Матвеева В. А., Сверчков И. П. Комплексная переработка высокоуглеродистых золошлаковых отходов // Записки Горного института. — 2022. — Т. 253. — С. 97–104. DOI: 10.31897/PMI.2022.5.
11. Пиирайнен В. Ю., Михайлов А. В., Баринков В. М., Старовойтов В. Н. Применение шламо-торфяной композиции для переработки отходов глиноземного производства // Обогащение руд. — 2022. — № 6. — С. 51–58. DOI: 10.17580/or.2022.06.09.
12. Дубовиков О. А., Белоглазов И. И., Алексеев А. А. Особенности применения пылеугольного топлива в комбинированных процессах химического обогащения // Обогащение руд. — 2022. — № 6. — С. 32–38. DOI: 10.17580/or.2022.06.06.
13. Rahman N. A., Tomiran N. A., Hashim A. H. Batch electrocoagulation treatment of peat water in Sarawak with galvanized iron electrodes / Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd. 2020, vol. 997, pp. 127–138. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.997.127.
14. Кузьмин Г. Ф., Селеннов В. Г., Созинова Л. А. Торфяные месторождения России: геология, экология, разведка, использование. — СПб.: Свет, 2019. — 386 с.
15. Шклярский Я. Э., Брагин А. А. Снижение потерь энергии в электрических сетях предприятий // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2013. — № 1. — С. 99–103.
16. Воскобойник М. П. Стратегия использования торфа в энергетических целях. — М.: Эдитус, 2015. — 156 с.
17. Алпеева Е. А., Гончаров М. С. Торфяная промышленность Российской Федерации: проблемы и перспективы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. — 2021. — № 3. — С. 121–130.
18. Дремичева Е. С., Эминов А. А. Перспективы использования загрязненного нефтепродуктами торфа в энергетике // Вестник Казанского государственного энергетического университета. — 2021. — Т. 13. — № 2 (50). — С. 142–150.
19. Мякотных А. А., Иванова П. В., Иванов С. Л. К вопросу классификации комплексов добычи торфяного сырья // Горная промышленность. — 2023. — № 6. — С. 137–142. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-6-137-142.
20. Javanshir N., Syri S., Teräsvirta A., Olkkonen V. Abandoning peat in a city district heat system with wind power, heat pumps, and heat storage // Energy Reports. 2022, vol. 8, pp. 3051–3062. DOI: 10.1016/j.egy.2022.02.064.
21. Bresnihan P., Brodie P. Data sinks, carbon services: Waste, storage and energy cultures on Ireland's peat bogs // New Media & Society. 2023, vol. 25, no. 2, pp. 361–383. DOI: 10.1177/14614448221149948.
22. Lee T., Jung S., Hong J., Wang C. H., Alessi D. S., Lee S. S., Park Y., Kwon E. E. Using CO₂ as an oxidant in the catalytic pyrolysis of peat moss from the north polar region // Environmental Science & Technology. 2020, vol. 54, no. 10, pp. 6329–6343. DOI: 10.1021/acs.est.0c01862.
23. Дремичева Е. С., Эминов А. А. Эколого-экономические аспекты использования торфа в энергетике // Вестник Казанского государственного энергетического университета. — 2022. — Т. 14. — № 1 (53). — С. 96–108. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-1-119-130.
24. Александров Г. А., Скворцова Г. Г., Вякина И. В., Яблонев А. Л. Торфодобывающая промышленность России: проблемы возрождения и перспективы развития // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2016. — № 8 (341). — С. 32–43.
25. Михайлов А. В., Иванов С. Л., Большунов А. В., Кремчев Э. А. Торфяные ресурсы Северо-Западного федерального округа России и перспективы их освоения // Записки Горного института. — 2013. — Т. 200. — С. 226–230.
26. Кузнецов Н. М., Коновалова О. Е., Фёдоров О. В., Прохорова М. В. Энергетика Республики Карелия // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. — 2024. — № 15(2). — С. 48–59. DOI: 10.37614/2949-1215.2024.15.2.002.
27. Заворин А. С., Тайлашева Т. С., Буваков К. В., Долгих А. Ю., Воронцова Е. С. Топливные ресурсы Томской области для альтернативного энергетического использования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2022. — № 6. — С. 55–65. DOI: 10.18799/24131830/2022/6/3622.
28. Языков Н. А., Симонов А. Д., Яковлев В. А. Оценка низшей теплоты сгорания растительной биомассы, торфа и ископаемых углей на основе технического анализа // Химия в интересах устойчивого развития. — 2017. — № 25. — С. 465–471. DOI: 10.15372/ChUR20170414.
29. Лазаров Л., Ангелова Г. Структура и реакции углей. — София: Изд-во Болгарской Академии наук, 1990. — 232 с. **ПАБ**

REFERENCES

1. Nazarenko M. Yu., Saltykova S. N. Influence of oil shale semicoking process parameters on the quality of shale semi-coke. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021, vol. 332, no. 9, pp. 109–118. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2021/9/3361.
2. Mikhailov A. V., Bazhin V. Yu., Piirainen V. Yu. Analysis of prospects for thermal conversion of peat raw materials and its use in ferrous metallurgy. *Chernye Metally*. 2024, no. 9, pp. 9–14. [In Russ]. DOI: 10.17580/chm.2024.09.02.
3. Litvinenko V. S., Petrov E. I., Vasilevskaya D. V., Yakovenko A. V., Naumov I. A., Ratnikov M. A. Assessment of the state's role in mineral resources management. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 259, pp. 95–111. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.100.
4. Trushko V. L., Trushko O. V., Potemkin D. A. Efficiency increase in mining of highgrade iron ore deposits with soft ores. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018, vol. 9, no. 3, pp. 1038–1045.
5. Kokonkov A. A., Lyah D. D., Ivanov S. L., Stroykov G. A., Ivanova P. V. Experimental estimation of specific heat of combustion of agglomerated peat fuel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 378, no. 1, article 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012046.
6. Perederin Yu. I., Anzelm E. G., Usoltseva I. O. Peat processing: Current state of technology. *Polzunovskiy Vestnik*. 2024, no. 4, pp. 173–180. [In Russ]. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.026.
7. Timofeeva S. S., Karaeva Yu. V. Thermochemical processing of low-grade peat based on gasification. *Kazan state power engineering university bulletin*. 2021, vol. 13, no. 2 (50), pp. 15–26. [In Russ].
8. Nazarenko M. Yu., Saltykova S. N. Obtaining semi-coke from oil shale of the Leningrad deposit. *Chernye Metally*. 2022, no. 10, pp. 4–8. DOI: 10.17580/chm.2022.10.01.
9. Timofeeva S. S., Mingaleeva G. R. Prospects for peat use in regional power industry. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of Georesources*. 2014, vol. 325, no. 4, pp. 46–55. [In Russ].
10. Chukaeva M. A., Matveeva V. A., Sverchkov I. P. Complex processing of high-carbon ash and slag waste. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 97–104. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.5.
11. Piirainen V. Yu., Mikhailov A. V., Barinkov V. M., Starovoitov V. N. Application of slurry-peat composition for processing alumina production waste. *Obogashchenie Rud*. 2022, no. 6, pp. 51–58. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2022.06.09.
12. Dubovikov O. A., Beloglazov I. I., Alekseev A. A. Features of the use of pulverized coal fuel in combined chemical enrichment processes. *Obogashchenie Rud*. 2022, no. 6, pp. 32–38. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2022.06.06.
13. Rahman N. A., Tomiran N. A., Hashim A. H. Batch electrocoagulation treatment of peat water in Sarawak with galvanized iron electrodes. *Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd*. 2020, vol. 997, pp. 127–138. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.997.127.
14. Kuz'min G. F., Selenov V. G., Sozinova L. A. *Torfyanye mestorozhdeniya Rossii: geologiya, ekologiya, razvedka, ispol'zovanie* [Peat deposits of Russia: Geology, ecology, exploration, use], Saint-Petersburg, Svet, 2019, 386 p.
15. Shklyarskiy Y. E., Bragin A. A. Reducing energy losses in electrical networks of enterprises. *Minerals and Mining Engineering*. 2013, no. 1, pp. 99–103. [In Russ].
16. Voskoboinik M. P. *Strategiya ispol'zovaniya torfa v energeticheskikh tselyakh* [Strategy for the use of peat for energy purposes], Moscow, Editus, 2015, 156 p.
17. Alpeeva E. A., Goncharov M. S. Peat industry of the Russian Federation: Problems and prospects. *Vestnik of Kursk state agricultural academy*. 2021, no. 3, pp. 121–130. [In Russ].
18. Dremicheva E. S., Eminov A. A. Prospects for the use of peat contaminated with oil products in the energy sector. *Kazan state power engineering university bulletin*. 2021, vol. 13, no. 2 (50), pp. 142–150. [In Russ].
19. Myakotnykh A. A., Ivanova P. V., Ivanov S. L. On the issue of classification of peat raw material extraction complexes. *Russian Mining Industry Journal*. 2023, no. 6, pp. 137–142. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-6-137-142.
20. Javanshir N., Syri S., Teräsvirta A., Olkkonen V. Abandoning peat in a city district heat system with wind power, heat pumps, and heat storage. *Energy Reports*. 2022, vol. 8, pp. 3051–3062. DOI: 10.1016/j.egy.2022.02.064.

21. Bresnihan P., Brodie P. Data sinks, carbon services: Waste, storage and energy cultures on Ireland's peat bogs. *New Media & Society*. 2023, vol. 25, no. 2, pp. 361 – 383. DOI: 10.1177/14614448221149948.
22. Lee T., Jung S., Hong J., Wang C. H., Alessi D. S., Lee S. S., Park Y., Kwon E. E. Using CO₂ as an oxidant in the catalytic pyrolysis of peat moss from the north polar region. *Environmental Science & Technology*. 2020, vol. 54, no. 10, pp. 6329 – 6343. DOI: 10.1021/acs.est.0c01862.
23. Dremicheva E. S., Eminov A. A. Environmental and economic aspects of peat use in the energy sector. *Kazan state power engineering university bulletin*. 2022, vol. 14, no. 1 (53), pp. 96 – 108. [In Russ]. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-1-119-130.
24. Alexandrov G. A., Skvortsova G. G., Vykina, I. V., Yablonev, A. L. Peat extraction industry in Russia: Problems of revival and development prospects. *National interests: priorities and security*. 2016, no. 8 (341), pp. 32 – 43. [In Russ].
25. Mikhailov A. V., Ivanov S. L., Bolshunov A. V., Kremcheev E. A. Peat resources of the North-Western Federal District of Russia and prospects for their development. *Journal of Mining Institute*. 2013, vol. 200, pp. 226 – 230. [In Russ].
26. Kuznetsov N. M., Konovalova O. E., Fedorov O. V., Prokhorova M. V. Energy sector of the Republic of Karelia. *Transactions of the Kola science centre. Series: Engineering sciences*. 2024, no. 15(2), pp. 48 – 59. [In Russ]. DOI: 10.37614/2949-1215.2024.15.2.002.
27. Zavorin A. S., Taylasheva T. S., Buvakov K. V., Dolgikh A. Yu., Vorontsova E. S. Fuel resources of the Tomsk region for alternative energy use. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022, no. 6, pp. 55 – 65. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2022/6/3622.
28. Yazikov N. A., Simonov A. D., Yakovlev V. A. Evaluation of the lower calorific value of plant biomass, peat and fossil coals based on technical analysis. *Chemistry for sustainable development*. 2017, no. 25, pp. 465 – 471. [In Russ]. DOI: 10.15372/KhUR20170414.
29. Lazarov L., Angelova G. *Структура и реакции угля* [Structure and reactions of coals], Sofiya, 1990, 232 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бажин Владимир Юрьевич*¹ — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: bazhin_vyu@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0001-8231-3833,

*Аксенов Илья Иванович*¹ — бакалавр, студент, e-mail: s242655@stud.spmi.ru, ORCID ID: 0009-0005-5378-5280,

*Зырянова Ольга Владимировна*¹ — канд. техн. наук, доцент, доцент, e-mail: zyryanova_ov@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0001-7866-8543,

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II.

Для контактов: Бажин В.Ю., e-mail: bazhin_vyu@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*V.Yu. Bazhin*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair, e-mail: bazhin_vyu@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0001-8231-3833,

*I.I. Aksenov*¹, Bachelor, Student, e-mail: s242655@stud.spmi.ru, ORCID ID: 0009-0005-5378-5280,

*O.V. Zyryanova*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor, e-mail: zyryanova_ov@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0001-7866-8543,

¹ Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: V.Yu. Bazhin, e-mail: bazhin_vyu@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 30.01.2026; получена после рецензии 18.03.2026; принята к печати 10.06.2026.

Received by the editors 30.01.2026; received after the review 18.03.2026; accepted for printing 10.06.2026.