

DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2023-3-110-123

# Эффективность использования древесного топлива на Байкале<sup>1</sup>

**Е.П. МАЙСЮК**, кандидат экономических наук

E-mail: maysyuk@isem.irk.ru; ORCID: 0000-0002-5127-1607

**Е.В. ГУБИЙ**, кандидат технических наук

E-mail: egubiy@isem.irk.ru; ORCID: 0000-0003-0737-1835

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

УДК 504.054

**Аннотация.** В статье предложен метод эколого-экономической оценки эффективности природоохранных мероприятий для энергообъектов. В его основе – расчет соотношения затрат на реализацию природоохранной технологии и экологических эффектов от её внедрения. Это позволяет оценить экологический эффект в виде предотвращенных выбросов загрязняющих веществ, парниковых газов или золошлаковых отходов в стоимостном выражении. Апробация метода проведена на примере замещения угля топливными пеллетами и щепой в котельных, расположенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории. В статье показано, что эколого-экономическая эффективность использования древесного топлива зависит от его цены и качественных характеристик, транспортной инфраструктуры местности, мощности теплоисточника. В результате замещения угля древесным топливом в 14 рекомендованных котельных может быть достигнут заметный экологический эффект: снижение выбросов загрязняющих веществ на 94%, сокращение эмиссии парниковых газов в атмосферу на 99,9%, уменьшение образования золошлаковых отходов на 92–91%.

**Ключевые слова:** биотопливо; загрязняющие вещества; парниковые газы; золошлаковые отходы; стоимость сокращенных выбросов

## Введение

Центральная экологическая зона (ЦЭЗ) занимает 23% Байкальской природной территории (БПТ). Это участок площадью около 90 тыс. км<sup>2</sup>, включающий в себя озеро Байкал со всеми островами, прилегающую к нему водоохранную зону и 12 особо охраняемых природных территорий вокруг озера. В 1996 г. учреждение Организации объединённых наций по вопросам образования, науки и культуры ЮНЕСКО признало озеро Байкал участком мирового наследия. В целях сохранения уникальной

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021–0004) программы фундаментальных исследований РФ на 2021–2025 гг. с использованием ресурсов ЦКП «Высокотемпературный контур» (Минобрнауки России, проект № 13.ЦКП.21.003).

экологической системы на побережье оз. Байкал установлен особый режим хозяйственной деятельности<sup>2</sup>.

Согласно Федеральному закону «Об охране озера Байкал» хозяйственная деятельность и существующая энергетическая инфраструктура должны быть переориентированы на экологичные способы хозяйствования, с максимальным предотвращением поступления несвойственных для экосистемы веществ. Особый режим природопользования регламентирует запрет видов хозяйственной деятельности, оказывающих негативное воздействие на уникальную экологическую систему.

В центральной экологической зоне проживает около 124 тыс. человек в 159 населенных пунктах. Электроснабжение поселений обеспечивается от централизованных иркутской и бурятской энергосистем, а теплоснабжение – путем эксплуатации многочисленных угольных котельных различной мощности и ведомственной принадлежности.

Основываясь на проведенных авторами расчетах, обусловленный преимущественным использованием угля на энергообъектах центральной экологической зоны выброс загрязняющих веществ (в которые входят твердые частицы, оксид серы ( $\text{SO}_2$ ) и оксиды азота ( $\text{NO}_x$ )) составляет, в зависимости от продолжительности отопительного периода, около 17–24 тыс. т/год. Кроме того, образуются золошлаковые отходы (ЗШО) в количестве от 40 до 60 тыс. т/год. Объемы выбросов в атмосферу углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в разные годы в зависимости от объемов сожженного топлива составляют от 450 до 520 тыс. т/год.

Одним из возможных способов снижения нагрузки на природную среду может стать переход на экологически чистые виды топлива. Особенно это касается угольных котельных малой мощности, в которых в настоящее время очистка уходящих газов отсутствует или производится не должным образом. Подавляющее большинство котельных, осуществляющих энергоснабжение населения рассматриваемой территории, имеют износ до 80%, и их модернизация с учетом развития новых технологий нецелесообразна.

---

<sup>2</sup> Федеральный закон № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал» от 01.05.1999 г. (ред. 01.05.2022 г.) [Эл. ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/13787> (дата обращения: 23.06.2022).

Актуальность настоящего исследования продиктована необходимостью экологизации территорий с особым статусом природопользования. Для этого необходима разработка методов и подходов, позволяющих сравнивать альтернативные природоохранные мероприятия как с экологической, так и с экономической точек зрения. В статье предложен подход, который позволяет оценить экономический эффект экологических мероприятий (например, перевода котельных на более экологичные виды топлива) в стоимостном выражении.

### Используемые методы оценки

Для целей эколого-экономической оценки предлагается использовать показатель стоимости сокращенных выбросов, который рассчитывается по формуле:

$$CRE = \frac{C_i - C_0}{M_0 - M_i},$$

где  $C_i$  – удельные текущие затраты после внедрения природоохранных технологий, руб./Гкал;  $C_0$  – удельные текущие затраты до внедрения природоохранных технологий, руб./Гкал;  $M_0$  – удельные выбросы до внедрения природоохранных технологий, т/Гкал;  $M_i$  – удельные выбросы загрязняющих веществ после внедрения природоохранных технологий, т/Гкал.

Разные природоохранные мероприятия, например, переход на новые экологически чистые виды топлива или установка золоулавливающего оборудования, имеют различную структуру и величину затрат. Разница удельных затрат трактуется как размер увеличения удельных эксплуатационных затрат на природоохранные мероприятия, направленный на снижение вредных выбросов.

Предложенный показатель является близким аналогом популярного сейчас Levelized Cost of Carbon Abatement (LCCA) [Vogt-Schilb et al., 2018; Baker Khatami, 2019; Friedmann et al., 2020; Zia, 2020]. Однако имеется ряд отличий. В общем случае LCCA при оценке уровня затрат, направленных на минимизацию экологического ущерба, в числителе (1) используется показатель, отражающий дисконтированную величину капитальных и ежегодных затрат. В данной работе предлагается использовать ежегодные эксплуатационные затраты на производство энергии.

Во-первых, такой подход позволяет более объективно сравнивать изменения действующего тарифа для потребителей в ситуациях, когда имеющееся оборудование полностью изношено. Во-вторых, часто для снижения техногенного воздействия в зонах особого природопользования капитальные вложения выделяются в виде адресных разовых выплат, не требующих окупаемости и направленных на достижение значительного социально-экономического эффекта или определённой экологической цели. Примером использования таких средств является реализация Федеральной целевой программы «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012–2020 годы».

Предлагаемый подход позволяет оценить экономический эффект экологических мероприятий, а именно величину сокращённых выбросов загрязняющих веществ в стоимостном выражении. На основе оценки объёма выбросов и отходов можно рассчитать стоимость сокращённых выбросов загрязняющих веществ, парниковых газов или массы ЗШО.

Методы и подходы к экологической оценке определены с учетом имеющейся исходной информации. Ввиду сложности получения достоверных данных о непосредственных замерах на энергообъектах, массу выбросов возможно оценить расчетным путем на основе официально утвержденных методик<sup>3,4</sup>.

Для количественной оценки выбросов парниковых газов от энергетических предприятий в России действует Приказ № 300 от 30.06.2015 г.<sup>5</sup> Его методические указания и руководства разработаны в соответствии с методологией Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК)<sup>6</sup>.

---

<sup>3</sup> Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС. РД34.02.305–98. М.: ВТИ, 1998. 35 с.

<sup>4</sup> Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час. М.: Гос. комитет по охране окружающей среды Российской Федерации (фирма «Интеграл», Санкт-Петербург), 1999. 53 с.

<sup>5</sup> Приказ Минприроды России от 30.06.2015 № 300 «Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объёма выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации» [Эл. ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-30062015-n-300> (дата обращения: 23.06.2022).

<sup>6</sup> Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2001. [Эл. ресурс]. URL: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/2\\_Energy.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/2_Energy.pdf), Cited Apr. 20, 2022 (дата обращения: 23.11.2022).

Для оценки ЗШО от объектов энергетики в данном исследовании применяется метод материально-сырьевого баланса, где количество ЗШО определяется в виде суммы массы шлаков, образующейся при сжигании твердого топлива в котельной установке и массы летучей золы, уловленной из уходящих газов в специальных улавливающих устройствах.

### **Исходные данные**

По данным Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН [Санеев и др., 2016], на территории прибрежных районов оз. Байкал функционирует 101 коммунальная котельная. Большинство из них обеспечивают тепловой энергией социальные объекты (школы и детские сады). Доля угля в суммарном топливопотреблении составляет почти 98%.

В таблице 1 приведены исходные данные для расчета удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании 1 т топлив, используемых в котельных центральной экологической зоны. Цены этих видов топлива представлены в таблице, средние тарифы на перевозку грузов автомобильным транспортом составляют 16 руб./км·м<sup>3</sup>, железнодорожным – 3 руб./км·м<sup>3</sup><sup>7</sup>. Эти данные необходимы для дальнейших оценок эколого-экономической эффективности.

Древесное топливо отличается относительно невысокой энергетической плотностью, поэтому его перевозка на большие расстояния значительно повышает конечную стоимость тепловой энергии. Экономически эффективные границы расстояния, на которое целесообразно перевозить древесное топливо, зависят от энергетической плотности конкретного вида топлива и транспортной инфраструктуры местности (доступные виды транспорта, расстояние и др.) [Buss et al., 2021, 2022].

На рисунке 1 показано, как изменяется топливная составляющая пеллет и щепы в конечной стоимости тепловой энергии в зависимости от расстояния (при перевозке топлива автомобильным транспортом). При транспортировке на 50 км топливные составляющие в стоимости 1 Гкал тепловой энергии, полученной при сжигании обоих видов биотоплива, равны. При транспортировке

---

<sup>7</sup> Данные по состоянию на февраль 2022 года.

на расстояние менее 50 км целесообразно использовать топливную щепу, а на расстояние более 50 км – пеллеты [Gubiy, 2022].

Таблица 1. Расчетный удельный выброс загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании различных видов топлив и цены на них

Топливо		Тип	Низшая теплотворная способность, ккал/кг	Удельный выброс, кг/т	Цена, руб./т н.т.
Уголь бурый	Бородинский	Б2Р	3623	58	3000
	Переясловский	Б2Р	4152	63	1900–2000
	Азейский	Б3Р	3740	91	2200
Уголь каменный	Черемховский	ДР	3920	209	2500–2900
		ДКОМ	5350	181	2700–3000
	Тугнуйский	ДР	5100	180	4000–4300
	Харанутский	Г	5450	131	2500
Топливная щепа		Сосна, береза	2442	8	1500
Топливные пеллеты		EN plus A1	3941	11,4	7000

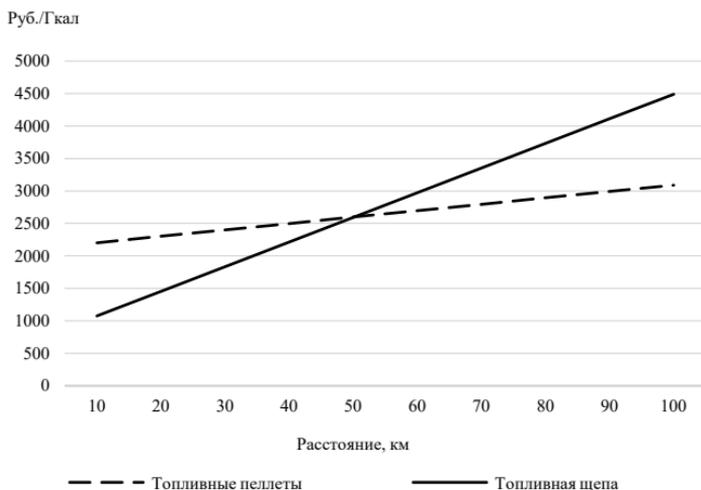


Рис. 1. Изменение топливной составляющей древесного топлива в стоимости тепловой энергии

## **Эколого-экономическая оценка замещения угля древесным топливом**

В качестве потенциально эффективных для использования топливной щепы принимаются котельные, расположенные не далее чем в 50 км от предприятий, поставляющих щепу в нужном объеме. В прибрежных районах озера Байкал таких котельных всего 4. Все они обеспечивают тепловой энергией социальные объекты, с ежегодным объемом производства тепла на каждой из них менее 1 тыс. Гкал/год.

В качестве потенциально эффективных для использования топливных пеллет рассматриваются все котельные с установленной мощностью менее 10 Гкал/ч, за исключением: котельных, которые в настоящее время работают на дровах (8 ед.), электрокотельных (25 ед.) и котельных, потенциально эффективных для использования топливной щепы (4 ед.). Таких котельных на побережье Байкала 54.

В ходе исследования были проанализированы и выбраны наиболее экономичные способы доставки топлива с наименьшими расстояниями от ближайшего поставщика древесного топлива до каждой из 58 котельных.

Для оценки экономической эффективности замещения угля древесным топливом проведен сравнительный анализ удельных текущих затрат на производство тепловой энергии на существующих угольных котельных и котельных на древесном топливе. Все рассматриваемые котельные разделены на три группы по мощности котлов. Как и следовало ожидать, удельные текущие затраты с ростом мощности снижаются для всех рассматриваемых видов топлива (рис. 2).

Наиболее высокие удельные среднегодовые текущие затраты получены при использовании пеллет, самые низкие – при использовании угля. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что замещение угля топливными пеллетами экономически нецелесообразно, прежде всего, из-за значительных транспортных затрат. Однако в некоторых случаях разница удельных затрат на теплоснабжение в угольных и пеллетных котельных одной мощностной группы составляет менее 1000 руб./Гкал. Соответственно, именно эти котельные выбраны для дальнейшего эколого-экономического анализа.

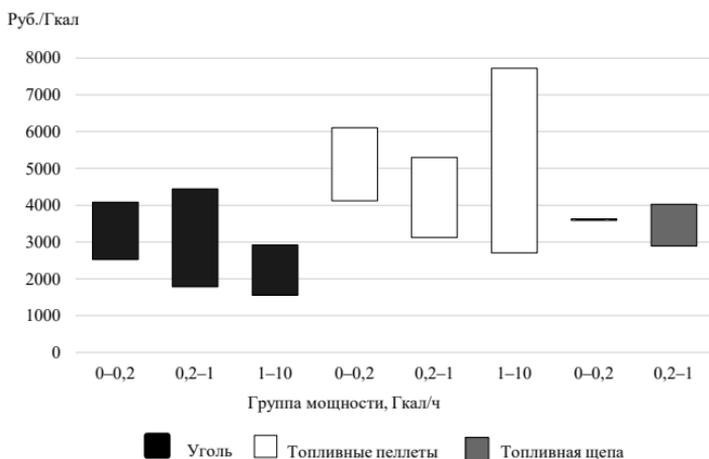


Рис. 2. Удельные текущие затраты на выработку тепловой энергии на котельных, работающих на угле и древесном топливе

Для оценки эколого-экономической эффективности использования пеллет вместо угля выбраны 10 теплоисточников в следующих населенных пунктах: две котельные в п. Култук, три – в г. Слюдянка и по одной котельной в шести поселениях: с. Кудара, пгт. Усть-Баргузин, пгт. Большая речка, с. Горячинск, п. Ярцы и с. Творогово.

В целом же переход на древесное топливо (топливную щепу и пеллеты) рассматривается для 14 котельных, функционирующих в прибрежной зоне оз. Байкал.

Расчет стоимости сокращенных выбросов загрязняющих веществ показал, что замещение угля топливной щепой может быть не только экологичным, но и экономичным. Например, при замещении угля топливной щепой в п. Бугульдейка и пгт. Усть-Баргузин (табл. 2) удельные текущие затраты снижаются. Это происходит вследствие значительного сокращения транспортных затрат. Расстояния для перевозки угля в эти населенные пункты велики, а для перевозки топливной щепы, наоборот, незначительны.

До недавнего времени 99% всех произведенных в России топливных пеллет продавались в европейские страны, Японию

и Республику Корею<sup>8</sup> по действующим экспортным ценам. Однако после введенных в 2022 г. политических санкций Евросоюза, запрещающих импорт древесных пеллет, есть все основания полагать, что в ближайшие месяцы их стоимость на внутреннем рынке существенно снизится. Поэтому расчет стоимости сокращенных выбросов загрязняющих веществ при замещении угля пеллетами производился по двум сценариям – при существующей стоимости пеллет 7 тыс. руб./т и при прогнозной стоимости 5 тыс. руб./т.

**Таблица 2. Стоимость сокращенных выбросов загрязняющих веществ при замещении угля топливной щепой**

Населенный пункт (котельная)	Изменение удельных текущих затрат, тыс. руб./Гкал	Изменение удельных выбросов ЗВ, т/Гкал	Стоимость сокращенных выбросов ЗВ, тыс. руб./т
Бугульдейка (школа)	-0,548	0,061	-8,982
Усть-Баргузин (ДЮСШ)	-0,613	0,082	-7,481
Гусиха	0,494	0,076	6,499
Адамово (школа)	0,325	0,080	4,068

Расчеты показали, что при замещении угля топливными пеллетами стоимость сокращения 1 т загрязняющих выбросов зависит от стоимости энергоресурсов и их транспортировки, качественных характеристик используемого угля и мощности теплоисточника.

Самой высокой стоимостью сокращенных выбросов оказалась в п. Большая Речка. Это связано с заменой бородинского угля с относительно благоприятными качественными характеристиками (низкими зольностью 7,9% и содержанием серы 0,2%) на пеллеты, требующие дорогостоящей транспортировки автомобильным транспортом. Самой низкой оказалась стоимость сокращенных выбросов в п. Ярцы вследствие отказа от тугнуйского угля с высокой зольностью (23,3%) в пользу пеллет, которые производятся всего в 13 км от поселка (табл. 3).

<sup>8</sup> Информационно-аналитическое агентство «Инфобио». – Российские пеллеты пойдут на экспорт без ограничений, но всего три месяца. [Эл. ресурс]. URL: <https://www.infobio.ru/news/5234.html> (дата обращения 08.11.2022).

**Таблица 3. Стоимость сокращенных выбросов загрязняющих веществ при замещении угля пеллетами со стоимостью 7 и 5 тыс. руб./т**

Населенный пункт (котельная)	Изменение удельных текущих затрат при разной стоимости пеллет, тыс. руб./Гкал		Изме- нение удель- ных выбро- сов ЗВ, т/Гкал	Стоимость сокращен- ных выбросов ЗВ при разной стоимости пеллет, тыс. руб./т	
	7 тыс. руб./т	5 тыс. руб./т		7 тыс. руб./т	5 тыс. руб./т
Слюдянка (Дом ребенка)	606,96	-59,15	0,068	8,84	-0,86
Слюдянка (Соб. база)	593,28	-73,15	0,069	8,75	-1,08
Слюдянка (Мед. резерв)	828,00	161,85	0,068	12,11	2,37
Култук (Автовнештранс)	907,92	265,92	0,081	11,15	3,27
Култук (Куба)	620,64	-21,08	0,069	9,00	-0,31
Усть-Баргузин (больница)	616,32	-50,15	0,065	9,53	-0,78
Горячинск (санаторий)	666,72	24,92	0,052	12,92	0,48
Ярцы	185,76	-480,15	0,065	2,87	-7,42
Большая Речка (школа)	864,00	164,52	0,025	34,34	6,54
Творогово	991,44	324,85	0,083	11,90	3,90

При существующей стоимости пеллет 7 тыс. руб./т для всех рассматриваемых котельных перевод с угля на топливные гранулы сопряжен с дополнительными ежегодными эксплуатационными затратами. Следовательно, значения стоимости сокращенных выбросов во всех случаях положительное. При снижении цены пеллет до 5 тыс. руб./т стоимость сокращенных выбросов стала отрицательной (а значит, использование пеллет стало более экономичным по сравнению с углем) в котельных преимущественно малой и средней мощности, использующих экологически неблагоприятный уголь марки черемховский ДКОМ (г. Слюдянка (Дом ребенка), г. Слюдянка (Сов. база), п. Култук (Куба)) и сравнительно дорогой уголь марки тугнуйский (пгт. Усть-Баргузин (больница), п. Ярцы). На рисунке 3 показано, как изменяется стоимость сокращенных выбросов ЗВ при снижении цены пеллет на 2 тыс. руб./т.

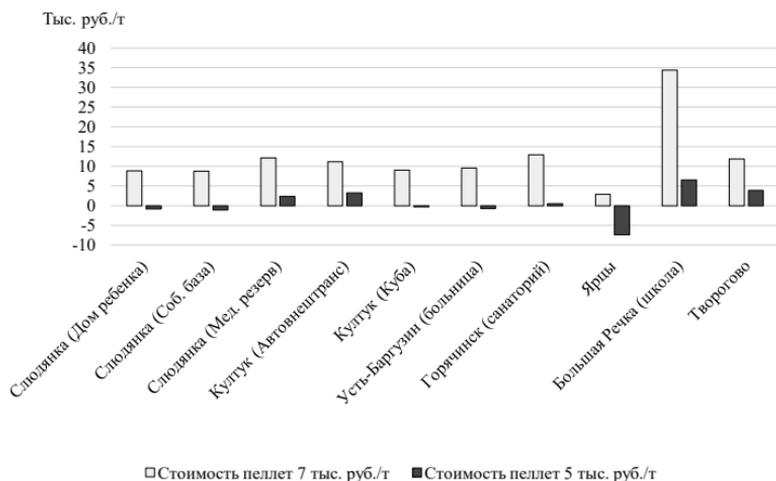


Рис. 3. Влияние цены пеллет на стоимость сокращенных выбросов

В среднем значение стоимости сокращенных выбросов при замещении угля пеллетами в прибрежных районах оз. Байкал варьируется при цене пеллет 7 тыс. руб./т от 8,5 до 12 тыс. руб./т, при цене пеллет 5 тыс. руб./т от -1 до 4 тыс. руб./т.

В полученных выше эколого-экономических оценках замещения угля топливной щепой и пеллетами учитывались только выбросы загрязняющих веществ (твердых частиц, оксидов серы ( $\text{SO}_2$ ) и азота ( $\text{NO}_x$ )). Дополнительные данные о сокращении выбросов  $\text{CO}_2$  и объемов образования ЗШО представлены в таблице 4.

Таблица 4. Экологические эффекты от замещения угля древесным топливом

Топливо, показатель	Пеллеты			Щепа		
	Выброс ЗВ	$\text{CO}_2$	ЗШО	Выброс ЗВ	$\text{CO}_2$	ЗШО
Уголь, т/год	1692,3	20305,7	1672,8	93,4	1252,1	89
Биотопливо, т/год	92,6	1,209	138,9	5,3	0,2	7,2
Снижение, на т/год	1599,7	20304,5	1533,9	88,1	1251,9	81,8
Эффект, ↓ на %	94,5	100	91,7	94	100	92,0

В целом, для рекомендованных к замещению топливной щепой четырех угольных котельных выброс загрязняющих веществ в атмосферу снижается в 17,6 раза, а образование ЗШО – в 12,4 раза. Для рекомендованных к замещению топливными

пеллетами 10 угольных котельных снижение загрязняющих выбросов в атмосферу оценивается в 18,3 раза, а ЗШО – в 12 раз.

При переводе всех 14 рассматриваемых угольных котельных на древесное топливо выброс загрязняющих веществ в атмосферу снизится на 1,7 тыс. т/год, образование золошлаковых отходов – на 1,6 тыс. т, выбросы оксидов серы и  $\text{CO}_2$  будут устранены полностью.

### **Заключение**

Сохранение надежного энергоснабжения при максимальном снижении антропогенного воздействия на элементы природной среды должно быть важной задачей энергетических предприятий, особенно расположенных в природоохранных зонах. Переход на экологически благоприятные виды топлива или энергоносители (природный газ, древесное топливо, водород, электроэнергию) является одним из приоритетных направлений экологизации энергетического производства.

Эколого-экономическая оценка эффективности перевода котельных с угля на древесное топливо показала, что большое влияние на результат оказывают цены на конкурентные виды топлива, транспортный фактор, а также мощность теплоисточника. Например, для котельных, расположенных рядом с деревообрабатывающими предприятиями, перевод на древесное топливо может привести не только к улучшению экологической ситуации, но и к существенной экономии денежных средств на отопление. В результате снижения стоимости пеллет на 2 тыс. руб./т значение стоимости сокращенных выбросов загрязняющих веществ в среднем снижается с 12 до 1 тыс. руб./т.

Исследование позволяет рекомендовать для замещения угля древесным топливом 14 котельных из 54 рассматриваемых в центральной экологической зоне Байкальской природной территории. Из них 4 целесообразно перевести на сжигание топливной щепы, а 10 – на использование пеллет. В целом для прибрежных районов оз. Байкал замещение угля древесным топливом только в 14 рассмотренных котельных позволит снизить выброс загрязняющих веществ на 94%, эмиссию парниковых газов – на 100%, уменьшить образование золошлаковых отходов на 92–91%.

## Литература/References

Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Майсюк Е.П., Тугузова Т.Ф., Иванов Р.А. Энергетическая инфраструктура центральной экологической зоны: воздействие на природную среду и пути его снижения // География и природные ресурсы. 2016. № 5. С. 218–224. DOI: 10.21782/GIPR0206–1619–2016–5(218–224)

Saneev, B.G., Ivanova, I. Yu., Maysyuk, E.P., Tuguzova, T.F., Ivanov, R.A. (2016). Energy infrastructure of the central ecological zone: environmental impact and ways to reduce it. *Geografiya i prirodnye resursy*. No. 5. Pp. 218–224. (In Russ.). DOI: 10.21782/GIPR0206–1619–2016–5(218–224)

Baker, E.D., Khatami, S.N. (2019). The leveled cost of carbon: a practical, if imperfect, method to compare CO<sub>2</sub> abatement projects. *Climate Policy*. Vol. 19(9). Pp. 1132–1143. DOI:10.1080/14693062.2019.1634508

Buss, J., Mansuy, N., Laganière, J., Persson, D. (2022). Greenhouse gas mitigation potential of replacing diesel fuel with wood-based bioenergy in an arctic Indigenous community: A pilot study in Fort McPherson, Canada. *Biomass & Bioenergy*. Vol. 159(59). Pp. 106367. DOI: 10.1016/j.biombioe.2022.106367

Buss, J., Mansuy, N., Madrali, S. (2021). De-risking wood-based bioenergy development in remote and indigenous communities in Canada. *Energies*. Vol. 14. P. 2603. DOI: 10.3390/en14092603

Friedmann, J., Fan, Z., Byrum, Z., Ochu, E., Bhardwaj, A., Sheerazi, H. (2020). Levelized Cost of Carbon Abatement: An Improved Cost-Assessment Methodology for a Net-Zero Emissions World. Available at: [https://www.energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/file-uploads/LCCA\\_CGEP-Report\\_101620.pdf](https://www.energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/file-uploads/LCCA_CGEP-Report_101620.pdf) (accessed 21.11.2022).

Gubiy, E. (2022). The use of waste products of the forestry sector for energy purposes in the central ecological zone of the Baikal natural area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 4. P. 012002. DOI 10.1088/1755–1315/990/1/012002

Vogt-Schilb, A., Meunier, G., Hallegatte, S. (2018). When starting with the most expensive option makes sense: Optimal timing, cost and sectoral allocation of abatement investment. *Environmental Economics and Management*. Vol. 88. Pp. 210–233. DOI: 10.1016/j.jeem.2017.12.001

Zia, H. (2020). LCCA and Environmental Impact of Buildings. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Pp. 133–143. DOI:10.1016/B978–0–12–803581–8.10675–7

Статья поступила 02.12.2022

Статья принята к публикации 15.12.2022

**Для цитирования:** Майсюк Е.П., Губий Е.В. Эффективность использования древесного топлива на Байкале // ЭКО. 2023. № 3. С. 110–123. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2023-3-110-123

**For citation:** Maysyuk, E.P., Gubiy, E.V. (2023). Efficiency of the Use of Wood Fuel on the Lake Baikal. *ECO*. No. 3. Pp. 110–123. (In Russ.). DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2023-3-110-123

## Summary

*Maysyk, E.P., Cand. Sci. (Econ.). E-mail: maysyuk@isem.irk.ru*

*Gubiy, E.V., Cand. Sci. (Engineering). E-mail: egubiy@isem.irk.ru.ru.*

*Researcher of Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch of the RAS, Irkutsk*

### **Efficiency of the Use of Wood Fuel on the Lake Baikal**

**Abstract.** The paper proposes a method of ecological and economic evaluation of the effectiveness of environmental protection measures for power facilities. It is based on the calculation of the ratio of costs for the implementation of environmental technology and environmental effects from its implementation. This makes possible to estimate the environmental effect in the form of prevented emissions of pollutants, greenhouse gases or ash and slag waste in cost terms. The method was tested in the case of replacing coal with fuel pellets and wood chips in boiler houses located in the central ecological zone of the Baikal natural area. The authors show that the economic efficiency of using wood fuel depends on its price and quality characteristics, local transport infrastructure and the capacity of a heat source. As a result of substitution of charcoal by wood fuel in 14 recommended boiler-houses a noticeable ecological effect can be reached: pollutant emissions are reduced by 94%, greenhouse gas emissions into the atmosphere are reduced by 99.9%, ash-and-slag waste generation is reduced by 92–91%.

**Keywords:** *biofuel; pollutants; greenhouse gases; ash and slag waste; cost of reduced emissions*