

## Действительная стоимость электроэнергии в Сибири: анализ выгод и издержек<sup>1</sup>

Горбачева Н.В.

Современное общество сталкивается с проблемой энергетического выбора между ископаемыми и возобновляемыми источниками энергии при электрификации многих сфер хозяйственной деятельности. В российском научном дискурсе, преимущественно позитивистского толка, подчеркивается нарастание межтопливной конкуренции и дороговизна возобновляемых источников энергии в нашей стране, однако отсутствует понимание подлинной стоимости электроэнергии, произведенной разными типами энергии. Этот пробел и намерена восполнить данная статья, предлагая методологию анализа выгод и издержек как сочетание количественных и качественных методов для проведения сравнительной оценки энергетических альтернатив. В рамках количественного анализа подробно рассмотрены способы монетизированной оценки воздействия на окружающую среду и здоровье, а также влияния субсидий, теневых цен и временной стоимости денег. Качественный анализ исследует важные факторы, которые сложно оценить в денежном выражении, но которые значимы в достижении долгосрочных целей, например, общего блага. В этом отношении показана перспектива применения ценностного подхода к оценке желательных для общества энергетических альтернатив. В качестве апробации предлагаемой методологии выбран показательный мегарегион, богатый энергоресурсами – Сибирь, вырабатывающий электроэнергию, преимущественно, за счет углеводородов и воплощающий проекты в области ВИЭ. На основе эмпирического материала трех действующих в Сибири электростанций – угольной, газовой и солнечной, даны монетизированные оценки полноценной стоимости трех альтернатив производства электроэнергии в Сибири.

<sup>1</sup> Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ № 18-78-00113.

В разработке финансовой модели трех действующих электростанций в Сибири и проведении отдельных финансовых расчетов (например, по ДПМ-договорам) автор выражает благодарность за профессиональные советы и предоставленные эмпирические данные энергетикам-практикам: директору Новосибирского филиала «КЭР-Инжиниринг» Е.Е. Русских и генеральному директору «Солнечная энергия+» А.Н. Ялбакову. Вместе с тем, все расчеты, возможные неточности и интерпретация оценок остаются исключительно в сфере ответственности автора исследования.

**Горбачева Наталья Викторовна** – к.э.н., старший научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН; доцент кафедры экономики и инвестиций Сибирского института управления – филиала РАНХиГС. E-mail: Nata\_lis@mail.ru

Статья поступила: 22.06.2020 /Статья принята: 08.09.2020.

**Ключевые слова:** электроэнергетика; углеводороды; возобновляемые источники энергии; Сибирь; анализ выгод и издержек; ценности; общее благо.

**DOI:** 10.17323/1813-8691-2020-24-3-340-371

**Для цитирования:** Горбачева Н.В. Действительная стоимость электроэнергии в Сибири: анализ выгод и издержек. *Экономический журнал ВШЭ*. 2020; 24(3): 340-371.

**For citation:** Gorbacheva N.V. True Value of Electricity in Siberia: Cost-Benefit Analysis. *HSE Economic Journal*. 2020; 24(3): 340-371. (In Russ.)

## Введение

В современной мировой экономике усиливается значимость электроэнергии, которая, по прогнозам, станет доминантным конечным энергоносителем к 2050 г., опережая даже нефтепродукты в мировом энергобалансе. Согласно Энергетической стратегии России, прогнозируется рост энергопотребления к 2035 г. в 1,18–1,25 раза (до 1310–1380 млрд кВтч) в нашей стране<sup>2</sup>, при этом самые высокие темпы роста ожидаются в Сибири и на Дальнем Востоке: 2,0% ежегодного роста против 1,22% в среднем по России. Можно говорить о свершении подлинной революции электричества, которая по силе воздействия будет гораздо более масштабной и преобразующей, нежели происходящие ранее трансформации в энергетике [Ebinger, Banks, 2013].

Актуальность проблемы энергетического выбора обусловлена двумя обстоятельствами. Во-первых, электроэнергия вырабатывается из разных источников энергии и такая «всеядность» усиливает конкуренцию между доминирующими сейчас углеводородами – природным газом и углем, и быстрорастущими возобновляемыми источниками энергии – солнечной и ветровой энергией. Во-вторых, электроэнергетика является самым крупным отраслевым потребителем первичной энергии, и изменения в структуре генерации способны кардинально трансформировать всю энергосистему. Как справедливо отметил главный экономист компании «Би-Пи» Д. Спенсер, электроэнергетика представляет собой «*весьма экономически эффективную область, если сфокусироваться на должном типе энергии и определенном виде инициатив*»<sup>3</sup>. При этом экспертные прогнозы поляризованы: одни основаны на неисчерпаемости ископаемого топлива благодаря сланцевой революции и другим инновациям в ресурсном секторе, другие – на суждении о «100% возобновляемой генерации к 2050 г. для 139 стран мира» [100% Clean and Renewable Wind... 2017]. Все это обостряет проблему энергетического выбора.

Сибирь как мегарегион России<sup>4</sup> представляет собой релевантный социоэкономический контекст, в котором проблема энергетического выбора наиболее очевидна. Как из-

<sup>2</sup> Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р. (<https://minenergo.gov.ru/view-pdf/1026/119047>)

<sup>3</sup> Interview with Spencer Dale, the chief economist of BP, Columbia Energy Exchange, a weekly podcast, June 25, 2018. (<https://energypolicy.columbia.edu/spencer-dale-bp-statistical-review-world-energy-2018>)

<sup>4</sup> В статье под Сибирью понимается мегарегион России, простирающийся от Уральских гор до Тихого океана и включающий 24 субъекта РФ. Более подробно см.: [Сибирь как мегарегион, 2018].

вестно, Сибирь изобилует углеводородами, которые помимо экспортных выгод дают более 65% электроэнергии и тепла для почти тридцатимиллионного населения и крупной энергоемкой промышленности (рис. 1). Видные сибирские ученые полагают, что и в дальнейшем «для условий Сибири достойным ответом на внешние и внутренние вызовы может стать взаимодополняющее развитие угольной промышленности и электроэнергетики» [Пармон и др., 2019].

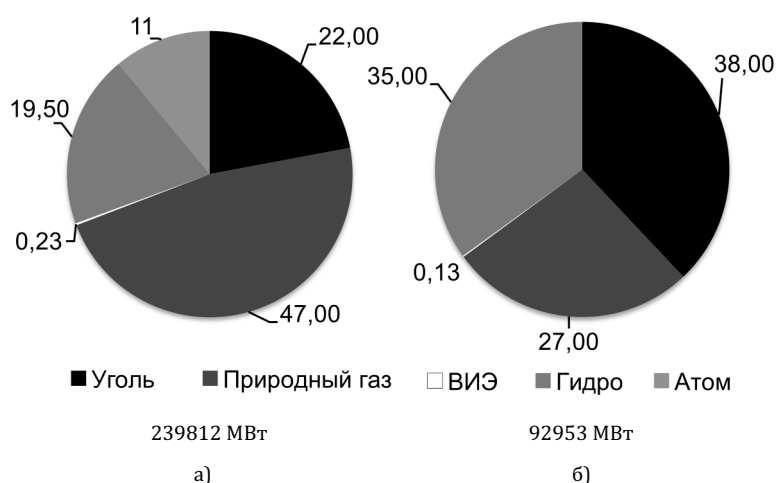


Рис. 1. Структура установленной мощности электростанций в России (а) и Сибири (б) в 2017 г., %

Источник: составлено автором.

В то же время мегарегион обладает значительным потенциалом ветровой и солнечной энергии [Попель, Фортов, 2018], но этот потенциал мало реализован: совокупная мощность солнечных станций, единственных представителей крупной сетевой ВИЭ в мегарегионе, в шесть раз меньше, чем в европейской части России, т.е. 90 МВт против 535 МВт (без Крыма) (табл. 1). Согласно Энергостратегии России, основная проблема использования ВИЭ состоит в «их недостаточной экономической конкурентоспособности по отношению к иным технологиям производства электрической энергии»<sup>5</sup>. Таким образом, сравнительный анализ альтернатив производства электроэнергии за счет качественно отличающихся друг от друга традиционных или возобновляемых источников становится необходимым для Сибири.

Для сравнения энергетических альтернатив научное сообщество предлагает несколько подходов. Так, мультикритериальные оценки [Cooper et al., 2018; Ermolenko et al., 2017; Shmelev, Bergh van, 2016] определяют сравнительное преимущество на основе агрегирования разных технических показателей (% КПД станции; занимаемая площадь станции в км<sup>2</sup> на 1 кВт установленной мощности; эмиссия CO<sub>2</sub> в кг на 1 кВт; количество

<sup>5</sup> Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р. С. 24. (<https://minenergo.gov.ru/view-pdf/1026/119047>)

занятых на 1 кВт). При этом учитываются только количественные показатели и не принимаются во внимание ряд важных детерминант энергетического выбора. Одна из них – *фактор времени* в проявлении положительных и отрицательных эффектов, например, выгод от текущего потребления дешевой электроэнергии АЭС и издержек от утилизации ядерного топлива в будущем.

Таблица 1.

**Крупные солнечные и ветровые электростанции в Сибири**

Регион Сибири	Электростанции (мощностью более 5 МВт)	Суммарная установленная/ проектируемая мощность, МВт
Республика Бурятия	СЭС «БВС», Бичурская СЭС, Кабанская СЭС, Хоринская СЭС, СЭС «Тарбагатай»*, Гусиноозерская СЭС*, СЭС «Окно-Клинч»*, Идинская СЭС № 1*, Идинская СЭС № 2*	45/115
Республика Алтай	Кош-Агачская СЭС № 1, Усть-Канская СЭС, Онгудайская СЭС, Майминская СЭС, Кош-Агачская СЭС № 2, Ининская СЭС*, Чемальская СЭС**, Шебалинская СЭС**, Усть-Канская СЭС – 2**	40/140
Республика Хакасия	Абаканская СЭС	5,2/0
Омская область	Нововаршавская СЭС**, СЭС «Русское поле»**, Павлоградская СЭС**, Омский ветропарк**	0/175
Забайкальский край	Агинская СЭС**, СЭС «Балей»*, Читинская СЭС*, Орловский ГОК СЭС*, Борзя Западная СЭС**	0/135
Алтайский край	Славгородская СЭС**, Алейская СЭС**, Куринская СЭС**	0/65

*Примечание:* \* – электростанции, которые находятся на этапе строительства в 2019 г.; \*\* – электростанции, которые планируется построить до 2023 г. согласно прошедшим конкурсным отборам в 2013–2019 гг. и схемам развития электроэнергетики 24 регионов Сибири на 2020–2024 гг.

*Источник:* составлено автором.

Другой подход базируется на расчете нормированной (приведенной) стоимости электроэнергии (Levelized Cost of Energy – LCOE), которая показывает капитальные и операционные издержки производства киловатт-часа в постоянных (реальных) ценах за весь срок службы электростанции. Этот показатель используют не только исследователи, но и – в качестве бенчмаркинга – крупные аналитические агентства, например, консалтинговая компания *Lazard* и Международное энергетическое агентство по возобновляемой энергетике (IRENA). Несмотря на надежность данных о капитальных и операционных издержках, наблюдается значительный разброс оценок как между разными источниками энергии, так и для одного типа электростанций, параметры работы которых чувствительны к локализации энергообъектов (рис. 2).



Рис. 2. Оценки затрат производства электроэнергии в России

Также этот показатель не учитывает важные издержки, например стоимость вреда, причиненного здоровью, окружающей среде и климату в результате сжигания углеводородов. Кроме того, Джоскоу убедительно показал, что этот подход игнорирует и рыночные выгоды от продажи электроэнергии в пиковые часы по повышенным ценам, которые доступны для работающих в базовом режиме традиционных электростанций в отличие от переменчивых СЭС и ВЭС [Joskow, 2011]. Таким образом, сопоставление на основе LCOE недооценивает стабильность угольных и газовых электростанций по сравнению с прерывистой ВИЭ-генерацией. Согласно LCOE, эффективность ветряных станций, работающих преимущественно в ночное время, вне пиковой нагрузки, преувеличена по сравнению с фотовольтаическими технологиями, позволяющими вырабатывать электроэнергию в наиболее востребованное дневное время.

Стремление дать полную оценку вариантов производства электроэнергии было проявлено авторитетными научными коллективами (Hamilton Project, US National Research Council, MIT Energy Initiative и др.), которые монетизировали эколого-климатические последствия использования ископаемого и ядерного топлива, а также возобновляемых источников [National Research Council, 2010]. Полученные результаты не носят универсальный характер, а демонстрируют зависимость оценок от социоэкономического контекста страны и конкретного региона; также за пределами анализа остался ряд важных факторов, например стоимость потребления воды, теневые цены, субсидии.

Цель статьи состоит в разработке и применении нормативного подхода к проведению сравнительной оценки вариантов электрогенерации в Сибири. Предлагается использовать методологию анализа выгод и издержек, которая считается «золотым стандартом» в экономической и социальной науках для проведения сравнительной оценки разных вариантов инвестиционных проектов, государственных программ и общественных инициатив. *Новизна* предлагаемой методологии заключается в сочетании количественного и качественного методов анализа выгод и издержек энергетического выбора. Аprobация *первого этапа* представлена на примере монетизированной оценки чистых выгод производства электроэнергии на трех реально действующих в Сибири электростанциях: угольной, газовой и солнечной.

Востребованность этого исследования обусловлена тем, что в российском научном дискурсе превалирует изучение, прежде всего, ценовой политики и прогнозной динамики в энергетике. При этом, экспертные оценки сильно различаются: от положения, что «*в России цена электроэнергии для населения ниже, чем в ведущих зарубежных странах <...>. Цена для большинства промышленных потребителей намного ниже*» [Чубайс, 2018] до утверждения, что «*российские тарифы [на электроэнергию] давно переросли мировой уровень*» [Любимова, 2019]. Однако имеется недостаток знаний относительно действительной стоимости электроэнергии от разных источников генерации, поскольку рыночные цены на электроэнергию не учитывают косвенные последствия ее производства, которое еще в значительной степени субсидируется – все это искажает подлинные выгоды и издержки выработки электроэнергии. Исследование призвано устранить этот пробел посредством проведения экономической оценки по трем уровням: количественному (монетизированному), качественному и ценностному – применительно к использованию разных типов энергии в социально-экономическом контексте Сибири.

## 1. Методология анализ выгод и издержек

Метод анализа выгод и издержек (Benefit-Cost Analysis, BCA в научном дискурсе США; Cost-Benefit Analysis, CBA в Великобритании, ЕС<sup>6</sup>) имеет разнообразные интерпретации и сферы применения. При высшей степени обобщения он выступает метаметодом и является синтезом методов при взвешивании преимуществ и недостатков в количественных и качественных отношениях. В узком прикладном смысле этот метод используется как чисто экономический инструментальный в рамках теории общественного благосостояния, и основная его цель заключается в исследовании степени соответствия государственных проектов, программ, регуляций критерию Калдора – Хикса: если ожидаемые выгоды бенефициаров компенсируют обремененным понесенные ими издержки, то опция признается экономически эффективной и достигается Парето-эффективность [Boardman et al., 2018]. Предпочтение отдается альтернативе с наибольшими чистыми выгодами (выгоды за минусом издержек); на практике это сводится к максимизации хорошо известного показателя – чистого дисконтированного дохода. Но в отличие от обычного расчета финансовой эффективности, где принимаются во внимание только расходы и доходы энергокомпаний, реализующих проект в конкретном налоговом режиме и наблюдаемых рыночных

<sup>6</sup> The New Palgrave Dictionary of Economics, 2<sup>nd</sup> ed., 2008. Edited by Steven N. Durlauf and Lawrence E. Blume. DOI 10.1057/978-1-349-95121-5\_381-2

условиях, метод анализа выгод и издержек подразумевает измерение и оценку *всех* возможных положительных (выгод) и отрицательных (издержек) эффектов для *всех* членов общества. Для этого используется предложенная И. Бентамом трактовка понятий «выгоды» и «издержки» как способности объекта продуцировать «*выгоду, преимущество, удовольствие или счастье (все эти качества в данном случае относятся к одному и тому же объекту) или препятствовать возникновению издержек, неудач, боли или несчастья*»; интерес сообщества в этом случае представляет собой «*сумму интересов ряда индивидов, которые составляют это сообщество*» [Moore, 1994, p. 288].

$$(1) \quad NPV = \sum_T \tilde{B}_t - \tilde{C}_t,$$

$$(2) \quad \tilde{B}_t = \frac{B}{(1+r)^t}, \tilde{C}_t = \frac{C}{(1+r)^t}, t = 1, \dots, N,$$

где  $B_t$  – выгоды (приток денежных средств) по энергообъекту;  $C_t$  – затраты (отток денежных средств) по энергообъекту;  $r$  – ставка дисконтирования;  $\tilde{B}_t$  – дисконтированные выгоды;  $\tilde{C}_t$  – дисконтированные затраты;  $T$  – конечное число моментов времени (шагов расчета) реализации энергообъекта.

Теоретические основы метода были заложены в начале 1950-х годов, когда происходило становление рационального капитализма (*rational capitalism*), концептуально обоснованного в начале XX в. М. Вебером [Вебер, 2016], обратившим внимание на преобладание в обществе *расчетливости и количественного подхода*: фирмы все чаще прибегают к помощи специальных счетоводов и квалифицированных работников; деятельность государственной бюрократии ориентирована на большую предсказуемость и рациональность. Тренд на расчет и последовательность действий был развит Ф. Рамсеем в концепции рационального выбора с учетом субъективных предпочтений и индивидуальных полезностей [Soames, 2019; Автономов, 2017]. Согласно этой концепции, при выработке логически обоснованных решений следует принимать во внимание затраты не только денег, но и времени, усилий, упущенных возможностей, а выгоды трактовать не только как личностное достижение в виде обогащения или самоудовлетворения, но и как деятельность по увеличению благополучия других.

С тех пор методология и методики были значительно усовершенствованы с целью более точного измерения, расчета и монетизированной оценки издержек и выгод реализации проектов и конкретных программ, прежде всего в государственном секторе экономики [Adler, Posner, 2006]. В современном российском экономическом дискурсе элементы методологии анализа выгод и издержек широко используются для оценки финансовой (коммерческой) и экономической (общественной) эффективности [Якобсон, 2001; Новикова, 2005; Виленский и др., 2008; Мельников, 2016]. Некоторые положения по оценке экономической эффективности содержатся в разработках Минэкономразвития РФ<sup>7</sup> и Счетной палаты РФ [Виленский и др., 2010].

<sup>7</sup> Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (утверждены Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 г. № ВК 477).

### 1.1. Количественный анализ выгод и издержек

В типичном количественном анализе выгод и издержек многофакторная энергетическая проблема сокращается только до одного измерения в монетарной стоимости: *выгоды* определяются методом «готовности заплатить» (*willingness to pay*), например, за предотвращение выбросов одной тонны мелкодисперсной пыли или парниковых газов и т.д., а *издержки* оцениваются методом «альтернативных издержек» (*opportunity cost*), учитывающих наилучший вариант использования ресурсов, например, рабочей силы в условиях полной занятости, поставки одной тонны угля по мировым ценам. Монетизация выгод и издержек позволяет привести различные эффекты к единообразию, и эффективной будет считаться альтернатива с наибольшими чистыми выгодами.

В сфере энергетических исследований этот метод сводится к оценке полной стоимости производства одного киловатт-часа электроэнергии. Ведь *«одна характеристика играет принципиально главную роль – это стоимость <...>. Правительства принимают тысячи страниц законодательных документов в энергетике, но никогда в истории они и не предлагали населению платить цену, которая отражает полные издержки энергии, которую они потребляют»*, и никакие другие действия не имеют столь значительного потенциала эффективности, как уплата за электроэнергию полноценной стоимости [Graetz, 2011].

Рассмотрим подробно четыре параметра, важных для монетизированной оценки полноценной стоимости электроэнергии: 1) экологические экстерналии; 2) выбросы CO<sub>2</sub>; 3) субсидии и теневые цены; 4) фактор времени и дисконтирование.

*Экологические экстерналии.* Сжигание ископаемого топлива связано с вредными выбросами, которые пагубно влияют на здоровье населения, животный и растительный мир. Последние два объекта опосредованно включены в анализ выгод и издержек, который считается антропоцентричным методом, и влияние на окружающий мир оценивается только с точки зрения готовности общества платить за биоразнообразие. Хотя ряд экспертов [Зеленая экономика... 2019; Boyd, 2017] утверждают, что природа обладает собственными «естественными правами» и объективной ценностью.

На мировую энергетику приходится почти 100% глобальной эмиссии оксидов серы (SO<sub>2</sub>) и азота (NO<sub>2</sub>), 85% мелкодисперсных веществ (PM 2.5 и PM 10) и 92% диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) [IEA, 2016]. В нашей стране традиционная электроэнергетика дает 35% SO<sub>2</sub> и 39% NO<sub>2</sub>, при этом Сибирь в 2018 г. произвела до 58% национальной вредной эмиссии (шесть видов выбросов) от сжигания углеводородов. Климат мегарегиона, погодные и синоптические условия, мощные приземные инверсии, туманы и застои приводят к накоплению примесей у поверхности земли, что усугубляет загрязнение воздуха в городах, особенно в длительный зимний период. Показательно, что в мегарегионе Сибирь находится больше половины городов России с «высоким и очень высоким уровнем загрязнения». Более того, средние концентрации бензапирена в азиатской части РФ почти в 6 раз выше, чем в европейской; причиной столь существенного различия названо *«использование в восточной части России более 80% генерирующих мощностей тепловых электростанций»*<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2018 г. Москва: Росгидромет, 2019. (<http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2018.pdf>; дата обращения: 01.04.2020 г.).



Научное сообщество обладает обширным массивом данных об устойчивой корреляции выбросов вредных веществ и здоровья населения<sup>9</sup>. Этих «невидимых убийц» Фуллер рассматривает в качестве ответственных за «наибольшее число трагедий в мирное время», так как 91% населения в мире живет в местах с загрязнением воздуха, превышающим нормы ВОЗ [Fuller, 2019]. В России, несмотря на наметившуюся положительную динамику, загрязнение воздуха входит в топ-10 рисков преждевременной смерти и каждые 100 тыс. населения нашей страны ежегодно лишаются условных 1500 лет здоровой жизни в связи с загрязнением воздуха (по данным IHME)<sup>10</sup>.

Для монетизированной оценки стоимости загрязнения используются два способа. Метод гедонистического ценообразования сопоставляет рыночные цены, например, в Новосибирске 1 кв. м жилья вблизи ТЭЦ-5<sup>11</sup>, сжигающей бурый уголь (62 тыс. руб./м<sup>2</sup>), и лесопарковой зоне города (89 тыс. руб./м<sup>2</sup>). Но экология – это только один из факторов, существенных для рыночной цены, и о его влиянии на здоровье население может быть мало информировано при покупке жилья. Более востребованным является второй способ – построение функции ущерба, которая показывает корреляцию между единицами вредных выбросов и вероятностью смертности или числом респираторных заболеваний. Затем эти числовые зависимости умножаются на стоимость среднестатистической жизни (VSL). Для определения VSL применяются *условные* методы оценивания (*contigent valuation study*), которые на основе социологических опросов демонстрируют индивидуальные самооценки при реализации гипотетических сценарных условий: готовности социальной группы заплатить за возможность снизить риск преждевременной смерти благодаря снижению вредных выбросов, например до нормы, рекомендуемой ВОЗ. Используя такой подход, ОЭСР оценила в 2015 г. для России ежегодный урон здоровью в результате загрязнения воздуха в размере 447658 млн долл., или 12,5 % ВВП [Roy, Braathen, 2017]. Россия находится на втором месте в мире (после Латвии) по количеству случаев преждевременной смерти из-за загрязненности воздуха (955 смертей на 1 млн жителей), и стоимость среднестатистической жизни составляет 3,269 млн долл. (в ценах 2015 г.)<sup>12</sup>. Однако россий-

<sup>9</sup> The Integrated Science Assessment for Particulate Matter (Final). 2020. (<https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-particulate-matter>)

<sup>10</sup> Для измерения динамики используется показатель DALYs (Disability-Adjusted Life Years), который оценивает суммарное «бремя болезни» и считающийся более репрезентативным показателем, нежели смертность, так как измеряет не просто факт избегания смерти, а потенциал утраченных лет полноценной здоровой жизни. Один DALY равен утрате одного года полноценной здоровой жизни. Болезни, которые ухудшают качество жизни, но не укорачивают ее (хронические заболевания легких, астма), в сумме увеличивают суммарный показатель DALYs.

<sup>11</sup> Согласно данным мониторинга компании «ТИОН» (CityAir), Октябрьский район Новосибирска, где расположена одна из самых крупных в Сибири электростанций на буром угле (1200 МВт), имеет самый высокий уровень ПДК вредных веществ в полуторамиллионном городе.

<sup>12</sup> Среднестатистическая стоимость жизни (VSL) в 3,269 млн руб. не означает прямых оценок человеческой жизни россиянина. Этот индикатор указывает на саму возможность потратить до 12,5% ВВП страны на меры по снижению риска преждевременной смертности для большого числа населения в результате загрязнения воздуха. Такая интерпретация связана с концептом «альтернативных издержек» (издержек упущенных возможностей): если граждане заявляют, что они нуждаются в тех или иных предоставляемых благах, но не желают ничего отдавать взамен, то, согласно методу анализа выгод и издержек, возникают обоснованные сомнения в реальной ценности того

ские экономисты оценивают такой ущерб здоровью меньше в два раза, «в 2010 г. такой ущерб от загрязнения воздуха вредными веществами составил ...в России – 6% [ВВП]» [Порфирьев, 2019]. Такие различия не редкость в практике применения метода анализа выгод и издержек, что указывает на недостатки монетизированного подхода. Вопросы для определения VSL носят весьма гипотетический и абстрактный характер, а ответы эмоционально окрашены и часто противоположны, поэтому условные оценки могут сильно разниться и быть не вполне убедительными. Как показано в социологическом исследовании [Карачаровский, Шкаратан, 2020], спрос на самое популярное в России «гуманитарное» благо – «увеличение здоровых лет жизни россиян всех поколений» – обладает самой высокой внутригрупповой неоднородностью выбора, т.е. наблюдается высокий разброс в одобряемом размере финансирования этого блага между разными социальными группами. Более того, при прочих равных, согласно «эффекту обладания», стоимость утраты имеющегося блага в виде чистого воздуха оценивается кратно выше, нежели стоимость приобретения пока недоступной возможности им дышать.

Традиционные электростанции потребляют и значительное количество воды, которая, являясь незаменимым ресурсом, становится все более востребованным активом. В России электроэнергетика потребляет 60% пресной воды. Показательно, что в процессе охлаждения оборудования одной крупной угольной электростанции каждый час через градирни испаряется более 2 тыс. т воды. Плюс к этому, для подготовки 1 т угля используется «в среднем до 5–6 м<sup>3</sup> воды»<sup>13</sup>, а для природного и сланцевого газа – от 10–30 л на 1 ГДж добытой энергии [Speight, 2013].

В условиях отсутствия свободного рынка торговли водными ресурсами их полноценная стоимость определяется разными способами в зависимости от промышленных, рекреационных или продовольственных целей. Для этого используются различные приемы: социологические опросы, выявляющие число домохозяйств, готовых заплатить за восстановление качества водных объектов, используемых для отдыха; вычисление затрат на перемещения к туристическим местам с чистыми водоемами; расчет разницы в цене 1 л бутилированной и водопроводной воды. Водозабор в промышленных целях имеет наивысшую оценку, например, медианное значение для ТЭЦ составляет 40,18 долл. за использование 1,2 млн л пресной воды [Frederick et al., 1996]. Стоимость водных ресурсов варьируется в зависимости от природно-климатических факторов и со стороны «предложения» (осадков, снежного покрова), и со стороны «спроса» (засушливые районы, сезонное потребление, технологические изменения).

*Изменение климата.* Потребляя углеводороды, Сибирь выступает не только агентом изменения климата, но и реципиентом погодных аномалий, будучи неразрывно связана с Арктикой, где происходит самое быстрое глобальное потепление в мире. Поэтому включение фактора изменения климата в экономический анализ крайне важно для Сибири.

---

или иного вида деятельности. Если реципиенты последствий вредной эмиссии не готовы платить за сокращение этих выбросов больше VSL, так как желают потратить свой ограниченный бюджет на другие, более ценные для них, товары и услуги, то при сравнении «грязных» и «чистых» альтернатив следует ориентироваться на предельное значение VSL.

<sup>13</sup> Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2016 году» ([http://fcvvhk.ru/wp-content/uploads/2018/01/2017\\_GosDoklad\\_VODA\\_26122017.pdf](http://fcvvhk.ru/wp-content/uploads/2018/01/2017_GosDoklad_VODA_26122017.pdf))

Неоспоримым преимуществом возобновляемых источников энергии является отсутствие эмиссии парниковых газов, прежде всего двуокиси углерода, которая считается главным детерминантом изменения климата<sup>14</sup>.

Научно обоснованные оценки эмиссии одной тонны CO<sub>2</sub> представлены в работах The Stern Review [Stern et al., 2007] и The Social Cost of Carbon [National Academies of Sciences, 2017]. Несмотря на то, что последствия загрязнения окружающей среды и изменения климата относятся к негативным экстерналиям, подходы к их оценке разнятся. Так, при оценке стоимости загрязнения воздуха важна площадь распространения выбросов и численность жителей в регионе, а при анализе последствий изменения климата акцент делается только на эмиссии вредных веществ. Кроме того, эффекты изменения климата долгосрочны и глобальны, поэтому экономические оценки чувствительны к изменению ставки дисконтирования, а агент и реципиент последствий изменения климата могут не совпадать, как и их готовность платить за предотвращение потенциального ущерба. Так, экономическая оценка ущерба от выброса одной тонны CO<sub>2</sub> была по-разному рассчитана Департаментом энергетики США при администрациях Б. Обамы и Д. Трампа. Последняя по времени оценка «социальной стоимости CO<sub>2</sub>» привела к снижению этой стоимости тонны CO<sub>2</sub> с 40 до 21 долл. за счет сокращения периода прогноза с 300 до 100 лет и повышения ставки дисконтирования с 3% до 5%, что способствовало возрождению в стране угольных электростанций. У. Нордхаус критиковал доклад, выполненный под руководством Н. Стерна, за низкий уровень ставки дисконтирования, которая «гиперболизирует эффекты в отдаленной перспективе», и при более высоком дисконте драматические последствия изменения климата исчезают [Nordhaus, 2007].

Для России оценки стоимости эмиссии двуокиси углерода существенно различаются. В отечественной практике Минэнерго<sup>15</sup> в 2013 г. исходило из 400 руб. за 1 т CO<sub>2</sub> при формировании госпрограмм развития отрасли, Центр энергетических исследований Сколково при сценарных прогнозах в 2019 г. использовал 20 долл.<sup>16</sup> за т [Прогноз развития... 2019], а ЦЭНЭФ указывает на стоимость в 100 долл.<sup>17</sup> за т [Затраты и выгоды... 2014]. В зарубежном дискурсе для России предлагается также несколько оценок. Так, МВФ использует в расчетах 40 долл. за т CO<sub>2</sub>, а в обновленных расчетах У. Нордхаус предлагает 0,91 долл. за т CO<sub>2</sub> (в ценах 2010 г.) [Nordhaus, 2017]. Дисперсия оценок объясняется сложностью прогнозирования выгод от снижения эмиссии CO<sub>2</sub>, которые остаются глобальными в отдаленной перспективе, в то время как издержки сокращения выбросов, как правило, локальны, зависят от контекста и проявляются сразу. Чтобы избежать дисбаланса, а также устранить проблемы углеродной утечки, экономисты в последнее время рекомендуют установить на CO<sub>2</sub> глобальный налог, одинаковый для всех стран. Согласно оценкам МВФ,

<sup>14</sup> Для сравнения, угольные электростанции образуют 1210 г CO<sub>2</sub>-экв на 1 кВтч (из них 50 г связаны с добычей угля); газовые – 760 (180), дизельные – 880 (100). Возобновляемая энергетика, несмотря на «чистоту» выработки электроэнергии, образует 28 г CO<sub>2</sub>-экв на 1 кВтч из-за применения энергоемкого оборудования.

<sup>15</sup> Государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики», 2013.

<sup>16</sup> Для сравнения, 20 долл. за 1 CO<sub>2</sub> составляет 500 руб. по валютному курсу рубля по ППС (IMF, PPP conversion rate, 2019).

<sup>17</sup> Для сравнения, 100 долл. за 1 т CO<sub>2</sub> составляет 2030 руб. по валютному курсу рубля по ППС (IMF, PPP conversion rate, 2014).

при установлении глобального налога в размере 35 и 70 долл. за т налоговые доходы России составят 2,7%, или 4,9% ВВП.

*Субсидии и теневые цены.* Субсидии<sup>18</sup> в виде прямых финансовых ассигнований или налоговых льгот значительно искажают полноценную стоимость электроэнергии. С точки зрения методологии анализа выгод и издержек субсидии – это трансфер, который перераспределяет денежные средства без приращения благосостояния, хотя с точки зрения финансового анализа это чистые выгоды, увеличивающие рентабельность энергообъекта. Поэтому при экономической оценке стоимости электроэнергии субсидии из анализа следует исключать.

В абсолютном выражении, согласно расчетам GSI, мировая углеводородная генерация ежегодно получает субсидий почти в полтора раза больше, чем ВИЭ (261 против 150 млрд долл.), но если эти суммы поделить на объем отпущенной электроэнергии, то сравнение будет не в пользу возобновляемой энергетики. Согласно расчетам [Газман, 2019] за 2007–2017 гг., общая сумма прямых субсидий по ископаемому топливу составила 4728 млрд руб., а по возобновляемой энергетике – 1038 млрд долл. Конечно, точный размер субсидий определить достаточно сложно, но очевидно, что без сокращения трансферов действенность других ценовых сигналов существенно ограничена [Taylor, 2020].

Согласно оценкам МЭА, Россия находится на втором месте (после Китая) по уровню субсидирования электроэнергетики и ежегодно направляет на эти цели 2,2% ВВП. Российская ВИЭ-генерация получает косвенную поддержку посредством субсидий производителям энергооборудования и договорам о предоставлении мощности (ДМП), которые не только компенсируют капитальные затраты нового строительства электростанции, но и гарантированную 14-процентную годовую доходность инвесторам за введенную мощность вне зависимости от объема выработанной электроэнергии в течение 15 лет.

Кроме субсидий следует учитывать теневые цены. Будучи неторгуемым продуктом, электроэнергия производится локально, поэтому финансовые параметры (цены на топливо, заработная плата, налоги и др.) требуют пересмотра с точки зрения мировых цен<sup>19</sup>, которые, как считается, отражают наилучшие возможности использования местных ресурсов. Для этого структура финансовых затрат разделяется на три компонента: неторгуемые (налоги, тарифы, субсидии), полностью или частично торгуемые (цена топлива, оборудования, сооружения), и трудовые ресурсы. Значение первого компонента об-

---

<sup>18</sup> Оценку субсидий в энергетике выполняют четыре международные организации: ОЭСР, МЭА, МВФ и Глобальная инициатива по субсидиям (GSI), которые включают в расчеты разные инструменты поддержки, разные страны и разные периоды времени. Например, МЭА под субсидиями понимает действия правительства по занижению внутренних цен для конечных потребителей по сравнению с международным уровнем. Такой вид поддержки МВФ называет субсидии «до налогообложения» (*pre-tax*) и к ней добавляет субсидии «после налогообложения» (*post-tax*), связанные с установлением ставки налога на прибыль для энергокомпаний ниже эффективного уровня налогообложения. Наиболее полной базой (т.е. включающей не только углеводороды, но и ВИЭ) с независимыми оценками считаются расчеты GSI.

<sup>19</sup> Мировые цены не означают действительное влияние факторов экспорта и импорта, а показывают потенциал вовлечения товаров и услуг, гипотетически торгуемых в мировой экономике. Считается, что глобальные рынки позволяют реализовать дополнительные возможности благодаря свободной торговле, поэтому с точки зрения методологии анализа выгод и издержек эти цены показывают наилучший способ использования ограниченных ресурсов.

нуляется, для второго устанавливается коэффициент соотношения мировых и контрактных цен на основе структурных пропорций межотраслевого баланса<sup>20</sup> или прямых экспертных оценок [Макаров и др., 2019]. Для третьего компонента – трудовых ресурсов, теневая стоимость квалифицированного труда инженера-энергетика зависит от состояния рынка труда: чем ниже безработица и спрос на высококвалифицированные компетенции, тем ближе текущая заработная плата к эквиваленту альтернативных издержек. Например, в Сибири проблемы моногородов и технологической безработицы обесценивают стоимость местных трудовых ресурсов, занятых в традиционной энергетике, и целесообразно вводить понижающий коэффициент.

*Ставка дисконтирования.* Согласно временной стоимости денег, чем выше мы ценим настоящее, тем больше мы обесцениваем будущие последствия, и явная экономия, полученная сейчас, ценится нынешним поколением, как правило, выше, нежели потенциальный ущерб, возможный через несколько десятков лет, свидетелем которого будут будущие поколения. Поэтому при равных монетарных измерениях текущая экономия за счет использования дешевых углеводородов оценивается выше, чем потенциальные выгоды от снижения вредной эмиссии за счет использования ВИЭ. В отечественной практике для определения ставки дисконтирования, которая интерпретируется как стоимость капитала для инвестирования в энергетический проект, часто используются методы финансового менеджмента (средневзвешенной стоимости капитала (WACC) или модель оценки финансовых активов (CAPM), например, применяется 10% [Veselov et al., 2017] или даже 17,5% [Lanshina et al., 2018]. С точки зрения методологии анализа выгод и издержек использование таких высоких ставок неприемлемо. Ставка дисконтирования представляет собой процентную ставку, отражающую тот факт, что деньги в будущем стоят меньше, чем текущие деньги, которые могут быть инвестированы и приносить доход, в то время как будущие деньги этого не могут. Однако в условиях возможных масштабных экологических катастроф, опасных климатических изменений и пандемий сама перспектива текущего вложения даже в безрисковые финансовые инструменты, как например, гособлигации, может оказаться недоступной. С учетом интересов будущих поколений и долгосрочного характера энергетических проектов рекомендуется рассчитывать социальную ставку дисконтирования, которая варьируется в диапазоне 1–3% и с течением времени стремится к нулю [Discounting for Time and Risk... 2011].

## 2. Качественный анализ выгод и издержек

Качественный анализ выгод и издержек направлен на то, чтобы уйти от одномерного монетарного представления об эффектах, хотя демаркация между количественным и качественным анализом весьма условная. Согласно строгой экономической теории анализ, в котором все положительные или отрицательные результаты представлены в монетарном виде, признается количественным, а если хотя бы часть эффектов выражена в простом метрическом формате, то это называется качественной версией метода. Однако популярность методологии среди общественных наук (социологии, политэкономии, по-

<sup>20</sup> Межотраслевой баланс рассчитывается методом «затраты-выпуск». Базовые таблицы и коэффициенты полных затрат представлены в методологии Росстата по коду 40.1 «Услуги по производству, передаче и распределению электроэнергии».

литологии) расширила рамки количественного анализа, и к нему стали относить все виды данных, представленных в цифровом виде, а к качественному – только вербальные свидетельства, дескрипции и нарратив.

Качественный метод все более востребован при оценке энергетических альтернатив. Во-первых, все последствия использования того или иного типа энергии невозможно редуцировать к стоимости киловатт-часа электроэнергии. Монетизация, как отмечает С. Мау, противоречит принципу диверсификации, так как *«суть количественного подхода состоит в сокращении сложности и комплексности природы вещей до небольшого количества индикаторов, которые, как правило, легко измерить в формате “больше или меньше одного и того же [например, рублей]”»* [Мау, 2019]. Ограниченность монетарного подхода хорошо иллюстрирует ситуация с пожарами в Сибири в 2019 г., когда бездействие региональной власти было обосновано превышением потенциальных затрат в 56 млн руб., необходимых для борьбы с пожаром на 56 га леса, экономическая стоимость которого оценивалась в 0,75 млн руб.<sup>21</sup> Фактические потери – 6 млрд руб. – многократно превысили монетарные оценки бездействия. Если обратиться к качественным экспертным суждениям, то рациональный выбор покажет, что выгоды борьбы с пожарами очевидны. Так, российские ученые [Данилов-Данильян, Рейф, 2016] утверждают, что *«через сохраняемую в неприкосновенности природу Сибири и Дальнего Востока Россия вносит свой вклад в сохранение глобальной окружающей среды, ... так что не выкачивание из недр миллионов баррелей нефти, а именно это бесценное достояние способно утвердить ее в статусе мировой державы»*.

Масштабные и разноуровневые эффекты сложно соотнести с конкретными энергообъектами и выразить в денежном эквиваленте, например пользу от защищенности и надежности всей энергосистемы, сохранения биоразнообразия и красоты природного ландшафта. *«Перед лицом крайней неопределенности количественный анализ часто не способен предложить более полный информативный массив, чем качественный анализ»*, поэтому качественный метод анализа выгод и издержек более достоверен для принятия рационального решения [Bergh van den, 2004]. В Сибири качественные оценки важны при рассмотрении социальной динамики в результате смены энергетической парадигмы. Так, сокращение рабочих мест на угледобывающих предприятиях в моногородах ведет не только к монетизированным издержкам в виде выплат пособий по безработице, но и к росту протестных настроений, распространению аномии из-за потери работы. Этим факторам сложно дать монетарную оценку, они могут быть представлены в экспертном заключении, в нарративе самих работников шахт и электростанций об их положении и отношении к возможности переобучения, освоения новых специальностей и перспективах трудоустройства.

Во-вторых, уже монетизированные в рамках количественного подхода эффекты имеют неодинаковую значимость для разных референтных групп: например, в условиях бедности населения ультрадешевая угольная генерация становится более предпочтительной, чем борьба с негативными экстерналиями. Для реализации политики низкоуглеродной экономики ЕС разработал специальную метрику – индекс энергетической бедности

---

<sup>21</sup> Правительство Красноярского края, комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности, решение № 18 от 13.06.2019 г. ([http://www.krskstate.ru/dat/bin/art/39134\\_requenie\\_18.pdf](http://www.krskstate.ru/dat/bin/art/39134_requenie_18.pdf))

(ЕРОВ)<sup>22</sup>, который фиксирует доступность электроэнергии для регионов с высоким уровнем бедности, таких как Болгария, Румыния, Сербия. Для этих стран снижаются требования к внедрению «чистой», но пока еще дорогой, возобновляемой энергетики. Такой подход актуален и для Сибири, где, по данным официальной статистики, 17% населения проживает за чертой бедности<sup>23</sup>.

В-третьих, монетизация выгод с помощью метода «готовности заплатить» не всегда демократична, так как одна монета засчитывается как один «голос» в пользу того или иного источника энергии и, согласно правилу Парето-эффективности, наилучшей признается альтернатива с наибольшими чистыми выгодами. Соответственно, чем богаче человек, тем больше у него монет, голосов и возможностей повлиять на решения. Но это противоречит демократическим принципам, когда одному человеку, вне зависимости от уровня богатства и дохода, принадлежит один голос. Ж. Тироле подчеркивает, что «установление цен на такие общественные блага, как окружающая среда, CO<sub>2</sub>, вода, воздух, приватизирует их использование за счет предоставления частным компаниям эксклюзивного доступа к ним на то время, пока они платят за это» [Tirole, 2017]. Подобная монетизация не делает воздух и воду чище, а только укрепляет частную эксплуатацию активов, значимых для всего общества.

Для качественного анализа используются методы градаций, ранжирования, рейтингования, бенчмаркинга, простого соотношения показателей, чтобы сопоставить качественные характеристики в цифровом и вербальном выражении, например, с уровнем загрязнения атмосферного воздуха<sup>24</sup>, индексом качества городской среды<sup>25</sup>.

В дополнение к цифровой метрике проводятся и социологические интервью, экспертные опросы, анкетирование, анализ текстов для выявления положительных и отрицательных аспектов использования разных типов энергии на основе субъективных представлений, отношений, убеждений, взглядов репрезентативных групп. Р. Шиллер, представляя основы новой теории «нарративной экономики», подчеркивает важность методов дескрипции, описания историй, проведения полуструктурированных интервью для коллекции качественных данных [Shiller, 2019]. «Умение слушать как метод качественного исследования» позволяет выявить понимание респондентов и систематизировать их суждения и истории в текстовальном формате в специальных базах данных<sup>26</sup>. Эти методы широко используются и в энергетических исследованиях [Sovacool, Dworkin, 2014].

---

<sup>22</sup> Индекс энергетической бедности в странах ЕС. (<https://www.energypovertry.eu/indicator?primaryId=1467>)

<sup>23</sup> Уровень бедности в Сибири рассчитан как среднегеометрическая величина индексов бедности в 24 регионах Сибири в 2018 г. Согласно методологии Федеральной службы государственной статистики, уровень бедности показывает долю населения региона с денежными доходами ниже региональной величины прожиточного минимума, размер которого в Сибири варьируется в среднем от 9–11 тыс. руб., за исключением Якутии и Чукотки.

<sup>24</sup> Например, по данным мониторинга Западно-Сибирского УГМС, загрязнение окружающей среды в районах крупных городов Сибири подразделяется на четыре уровня: низкий, повышенный, высокий, очень высокий.

<sup>25</sup> Например, Индекс качества городской среды оценивает (в баллах) параметр «Экология и здоровье» в рамках национального проекта «Жилье и городская среда».

<sup>26</sup> Например, подобные базы текстуальных данных созданы при университетах the University of Chicago General Social Survey и University of Michigan Institute for Social Research.

Основной недостаток качественного метода анализа выгод и издержек состоит в трудности сопоставления гетерогенных положительных и отрицательных характеристик использования источников энергии. Синтез этих оценок зависит от интерпретации исследователя, его квалификации и надежности свидетельств, которые не всегда объективны, иногда эмоциональны и реактивны, а могут быть и пристрастны.

Относительно короткая для науки полувекковая история применения метода анализа выгод и издержек показывает, что этот подход привел к кардинальным улучшениям в обосновании оценочных сужений, но, как отмечает С.Р. Састейн, *«с точки зрения экономики денег и сохранения жизни революция «выгод и издержек» принесла неизмеримые улучшения. Этот метод положил конец плохим вещам, дал импульс хорошим вещам и превратил хорошее в еще лучшее. Но эта революция остается незавершенной»* [Sustein, 2018]. Дальнейшее совершенствование метода видится в возвращении к основам нормативного подхода.

Ценностный подход становится востребованным из-за того, что руководство базовым принципом метода выгод и издержек – экономической эффективности – часто не ведет к достижению целей более высокого порядка: благополучию, счастью, справедливости, равенству, общему благу. И наоборот, неэффективные решения могут способствовать реализации стратегически важных задач борьбы с бедностью, целей устойчивого развития общества. Л. фон Мизес подчеркивал, что любые *«издержки суть феномен определения ценности»*, поэтому субъективные установки и убеждения оказывают влияние на издержки производства продукта и его пользу для экономических субъектов [Мизес, 2005]. В отношении энергетического выбора влиятельный эксперт Т. Нордхаус, племянник и однофамилец нобелевского лауреата, напоминает, что *«наши представления о будущем энергетике практически всегда являются проекцией наших ценностей <...> Идея о том, что мы можем наполнить энергией весь мир за счет локальной децентрализованной возобновляемой энергетике родилась из более широкого видения того, как общество могло бы быть трансформировано в более гуманное, управляемое и равноправное место для жизни»* [Nordhaus, 2016].

Для этого требуется более сложный и изощренный метод выгод и издержек, благодаря введению ценностного подхода. Если качественный и количественный методы выявляют разнообразные положительные и отрицательные характеристики, которые сравниваются друг с другом, то ценностный подход задает интегрированное понимание конечной цели использования того или иного источника энергии и стремится свести воедино позитивные и негативные аспекты, чтобы получить общее оценочное суждение. Дальнейшее совершенствование метода анализа выгод и издержек видится именно в реализации ценностного подхода, т.е. метаанализа, который является *«держателем стандартов любого оценочного суждения»* [Scriven, 2016]. Как отмечает А. Сен, происходит трансформация роли ценностей в научных исследованиях: отношение меняется от неприемлемого и «неприкасаемого» с точки зрения позитивистского взгляда к пониманию важности рассмотрения субъективных ориентаций при определении экономического выбора [The End of Value-Free... 2012]. Например, предпринимаются попытки учесть опросы самооценки восприятия счастья как базовой ценности при проведении анализа выгод и издержек, хотя обнаружены как методологические сложности, так и методические ограничения [Adler, Posner, 2008; Лэйард, 2012].



С точки зрения ценностного подхода использование энергии можно представить как элемент общего блага в современных условиях стремительной электрификации многих сфер жизнедеятельности общества, когда повседневная жизнь людей зависит от бесперебойного энергоснабжения различных устройств, уровень материального достатка регулируется платежами за электроэнергию и тепло, а здоровье зависит от негативных экстерналий вследствие загрязнения окружающей среды и изменения климата.

В традициях экономического анализа часто понятие «общественные блага» соотносится с категорией, преимущественно, философского и социального дискурсов «общее благо». Несмотря на схожесть коннотаций этих двух понятий, их следует различать. Общественные блага характеризуются неисключаемостью и несоперничеством в их потреблении, таким образом, благо наделяется потребительскими свойствами и анализируется с точки зрения теории потребительского поведения и степени удовлетворенности потребителя. Общее благо, напротив, представляет мировоззренческое понимание общих и базовых ценностей, которые разделяет значительная группа людей. Поэтому в отличие от общественных благ, общее благо, во-первых, должно быть доступно всем, а не части сообщества как в случае, например, с клубными общественными благами, а во-вторых, не может быть утилизировано одними членами общества за счет других, например, таежные бастионы Сибири, будучи общим благом, не изменяют своих качеств при трансляции своих свойств для индивида или большого числа людей. Парки и скверы, напротив, будучи общественными благами, снижают свою потребительскую ценность и степень удовлетворения при скоплении и скученности людей в парке.

При этом кажущаяся абстрактной концепция «общего блага» подтверждается тремя социальными фактами: наличием социальных благ<sup>27</sup>, социальных связей и совместных мест проживания людей, что делает экономических субъектов сопричастными к решению проблем энергоэффективного поведения, коллективного здоровья и экологически ответственного взаимодействия. В то же время содержательное наполнение концепции общего блага зависит как от личных предпочтений, так и изначального положения в обществе экономических субъектов. Практическая сложность его определения делает «общее благо скорее достижением, а не социальным фактом» [Galston, 2013].

В этом смысле рассмотрение энергетики как элемента общего блага делает акцент не на глубине и всесторонности философского и социологического осмысления общего блага, а скорее на анализе средств его достижения, т.е. насколько использование традиционных и возобновляемых источников энергии, в принципе, желательно с точки зрения того, кто пока не знает, проиграет или выиграет он от того или иного энергетического выбора; другими словами – безотносительно знания о том, *превысят ли издержки обремененных выгоды бенефициаров*. Такое коллективное устремление «*поставить себя за весу невежества*», по мнению Ж. Тироля, сближает индивидуальные и коллективные интересы и способствует продвижению общего блага, в том числе за счет правильного энергетического выбора [Tirole, 2017].

---

<sup>27</sup> Удовлетворение от потребления этих благ невозможно без наличия второй стороны (например, общение, коммуникация, юмор и т.д.)

### 3. Количественная оценка полноценной стоимости электроэнергии из ископаемых и возобновляемых источников энергии в Сибири

В качестве первого этапа апробации методологии анализа выгод и издержек предлагается монетизированная оценка трех альтернатив выработки электроэнергии в Сибири как крупного российского региона, обладающего значительными запасами углеводородов и высоким потенциалом ВИЭ. Эмпирическая база исследования была сформирована в результате двух экспедиций в феврале и апреле 2019 г. в Республику Алтай для изучения опыта работы Майминской СЭС – самой передовой в России солнечной электростанции на гетероструктурных модулях. Количественные данные по традиционным электростанциям были предоставлены в результате проведения социологических интервью с представителями сибирских энергокомпаний.

Базовые технико-экономические параметры работы трех типов электростанций представлены в табл. 2. Финансовые модели построены в текущих ценах (с учетом прогноза инфляции Минэкономразвития) и с использованием стандартной техники проектного анализа трех действующих в Сибири электростанций: угольной ТЭС, газовой ТЭС и СЭС.

**Таблица 2.**  
**Технические характеристики трех электростанций в Сибири**

Показатель	Угольная ТЭС	Газовая ТЭС	СЭС
Установленная мощность, МВт	400	120	10
КИУМ, %	52	60	20
Капзатраты, руб./кВт	75000	68000	110000
Себестоимость электроэнергии, руб./кВтч	1,13	1,2	0,95
Количество работников, человек	700	90	5
Инвестиционный период, годы строительства	4,5	3	0,5
Эксплуатационный период, годы	36	30	20
Продукт	Электроэнергия и тепло	Электроэнергия и тепло	Электроэнергия
Финансовая схема реализации	ДПМ, кредит, собственные средства	Кредит и собственные средства	ДПМ, кредит и собственные средства

Источник: расчеты автора.

Прогнозные значения цен на электрическую энергию и мощность заданы в модели в соответствии с информацией Ассоциации «НП Совета рынка»<sup>28</sup> для субъектов РФ, в ко-

<sup>28</sup> Прогнозные значения актуальны по состоянию на 01.11.2019 г. ([http://www.atsenergo.ru/sites/default/files/prognoz/20191101\\_anpsr\\_ishodnye\\_dannye\\_i\\_prognoz\\_na\\_2020.pdf](http://www.atsenergo.ru/sites/default/files/prognoz/20191101_anpsr_ishodnye_dannye_i_prognoz_na_2020.pdf))

торых расположены действующие станции. На основе финансовой модели были рассчитаны чистые финансовые выгоды по формуле (1). На этом этапе, как правило, завершается обычная оценка финансовой эффективности энергообъектов с использованием современных теорий инвестиционного анализа. Напротив, монетизированный анализ выгод и издержек направлен на то, чтобы продемонстрировать возможности энергетического проекта, обеспечить эффективную аллокацию ресурсов с позиций общества в целом, а не только отдельных хозяйствующих субъектов – энергокомпаний. Для этого денежные потоки для обычной оценки эффективности скорректированы на величину трех видов эффектов.

1) *Экологические издержки.* Использовались исходные данные по четырем видам вредных выбросов ( $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $PM_{10}$ ,  $CO_2$ ), согласно исследованию [Сулов и др., 2011], в котором даны технические характеристики работы сибирских угольных и газовых электростанций. Использование технической воды изначально включено в финансовую модель. Монетизированная стоимость внешних эффектов определена на основе международных оценок, которые инфлировались к базовому 2019 г., затем конвертировались в рубли по курсу национальной валюты по ППС согласно данным МВФ (IMF comparator).

2) *Теневая стоимость расходов на топливо.* Согласно подразделу «Субсидии и теневые цены» цены на топливо заменяются на так называемые мировые цены. Такая корректировка связана с концептом «альтернативных издержек»: уравнивание доходности поставок топлива на внутреннем и внешнем рынках (за вычетом транспортных издержек и экспортных пошлин) позволяет унифицировать оценки стоимости электроэнергии с учетом упущенных возможностей благодаря глобальной торговле энергоресурсами. В расчетах мировые цены каменного угля и природного газа заданы на уровне цен нетбэка, представленных в Энергетическом бюллетене Аналитического центра при Правительстве РФ.

3) *Трансферы в виде налогов и субсидий.* Четыре вида налогов (НДС, налоги на прибыль, на имущество и на землю) рассматриваются как перераспределительный эффект и исключаются из анализа посредством простой процедуры – добавлением соответствующих сумм из финансовой модели, где они включены изначально как отток денежных средств.

Субсидии определяются в виде разницы от продажи мощности по ДМП и конкурентному отбору мощности (КОМ). Как показано в подразделе «Субсидии и теневые цены», ДМП позволяют не только компенсировать капитальные затраты нового строительства электростанции, но и гарантируют повышенную доходность инвесторам за введенную мощность, поэтому этот вид платежей рассматривается как вне рыночная поддержка в течение 15 лет. По окончании этого срока энергокомпания начинает продавать мощность по конкурентным условиям, т.е. КОМ, до истечения эксплуатационного периода работы станции. Для элиминирования этого вида поддержки приток денежных средств от продажи мощности по ДМП уменьшается до величины КОМ, а размер субсидии исчисляется как суммарная разница между значениями ДМП и КОМ за 15 лет.

Значения КОМ заданы в соответствии с информацией Ассоциации «НП Совета рынка» по состоянию на 01.11.2019, а расчеты составляющих цен на мощность по ДМП выполнены в соответствии с утвержденными Правилами Правительства РФ<sup>29</sup> согласно формулам (3–7).

---

<sup>29</sup> Постановление Правительства РФ от 13.04.2010 г. № 238 «Об определении ценовых параметров торговли мощностью на оптовом рынке электрической энергии и мощности» (вместе с

$$(3) \quad KЭ_i = \left( \frac{R_i \cdot HD_{i-1}}{1 - НП} + r_i + ЭР + НИ \right) \cdot СН,$$

$$(4) \quad HD_i = \frac{(1 + HD_0) \cdot (1 + ДГО_i)}{(1 + ДГО_0)} - 1,$$

$$(5) \quad r_i = \frac{R_i \cdot (k - 1)}{k^{16-i} - 1},$$

$$(6) \quad R_1 = КЗ \cdot (1 + HD_{-1})^{N_{cm}},$$

$$(7) \quad R_i = R_{i-1} - r_{i-1} + (HD_{i-1} - HD_{i-2}) \cdot (1 + HD_{i-1}) \cdot R_{i-1},$$

где  $KЭ_i$  – составляющая цены на мощность, обеспечивающая возврат капитальных и эксплуатационных затрат в  $i$ -м году;  $R_i$  – величина возмещаемых затрат в  $i + 1$  году;  $R_1$  – величина возмещаемых затрат для первого года поставки мощности;  $НП$  – ставка налога на прибыль;  $r_i$  – размер аннуитетного возврата инвестированного капитала с учетом 15-летнего срока окупаемости;  $ЭР$  – эксплуатационные расходы согласно п. 16 указанных Правил, которые скорректированы на соответствующую долю согласно п. 6–9 указанных Правил (например, эта доля равна 95% для объектов угольной генерации, находящихся во второй ценовой зоне оптового рынка);  $НИ$  – среднегодовая сумма налога на имущество, которая умножена на соответствующую долю согласно п. 6–9 Правил;  $СН$  – коэффициент, отражающий потребление мощности на собственные и хозяйственные нужды электростанций (например, для генерирующего объекта угольной генерации этот коэффициент равен 1,069);  $HD_i$  – фактическая норма доходности инвестированного капитала за  $i$ -й год, рассчитанная с учетом уровня доходности долгосрочных государственных обязательств;  $HD_{-1}$  – норма доходности инвестированного капитала, средневзвешенная за 1,5 (2,5) года для генерирующего объекта газовой (угольной) генерации, предшествовавших первому году поставки мощности;  $HD_0$  – базовый уровень нормы доходности инвестированного капитала в размере 15%;  $ДГО_i$  – средняя доходность долгосрочных государственных обязательств, выраженных в рублях, со сроком до погашения не менее 8 лет и не более 10 лет за  $i$ -й год;  $ДГО_0$  – базовый уровень доходности долгосрочных государственных обязательств в размере 8,5%;  $k$  – специальный коэффициент, согласно п. 5 Правил, равен 1,16 для поставщиков, находящихся во второй ценовой зоне оптового

«Правилами определения цены на мощность, продаваемую по договорам о предоставлении мощности», «Правилами индексации цены на мощность», «Правилами расчета составляющей цены на мощность, обеспечивающей возврат капитальных и эксплуатационных затрат»).

Постановление Правительства РФ от 28.05.2013 г. № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» (вместе с «Правилами определения цены на мощность генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии»).

рынка;  $KЗ$  – капитальные затраты, равные произведению величины капитальных затрат согласно, п. 12 и 13 Правил, и доли, предусмотренной п. 6–9 Правил, а также трех коэффициентов в соответствии с ценовой, климатической и сейсмической зонами;  $N_{cm}$  – специальный коэффициент, согласно п. 7 Правил (например, для угольных электростанций он равен 2,5).

Именно корректировка денежных потоков с учетом трех видов эффектов является квинтэссенцией монетизированного анализа выгод и издержек выработки электроэнергии. Затем для достижения сопоставимости разновременных проектов используется техника эквивалентных выплат с помощью формулы аннуитета:

$$(8) \quad EANB = \frac{NPV}{a_r^T},$$

$$(9) \quad a_r^T = \frac{1 - (1+r)^{-T}}{r},$$

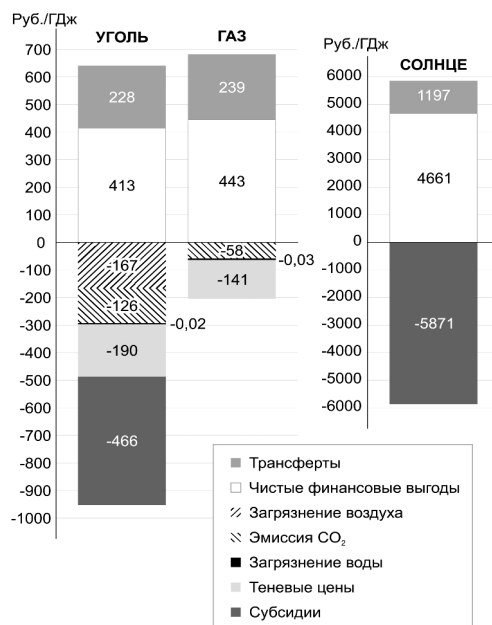
где  $EANB$  – ежегодные равные чистые выгоды;  $a_r^T$  – фактор аннуитета.

Экономический смысл показателя  $EANB$  состоит в том, что он отражает такую сумму ежегодных чистых выгод, получение которой равными долями в течение срока эксплуатации электростанции обеспечивает такие же совокупные выгоды, что и  $NPV$  энергетического проекта.

И наконец, ежегодные равные чистые выгоды каждой станции соотнесены с ГДж произведенной энергии. Угольные и газовые ТЭС востребованы в Сибири в режиме когенерации, т.е. производства тепла и электроэнергии, дающего им финансовую экономию и технологическое превосходство. Разделение всех издержек между двумя продуктами (электроэнергией и теплом) представляется весьма условным, поэтому для корректности вычислений полезный отпуск электростанций представлен в ГДж произведенной энергии (рис. 3).

Видно, что в наблюдаемых рыночных условиях все три альтернативы рентабельны, при этом самые высокие удельные финансовые выгоды оказалась у СЭС: 4661 руб. на 1 ГДж выработанной электроэнергии. Впрочем, для энергобизнеса, ориентированного на максимизацию совокупного дохода, угольная электростанция остается самым прибыльным предприятием, извлекающим экономию при масштабном производстве электроэнергии и тепла.

Если же применить метод анализа выгод и издержек и финансовые выгоды дополнить внерыночными эффектами, то картина кардинально меняется – привлекательной остается только газовая ТЭС (480 руб./ГДж), чистые экономические выгоды которой сохраняются даже после поднятия до мировых, заниженных в нашей стране цен на природный газ и учета экологических последствий. Используя самое дешевое и доступное топливо в Сибири, угольная ТЭС становится самой убыточной (–300 руб./ГДж) в рамках анализа выгод и издержек, но этот результат достигается преимущественно за счет исключения субсидий в виде ДПМ. Если субсидии не принимать во внимание, то накопленная финансовая прочность позволяет угольной генерации компенсировать экологические издержки и теневые цены.



**Рис. 3.** Экономические выгоды и издержки производства электроэнергии на угольной, газовой и солнечной электростанциях в Сибири, оценки (в ценах 2019 г.,  $r = 3,5\%$ )

Источник: расчеты автора.

В отличие от угольной генерации, солнечная электростанция без субсидий удерживается в зоне, близкой к безубыточности (-13 руб./ГДж). Если удастся кардинально снизить капзатраты и повысить КИУМ, то при низких операционных затратах СЭС смогут конкурировать с традиционными источниками энергии в Сибири. Согласно нашим имитационным расчетам, если для СЭС в Сибири КИУМ увеличить до 30% и капзатраты снизить на 38%, то для общества стоимость солнечной энергии становится сопоставима с газовой генерацией. Это вполне реализуемая задача. В мире такие примеры уже есть, о чем свидетельствует история американской компании *First Solar*, которая в 2016 г. была на грани банкротства из-за демпинга китайских производителей кремниевых солнечных панелей, но совершила инновационный рывок, разработав полностью автоматизированное производство перовскитных фотоэлементов больших размеров с наилучшим полупроводником, *cad-tel*, который имеет толщину всего 3 мкм теллурида кадмия черного цвета, а стоимость – на 30 % ниже самого дешевого китайского аналога. Передовые технологии помогли также совершить сланцевую революцию в традиционной энергетике, но экономические последствия, как отмечает Дж. Серновитц, «прорывных технологий для производства энергооборудования для ВИЭ, с одной стороны, и добычи ископаемого топлива, с другой стороны, фундаментально отличаются» [Sernovitz, 2016]. Автоматизация и роботизация позволяют организовать дешевое производство миллиона практически идентичных компонентов и тем самым радикально снизить стоимость ВИЭ. Это недоступно для традиционной электроэнергетики, которая остается зависима от себестоимости добычи ископаемого топлива.

#### 4. Обсуждение полученных оценок

Экономическая оценка подлинной стоимости электроэнергии позволила выявить ряд важных факторов, которые оказывают влияние на перспективы использования традиционной и возобновляемой энергии в Сибири.

Во-первых, наши оценки свидетельствуют о том, что ВИЭ уже сейчас является конкурентоспособной в Сибири, например, по сравнению с угольной генерацией, если принять во внимание весь спектр выгод и издержек для общества. Однако планируемое к 2024 г. увеличение совокупной установленной мощности до 640 МВт в Сибири явно недостаточно для извлечения эффекта экономии при масштабном строительстве сетевых солнечных и ветровых электростанций. Кроме того, учитывая индустриальную модель мегарегиона, где 60% электроэнергии потребляется крупными и средними предприятиями, предлагаемый в Энергостратегии нишевой подход развития ВИЭ и поиск удаленных «медвежьих углов», куда сложно доставить топливо и проложить линии электропередач, не позволяет наращивать инвестиции и полноценно извлекать эффект «экономии масштаба». Как показывает мировой опыт, реальный энергопереход совершается в тех регионах, где ВИЭ становится нормальной частью энергосистемы и серьезным конкурентом углеводородам, помимо нишевого приложения.

Во-вторых, монетизация негативных экстерналий является наиболее дискуссионной компонентой стоимости электроэнергии в Сибири. Приоритет в экономической оценке отдается загрязнению воздуха и климатическим угрозам, а водные ресурсы остаются одним из самых недооцененных факторов. В российской практике гидроресурсы, как правило, рассматриваются как основной источник возобновляемой энергии, в Сибири подчеркивается «ее наивысшая по сравнению с другими федеральными округами доля в использовании возобновляемых источников энергии» [Любимова, 2018]. Такая позиция причисления пяти самых крупных ГЭС Сибири на Енисее и Ангаре к ВИЭ представляется весьма сомнительной. На самом деле, гидроресурсы относятся не всегда к категории ВИЭ. Например, федеральным законодательством США только малые ГЭС (до 30 МВт) без сооружения дополнительных дамб признаются в качестве ВИЭ. В России строительство малых ГЭС, как правило, связано с возведением дамб, что не мешает относить эти объекты к ВИЭ согласно ФЗ № 35 от 26.03.2003 г. «Об электроэнергетике». Более того, ожидается рост глобального спроса на пресную воду на 20–50%, прежде всего в соседних с Сибирью азиатских странах<sup>30</sup>. Согласно данным *Water Conflict Chronology*, ежегодно растет и число региональных конфликтов, связанных с использованием пресных водоемов. Показателен межгосударственный спор России и Монголии по поводу строительства нескольких ГЭС в бассейне трансграничной реки Селенги, протекающей в мегарегионе Сибирь. Все это ставит под сомнение перспективность ГЭС как основного источника ВИЭ в Сибири, и полноценной альтернативой углеводородам становятся солнечные и ветровые электростанции.

В-третьих, реализация желаемого сценария энергоперехода Сибири к новой энергетической парадигме требует пересмотра политики субсидирования как традиционных, так и возобновляемых источников энергии. Причем для последних эта мера может ока-

<sup>30</sup> The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change / UNESCO World Water Assessment Programme. [S. l.]: UNESCO, 2020. (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985.locale=en> (accessed 01.03.2020)).

заться заведомо бесперспективной, тупиковой ситуацией. Если в случае с органическим топливом отмена различного рода преференций делает уголь неэффективной для общества опцией, то в случае с ВИЭ отмена поддержки не приводит к значительным убыткам, при этом возникает дополнительная опасность – технологическая блокировка новой отрасли. Как показывает наше исследование, новые СЭС в Сибири продают самую дорогую в Сибири электроэнергию за 25–30 руб./кВтч на оптовом энергорынке за счет ДПМ, которые позволяют получать повышенные платежи, исходя из установленной мощности, а не из объемов выработанной электроэнергии, как это имеет место в мировой практике, поэтому в мегарегионе отсутствует заинтересованность в повышении эффективности технологических процессов и снижении себестоимости. Как отметили наши респонденты, в 2018–2019 гг. в Республике Алтай наряду с передовыми СЭС введены в эксплуатацию и энергоустановки с устаревшим оборудованием для того, чтобы выполнить обязательства по вводу установленной мощности. Все это в долгосрочной перспективе не позволит российским потребителям «чистой» энергии окупить поддержку дорогостоящих и малоэффективных ВИЭ в Сибири. Согласно прогнозам экспертов группы «The Economist», *«старомодная малоэффективная возобновляемая энергетика будет подобна белым слонам к 2050 году, и наш теперешний энтузиазм ее субсидирования будет изумлять наших внуков»* [Megachange... 2012].

### Заключение

Рассмотрение метода анализа выгод и издержек в количественной и качественной версиях, а также применение монетизированного подхода к экономической оценке полноценной стоимости производства электроэнергии в Сибири позволяет сделать теоретический, методологический и практический выводы.

1. Конкуренция между преобладающими углеводородными и быстро развивающимися возобновляемыми источниками энергии нарастает, и энергетический выбор осуществляется исходя не только из различия финансовых и технических показателей двух типов энергии (ЛСОЕ, КИУМ) согласно критерию финансовой эффективности. В условиях диверсификации и инновационного развития экономики особое значение приобретают неметрические характеристики, которым сложно дать монетизированную оценку, но их требуется учитывать для осуществления социально взвешенного энергетического выбора. В связи с этим в качестве критерия оценки перспективности источника энергии предлагается использовать уровень достижения общего блага. Представление об общем благе из умозрительной, достойной только философского осмысления, теории превращается в действенный принцип экономического анализа альтернатив развития энергетики.

2. Обзор современных методов сравнительного анализа показал, что анализ выгод и издержек представляется перспективным методологическим подходом как сочетание количественных, преимущественно монетизированных, и качественных оценок альтернатив энергетического выбора. Монетизированные оценки остаются в мейнстриме этого подхода, так как их легче соизмерять и они дают ощущение объективности, счетности и транспарентности. Но для обоснования различия между традиционными и возобновляемыми источниками энергии необходим также анализ качественных данных в виде нарратива и дескрипций, которые показывают качественные отличия и субъективные представления в отношении использования этих типов энергии. Описанная в статье методо-



логия позволяет высказать предположение о необходимости дальнейшего развития анализа выгод и издержек с применением ценностного подхода, что даст возможность в результате синтеза монетарных, простых метрических и качественных оценок сформировать агрегированное оценочное суждение в отношении энергетической дилеммы. Этому планируется посвятить следующие работы в рамках наших исследований.

3. Монетизированный анализ выгод и издержек трех типов электрогенерации в Сибири показал, что субсидии и теневые цены оказывают большее влияние на формирование полноценной стоимости электроэнергии, чем негативные экстерналии. Будучи самым дешевым и доступным в Сибири, уголь остается выгодным источником энергии даже с учетом монетизированных эффектов от самых высоких в мире текущих выбросов вредных веществ. Применение современных технологий газоочистки может сделать эти количественные оценки еще ниже. Пересмотр полноценной стоимости угольной генерации невозможен без отмены разнообразных субсидий, включающих не только повышенные платежи по ДПМ, но и налоговые послабления, скидки при железнодорожной доставке, льготное банковское кредитование.

ВИЭ-генерация также пока зависима от субсидий, но их отмена не приводит к значительным потерям и, по нашим расчетам, позволяет держаться близко к безубыточности. Если удастся кардинально снизить капзатраты (как минимум на 38% от текущего уровня), то при отсутствии топливной составляющей СЭС смогут конкурировать с газовой генерацией, которая сейчас с избытком покрывает углеводородный налог и разницу между внутренними и мировыми ценами и оказывается самой выгодной для общества альтернативой выработки электроэнергии в Сибири.

Основной практический вывод состоит в том, что текущие рыночные цены на электроэнергию в Сибири далеки от подлинной стоимости, которая складывается не только из явных финансовых доходов и расходов энергокомпаний – капзатрат, налогов, выручки и др., но и скрытых внерыночных эффектов – деградации окружающей среды, потери здоровья, злоупотребления преференциями. Чтобы соответствовать подлинной стоимости, согласно нашим расчетам, текущая рыночная цена отпуска электроэнергии на угольных электростанциях на оптовом энергорынке на сутки вперед (РСВ) должна быть увеличена, как минимум, в 1,8 раза (до 1,75 руб./кВтч). Газовая генерация, напротив, может позволить рост цен на топливо до 8240 руб./тыс. м<sup>3</sup>, не теряя, при прочих равных, своей экономической привлекательности для общества. СЭС в Сибири оказываются уже сейчас вполне высокомаржинальным бизнесом и безубыточной опцией для общества, учитывая отсутствие негативных экстерналий и элиминирование господдержки.

В результате можно предложить два альтернативных оценочных суждения относительно перспектив электроэнергетики в Сибири.

Первая альтернатива связана с изменением контекста электроэнергетики Сибири. Если в качестве критерия сравнительной оценки руководствоваться коммерческими интересами, то все три опции рентабельны и энергокомпании не мотивированы отказываться от углеводородов, даже после вероятного введения углеродного налога. Согласно прогнозам [Макаров и др., 2017], в Сибири к 2035 г. ожидается рост цен на топливо для электростанций на 40–50%, при этом цена на электроэнергию повысится только на 20–30% (к уровню 2015 г.). Такие прогнозные цены делают маловероятным достижение справедливой стоимости электроэнергии. В таком ценовом диапазоне замещение угля природным газом может только отчасти решить экологические, но не климатические,

проблемы и, несмотря на мегапроект газопровода «Сила Сибири», этот энергопереход ограничен низким уровнем газификации в регионах Сибири: всего 7% против 65,3% среднероссийского уровня. Помимо газа угольные станции имеют возможность перейти на более дешевый бурый уголь. Показательно, например, что в 2019 г. в самом крупном городе Сибири – Новосибирске, одна из самых мощных угольных ТЭЦ-5 (1200 МВт) перешла с каменного на бурый уголь. Накопленная за годы реализации ДПМ прибыль позволяет энергокомпаниям провести модернизацию котлооборудования и продлить срок службы традиционной генерации. В этом контексте ВИЭ будет сложно конкурировать и при господдержке СЭС и ВЭС могут обозначить свое присутствие, но не экспансию, в Сибири.

Вторая альтернатива – смена парадигмы электроэнергетики Сибири. Если в качестве критерия сравнительной оценки выступает польза для всего общества, тогда в долгосрочной перспективе ВИЭ могут стать чистым выигрышем с позиции общего блага. Но чтобы выиграть конкуренцию, прежде всего, с газовой генерацией, ВИЭ должны кардинально снизить капзатраты и улучшить технические характеристики, чего невозможно достичь без фундаментальных разработок. В Сибири со скромными расходами на исследования и разработки (0,55% ВВП мегарегиона в 2017 г.) господдержка может превратить инсталляцию устаревающих кремниевых солнечных станций и ветроустановок в обычный энергобизнес без инновационной компоненты, что не позволяет надеяться на массовое их внедрение в этом регионе.

Приведение текущих рыночных цен на энергоносители к их справедливой стоимости, теоретически, способно перенаправить потребителей от «грязной» к «чистой» энергии и тем самым осуществить энергопереход в Сибири. Если компании и домохозяйства будут осведомлены о полной стоимости электроэнергии, которую они потребляют, тогда они будут способны сделать рациональный выбор в пользу наиболее выгодной альтернативы.

\* \*

\*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Автономов В.С.* Постоянная и переменная рациональность как предпосылка экономической теории // Журнал Новой экономической ассоциации. 2017. № 1(33). С. 142–146.

*Вебер М.* Хозяйство и общество: очерки понимающей социологии. В 4 т. / пер. с нем. М.: Изд. дом ВШЭ, 2016.

*Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.* Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. М.: Дело АНХ, 2008.

*Виленский П.Л., Косов В.В., Лившиц В.Н., Смоляк С.А., Шахназаров А.Г.* Системная оценка эффективности инвестиционных (инновационных) проектов. М., 2010.

*Газман В.Д.* Преодоление стереотипов, связанных с возобновляемой энергетикой // Вопросы экономики. 2019. № 4. С. 124–136.

*Данилов-Данильян В.И., Рейф И.Е.* Биосфера и цивилизация. М.: Издательство «Энциклопедия», 2016.

Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики и трансформации общества в России. Перспективы до и после 2050 г. / под ред. И.А.Башмакова. М.: Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ), 2014. (<http://www.cenef.ru/file/2050.14.pdf>)

Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России: коллективная моногр. / под науч. ред. С.Н. Бобылева [и др.]. М.: Экон. фак. МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019.

*Карачаровский В.В., Шкаратан О.И.* Когда благо блуждает: две грани социального выбора // Социологическое исследование. 2020. № 3. С. 27–39.

*Лэйрд Р.* Счастье: уроки новой науки / пер. с англ. И. Кушнарской. М.: Изд. Института Гайдара, 2012.

*Любимова Е.В.* Электроэнергетика: экономические оттенки российских трендов // ЭКО. 2019. Т. 49. № 9. С. 102–114. (<http://dx.doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2019-9-8-22>)

*Макаров А.А., Кулагин В.А., Галкина А.А., Митрова Т.А.* Трансформация системы ценообразования в газовой отрасли как способ стимулирования экономического развития России // Экономический журнал ВШЭ. 2019. Т. 23. № 4. С. 562–584.

*Мельников Р.М.* Оценка эффективности общественно значимых инвестиционных проектов методом анализа издержек и выгод: учебное пособие. М.: ООО «Проспект», 2016.

*Мизес фон Л.* Человеческая деятельность: трактат по экономической теории / пер. с англ. 3-го испр. изд. Челябинск: Социум, 2005.

*Новикова Т.С.* Анализ общественной эффективности инвестиционных проектов. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2005.

*Пармон В.Н., Крюков В.А., Сулов Н.И., Чурашев В.Н.* Энергоресурсы Сибири – наука и институциональные инновации // Энергетическая политика. 2019. № 1. С. 22–39.

*Попель О.С., Фортон В.Е.* Возобновляемая энергетика в современном мире ВИЭ: учебное пособие. М.: Изд. дом МЭИ, 2018.

*Порфирьев Б.Н.* Парадигма низкоуглеродного развития и стратегия снижения рисков климатических изменений для экономики // Проблемы прогнозирования. 2019. № 2. С. 3–13.

Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина. М.: ИНЭИ РАН – Московская школа управления Сколково, 2019.

Сибирь как мегарегион: параметры и цели / под науч. ред. В.И. Супруна. Новосибирск: ФСПИ «Тренды», 2018.

*Сулов В.И., Горбачева Н.В., Кузнецов А.В., Фурсенко Н.О.* Форсайт-исследование технологий угольной генерации энергии // ЭКО. 2011. № 4 (442). С. 60–71.

*Чубайс А.Б.* Реформа российской электроэнергетики: десять лет спустя // Вопросы экономики. 2018. № 8. С. 39–56.

*Якобсон Л.И.* Государственный сектор экономики. Экономическая теория и политика: учебник для вузов. Проект Тасис. М.: Изд-во ГУ ВШЭ, 2001.

*Adler M.D., Posner E.A.* New Foundations of Cost-Benefit Analysis. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2006.

*Adler M., Posner E.A.* Happiness Research and Cost-Benefit Analysis // The Journal of Legal Studies. 2008. Vol. 37. № S2. P. S253–S292.

*Bergh van den Jeroen C.J.M.* Optimal Climate Policy Is a Utopia: from Quantitative to Qualitative Cost-benefit Analysis // Ecological Economics. 2004. 48. P. 385–393.

*Boardman A., Greenberg D., Vining A., Weiner D.* Cost-Benefit Analysis: Concept and Practice, 5<sup>th</sup> ed. N.Y.: Cambridge University Press, 2018.

*Boyd D.R.* The Rights of Nature. A Legal Revolution that Could Save the World. Toronto: ECW Press, 2017.

*Cooper J., Stamford L., Azapagic A.* Sustainability of UK Shale Gas in Comparison with Other Electricity Options: Current Situation and Future Scenarios // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 619–620. P. 804–814.

Discounting for Time and Risk in Energy Policy / ed. by R.C. Lind, K.J. Arrow, G.R. Corey et al. Washington, DC: Resources for the Future Library Collection, 2011.

*Ebinger C.K., Banks J.P.* The Electricity Revolution. Report, the Energy Security Initiative (ESI), Brookings Institution, 2013. (<https://www.brookings.edu/research/the-electricity-revolution/>)

- Ermolenko B.V., Ermolenko G.V., Fetisova Y.A., Proskuryakova L.N.* Wind and Solar PV Technical Potentials: Measurement Methodology and Assessments for Russia // *Energy*. 2017. № 137. P. 1001–1012.
- Frederick K.D., Berg van den T., Hanson J.* Economic Values of Freshwater in the United States. Discussion Paper 97-03. Washington, DC: resources for the Future, 1996. (<https://media.rff.org/documents/RFF-DP-97-03.pdf>)
- Fuller G.* The Invisible Killer: The Rising Global Threat of Air Pollution – and How We Can Fight Back. Brooklin: Melville House, 2019.
- Galston W.A.* The Common Good: Theoretical Content, Practical Utility // *Daedalus*. 2013. Vol. 142. № 2. P. 9–14.
- Graetz M.J.* The End of Energy: The Unmaking of America's Environment, Security, and Independence. Cambridge: MIT Press, 2011.
- Joskow P.J.* Comparing the Costs of Intermittent and Dispatchable Electricity Generating Technologies // *The American Economic Review: Papers & Proceedings*. 2011. Vol. 100. № 3. P. 238–241.
- IEA.* Energy and Air Pollution. Paris: IEA, 2016. (<https://www.iea.org/reports/energy-and-air-pollution>)
- Lanshina T.A., Laitner J.A., Potashnikov V.Y., Barinova V.A.* The Slow Expansion of Renewable Energy in Russia: Competitiveness and Regulation Issues // *Energy Policy*. 2018. № 120. P. 600–609.
- Mau S.* The Metric Society. On the Quantification of the Social. Cambridge: Polity Press, 2019.
- Megachange.* The World in 2050 / ed. by D. Franklin, J. Andrews. New Jersey: Wiley, 2012.
- Moore B.N.* Moral Philosophy: A Comprehensive Introduction. Mountain View: Mayfield Publ. Comp., 1994.
- National Research Council. Hidden Costs of Energy: Unpriced Consequences of Energy Production and Use. Washington, DC: The National Academies Press, 2010. (<https://doi.org/10.17226/12794>)
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide. Washington, DC: The National Academies Press, 2017. (<https://doi.org/10.17226/24651>)
- Nordhaus T.* What Decades of Failed Forecasts Say about Clean Energy and Climate Change // *Foreign Affairs*. 2016. Oct. 18. (<https://www.foreignaffairs.com/articles/2016-10-18/back-energy-future> (accessed 01.04.2020))
- Nordhaus W.D.* A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change // *Journal of Economic Literature*. 2007. № 45(3). P. 686–702.
- Nordhaus W.D.* Revisiting the Social Cost of Carbon // *PNAS*. 2017. Vol. 114. № 7. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas>
- Roy R., Braathen N.* The Rising Cost of Ambient Air Pollution Thus Far in the 21<sup>st</sup> Century: Results from the BRICS and the OECD Countries: OECD Environment Working Papers. 2017. № 124. Paris: OECD Publishing.
- Scriven M.* Roadblocks to Recognition and Revolution // *American Journal of Evaluation*. 2016. Vol. 37. № 1. P. 27–44.
- Sernovitz G.* The Green and the Black: The Complete Story of the Shale Revolution, the Fight over Fracking, and the Future of Energy. New York: St. Martin's Press, 2016.
- Soames S.* The World Philosophy Made. From Plato to the Digital Age. New Jersey: Princeton University Press, 2019.
- Shiller R.J.* Narrative Economics. New Jersey: Princeton University Press, 2019.
- Shmelev S.E., Jeroen C.J.M. van den Bergh.* Optimal Diversity of Renewable Energy Alternatives under Multiple Criteria: An Application to the UK // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 60. P. 679–691.
- Sovacool B.K., Dworkin M.H.* Global Energy Justice: Problems, Principles, and Practice. London: Cambridge University Press, 2014.
- Stern N.* The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2007.

*Speight J.G.* Coal-Fired Power Generation Handbook. Massachusetts, Jon New Jersey: Wiley & Sons Inc., 2013.

*Sustein C.R.* The Cost-benefit Revolution. Cambridge: MIT Press, 2018.

*Taylor M.* Energy Subsidies: Evolution in the Global Energy Transformation to 2050. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020.

The End of Value-Free Economics / ed. by H. Putnam, V. Walsh. N.Y.: Routledge, 2012.

*Tirole J.* Economics for the Common Good. New Jersey: Princeton University Press, 2017.

*Veselov F.V., Erokhina I. V., Makarova A.S., Khorshev A.A.* Comprehensive Assessment of the Effective Scope of Modernization of Thermal Power Plants to substantiate the Rational Structure of the Generating Capacities for the Future until 2035 // Thermal Engineering. 2017. Vol. 64. № 3. P. 161–169.

100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World / M.Z. Jaconson et al. // Joule. 2017. Vol. 1. P. 108–121. DOI: 10.1016/j.joule.2017.07.005.

## True Value of Electricity in Siberia: Cost-Benefit Analysis

**Natalya Gorbacheva**

Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences,  
17, Academician Lavrentyev Avenue, Novosibirsk, 630090, Russian Federation.  
E-mail: Nata\_lis@mail.ru

Modern society has to cope with the problem of energy choice, concerning conventional and renewable sources of energy via electrifying many dimensions of economic activities. No one source of energy evades costs, and conceptual framework and methodology for commensuring costs and benefits are in a great demand. With this purpose in mind, methodology of cost-benefit analysis has been proposed as the synthesis of quantitative and qualitative methods for comparative assessment of energy alternatives. Quantitative analysis focuses on monetized estimations of energy impacts on environment and population health, and deals with subsidies, shadow prices and time value of money. Qualitative analysis concerns important factors, hardly possible to estimate in monetary terms, but significant for reaching meaningful goals, e.g. the common good. In this context, the perspective of applying value approach to assessing energy alternatives has been demonstrated. As a very vivid case for examining the proposed methodology, there has been chosen a vast megaregion – Siberia, rich in fossil fuels and possessing high potential of renewables, first of all, solar and wind energy. On the basis of empirical data and evidences, concerning three particular power plants, located in Siberia – coal-fired, gas-fired and solar PV, there have been elaborated monetized estimations of true value of three alternatives of electricity generation in megaregion.

**Key words:** electricity generation; fossil fuels; renewable energy; Siberia; cost-benefit analysis; values, common good.

**JEL Classification:** H43; O22; D61.

\* \*  
\*

## References

- Adler M.D., Posner E.A. (2006) *New Foundations of Cost-Benefit Analysis*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Adler M., Posner E.A. (2008) Happiness Research and Cost-Benefit Analysis. *The Journal of Legal Studies*, 37, S2, pp. S253–S292.
- Avtonomov V.S. (2017) Postoyannaya i peremennaya ratsional'nost' kak predposylka ekonomicheskoi teorii [Constant or Variable Rationality as an Assumption of Economic Theory]. *Journal of the New Economic Association*, 1, 33, pp. 142–146.
- Bergh van den Jeroen C.J.M. (2004) Optimal Climate Policy Is a Utopia: from Quantitative to Qualitative Cost-benefit Analysis. *Ecological Economics*, 48, pp. 385–393.
- Boardman A., Greenberg D., Vining A., Weiner D. (2018) *Cost-Benefit Analysis: Concept and Practice*, 5<sup>th</sup> ed. N.Y.: Cambridge University Press.
- Boyd D.R. (2017) *The Rights of Nature. A Legal Revolution that Could Save the World*. Toronto: ECW Press.
- Cooper J., Stamford L., Azapagic A. (2018) Sustainability of UK Shale Gas in Comparison with Other Electricity Options: Current Situation and Future Scenarios. *Science of the Total Environment*, 619–620, pp. 804–814.
- Chubais A.B. (2018) Reforma rossiyskoy elektroenergetiki: desyat' let spustya [Russian Electric Power Industrial Reform: 10 Years Later]. *Voprosy Ekonomiki*, 8, pp. 39–56.
- Danilov-Daniliyan V.I., Reyf I.E. (2016) *Biosfera i tsivilizatsiya* [Biosphere and Civilization]. Moscow: Encyclopedia Publishing.
- Discounting for Time and Risk in Energy Policy* (2011) (eds. R.C. Lind, K.J. Arrow, G.R. Corey et al.) Washington, DC: Resources for the Future Library Collection.
- Ebinger C.K., Banks J.P. (2013) *The Electricity Revolution*. Report, the Energy Security Initiative (ESI), Brookings Institution. Available at: <https://www.brookings.edu/research/the-electricity-revolution/>
- Ermolenko B.V., Ermolenko G.V., Fetisova Y.A., Proskuryakova L.N. (2017) Wind and Solar PV Technical Potentials: Measurement Methodology and Assessments for Russia. *Energy*, 137, pp. 1001–1012.
- Fortov V.E., Popel O.S. (2018) *Vozobnovlyаемая энергетика в современном мире VIE* [Renewable Energy in the Modern World of Renewable Energy]. Uchebnoe posobie. M.: izdatel'skiy dom MEI.
- Frederick K.D., Berg van den T., Hanson J. (1996) *Economic Values of Freshwater in the United States*. Discussion Paper 97-03. Washington, DC: resources for the Future. Available at: <https://media.rff.org/documents/RFF-DP-97-03.pdf>
- Fuller G. (2019) *The Invisible Killer: The Rising Global Threat of Air Pollution – and How We Can Fight Back*. Brooklin: Melville House.
- Galston W.A. (2013) The Common Good: Theoretical Content, Practical Utility. *Daedalus*, 142, 2, pp. 9–14.
- Gazman V.D. (2019) Preodolenie stereotipov, svyazannykh s vozobnovlyаемoy energetikoy [Overcoming Stereotypes of Renewable Energy]. *Voprosy Ekonomiki*, 4, pp. 124–136.
- Graetz M.J. (2011) *The End of Energy: The Unmaking of America's Environment, Security, and Independence*. Cambridge: MIT Press.
- IEA (2016) *Energy and Air Pollution*. Paris: IEA. Available at: <https://www.iea.org/reports/energy-and-air-pollution>
- Jakobson L.I. (2001) *Gosudarstvennyy sektor ekonomiki. Ekonomicheskaya teoriya i politika* [Public Sector of the Economy. Economic Theory and Policy]. Moscow: HSE Publishing House.

- Joskow P.J. (2011) Comparing the Costs of Intermittent and Dispatchable Electricity Generating Technologies. *The American Economic Review: Papers & Proceedings*, 100, 3, pp. 238–241.
- Karacharovskiy V.V., Shkaratan O.I. (2020) Kogda blago blagu rozn': dve grani sotsial'nogo vybora [When Not Every Good is Good: Two Dimensions of Social Choice]. *Sociological Studies*, 3, pp. 27–39.
- Lanshina T.A., Laitner J.A., Potashnikov V.Y., Barinova V.A. (2018) The Slow Expansion of Renewable Energy in Russia: Competitiveness and Regulation Issues. *Energy Policy*, 120, pp. 600–609.
- Layard R. (2005) *Happiness: Lessons from a New Science*. London: The Penguin Press.
- Lyubimova E.V. (2019) Elektroenergetika: ekonomicheskie ottenki rossiyskikh trendov [Electric Power Industry: Economic Nuances of Russian Trends]. *ECO Journal*, 49, 9, pp. 102–114.
- Makarov A., Kulagin V., Galkina A., Mitrova T. (2019) Transformatsiya sistemy tsenoobrazovaniya v gazovoi otrasli kak sposob stimulirovaniya ekonomicheskogo razvitiya Rossii [Transformation of Pricing in the Gas Industry as a Way to Stimulate Russia's Economic Development]. *HSE Economic Journal*, 23, 4, pp. 562–584.
- Mau S. (2019) *The Metric Society. On the Quantification of the Social*. Cambridge: Polity Press.
- Melnikov R.M. (2016) *Otsenka effektivnosti obshchestvenno znachimyykh investitsionnykh proektov metodom analiza izderzhok i vygod* [Evaluating the Effectiveness of Socially Significant Investment Projects by Analyzing Costs and Benefits]. Moscow: OOO «Prospekt».
- Mises von L. (1996) *Human Action. A Treatise on Economics*. Third Revised Edition. Chicago: Contemporary Books, Inc.
- Megachange (2012) *The World in 2050* (eds. D. Franklin, J. Andrews). New Jersey: Wiley.
- Moore B.N. (1994) *Moral Philosophy: A Comprehensive Introduction*. Mountain View: Mayfield Publ. Comp.
- National Research Council (2010) *Hidden Costs of Energy: Unpriced Consequences of Energy Production and Use*. Washington, DC: The National Academies Press. Available at: <https://doi.org/10.17226/12794>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2017) *Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide*. Washington, DC: The National Academies Press. Available at: <https://doi.org/10.17226/24651>
- Nordhaus T. (2016) What Decades of Failed Forecasts Say about Clean Energy and Climate Change. *Foreign Affairs*, Oct. 18. Available at: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2016-10-18/back-energy-future> (accessed 01.04.2020)
- Nordhaus W.D. (2007) A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature*, 45, 3, pp. 686–702.
- Nordhaus W.D. (2017) Revisiting the Social Cost of Carbon. *PNAS*, 114, 7. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas>
- Novikova T.S. (2005) *Analiz investitsionnykh proektov* [Analysis of Investment Projects]. Novosibirsk: IEIE SB of RAS.
- Parmon V.N., Kryukov V.A., Suslov N.I., Churashev V.N. (2019) Energoresursy Sibiri – nauka i institucional'nye innovatsii [Siberian Energy Source – Science and Institutional Innovation]. *The Energy Policy*, 1, pp. 22–39.
- Porfiriev B.N. (2019) Paradigma nizkouglerodnogo razvitiya i strategiya snizheniya riskov klimaticheskikh ikh izmeneniy dlya ekonomiki [The Low-Carbon Development Paradigm and Climate Change Risk Reduction Strategy for the Economy Studies on Russian Economic Development]. *Studies on Russian Economic Development*, 2, pp. 3–13.
- Prognoz razvitiya energetiki mira i Rossii – 2019* (2019) [Global and Russian Energy Outlook 2019] (eds. A.A. Makarov, T.A. Mitrova, V.A. Kulagin). Moscow: ERI RAS – Moscow School of Management SKOLKOVO.
- Roy R., Braathen N. (2017) *The Rising Cost of Ambient Air Pollution Thus Far in the 21<sup>st</sup> Century: Results from the BRICS and the OECD Countries*. OECD Environment Working Papers no 124. Paris: OECD Publishing.
- Scriven M. (2016) Roadblocks to Recognition and Revolution. *American Journal of Evaluation*, 37, 1, pp. 27–44.

Sernovitz G. (2016) *The Green and the Black: The Complete Story of the Shale Revolution, the Fight over Fracking, and the Future of Energy*. New York: St. Martin's Press.

Soames S. (2019) *The World Philosophy Made. From Plato to the Digital Age*. New Jersey: Princeton University Press.

Shiller R.J. (2019) *Narrative Economics*. New Jersey: Princeton University Press.

Shmelev S.E., Jeroen C.J.M. van den Bergh (2016) Optimal Diversity of Renewable Energy Alternatives under Multiple Criteria: An Application to the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, pp. 679–691.

*Sibir' kak megaregion: parametry i tseli* (2018) [Siberia as a Megaregion: Parameters and Goals] (ed. V.I. Suprun). Novosibirsk, Foundation socio-prognostics «Trends».

Sovacool B.K., Dworkin M.H. (2014) *Global Energy Justice: Problems, Principles, and Practice*. London: Cambridge University Press.

Stern N. (2007) *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge UK: Cambridge University Press.

Speight J.G. (2013) *Coal-Fired Power Generation Handbook*. Massachusetts, New Jersey: Wiley & Sons Inc.

Suslov V.I., Gorbacheva N. V., Kuznetsov A. V., Fursenko N. O. (2011) Forsajt-issledovanie tekhnologij ugol'noj generacii energii [Technological Foresight of Coal Power Generation]. *ECO Journal*, 4, 442, pp. 60–71.

Sustein C.R. (2018) *The Cost-benefit Revolution*. Cambridge: MIT Press.

Taylor M. (2020) *Energy Subsidies: Evolution in the Global Energy Transformation to 2050*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

*The End of Value-Free Economics* (2012) (eds. H. Putnam, V. Walsh). N.Y.: Routledge.

Tirole J. (2017) *Economics for the Common Good*. New Jersey: Princeton University Press.

Veselov F.V., Erokhina I. V., Makarova A.S., Khorshev A.A. (2017) Comprehensive Assessment of the Effective Scope of Modernization of Thermal Power Plants to substantiate the Rational Structure of the Generating Capacities for the Future until 2035. *Thermal Engineering*, 64, 3, pp. 161–169.

Vilenskiy P.L., Livshits V.N., Smolyak S.A. (2008). *Otsenka effektivnosti investitsionnykh projektov: teoriya i praktika* [Assessment of the Effectiveness of Investment Projects: Theory and Practice]. Moscow: Delo RANEPa.

Vilenskiy P.L., Kosov V.V., Livshits V.N., Smolyak S.A. Shahnazarov A.G. (2010) *Sistemnaya otsenka effektivnosti investitsionnykh (innovatsionnykh) projektov* [Systematic Assessment of the Effectiveness of Investment (Innovative) Projects]. Moscow: Research Institute, Accounts Chamber of the Russian Federation.

Weber M. (1978) *Economy and Society: An Outline of Interpretive Sociology*. Berkeley: University of California Press.

*Zatraty i vygody nizkouglerodnoj jekonomiki i transformacii obshhestva v Rossii. Perspektivy do i posle 2050 g.* (2014) [Costs and Benefits of a Low-carbon economy and the Transformation of Society in Russia. Perspectives before and after 2050] (ed. I.A. Bashmakov) Centr po jeffektivnomu ispol'zovaniju jenergii (CENef), Moscow. Available at: <http://www.cenef.ru/file/2050.14.pdf>

100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World (2017) (M.Z. Jaconson et al). *Joule*, 1, pp. 108–121. DOI: 10.1016/j.joule.2017.07.005.