

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И ОРГАНИЗАЦИИ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК

Горбачева Н. В.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ВЫБОР
СИБИРИ:
АНАЛИЗ ВЫГОД И ИЗДЕРЖЕК**

Новосибирск
2020

УДК 621.3+338.9
ББК 60.55+305.70
Г 67

Рецензенты: академик РАН, д-р экон. наук *Н. И. Иванова*,
д-р филос. наук *В. И. Супрун*

**Г 67 Горбачева Н. В. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ВЫБОР СИБИРИ:
АНАЛИЗ ВЫГОД И ИЗДЕРЖЕК.** – Новосибирск: Изд-
во ИЭОПП СО РАН, 2020. – 320 с.
ISBN 978-5-902688-18-1

Сибирь в контексте глобальных экономических трендов сталкивается с проблемой энергетического выбора. Этот мегарегион России обладает значительными запасами углеводородов и высоким потенциалом возобновляемых источников энергии. Предлагается методология анализа выгод и издержек как сочетание количественных и качественных оценок последствий использования традиционных и возобновляемых источников энергии для выработки электроэнергии. Сравнение двух типов энергии проводится по пяти параметрам: достаточности, доступности, экологичности, инновационности и управляемости.

Монография ориентирована на исследователей в сферах экономики энергетики и развития Сибири – экономистов, социологов, политологов, энергетиков-практиков, а также на широкий круг читателей, стремящихся понять новые энергетические тренды в контексте будущего Сибири.

Gorbacheva N. V. SIBERIA ENERGY CHOICE: COST-BENEFIT ANALYSIS. – Novosibirsk: IEIE of the SB RAS, 2020. – 320 p.

Siberia, in the framework of global economic trends, is facing the challenge of energy choice. This vast megaregion of Russia possesses the abundance of fossil fuels and obtains high capacity of renewable sources of energy. With research purposes there has been proposed the methodology of cost-benefit analysis as a combination of qualitative and quantitative evaluations of using conventional and renewable energy for electricity generation. Comparison of two types of energy has been carried out along five dimensions – affordability, availability, sustainability, innovativeness and governing.

The monograph is addressed researchers in the fields of energy economics and Siberia development, such as economists, sociologists, political scientists, energy specialists, and broad audience, striving to comprehend energy dynamics in forming up the future of Siberia.

ISBN 978-5-902688-18-1

© ИЭОПП СО РАН, 2020

© Горбачева Н.В., 2020



Российский
научный фонд

МОНОГРАФИЯ ИЗДАНА

при финансовой поддержке РНФ

исследовательского проекта № 18-78-00113

«Сравнительный анализ альтернатив

электрогенерации в Сибири в условиях Новой
индустриализации и цифровизации экономики»

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| Введение | 7 |
| Благодарности | 19 |
| Справка об авторе | 21 |
| Глава 1. Энергетика и Сибирь в поле идей и концепций | 23 |
| Глава 2. Методология анализа выгод и издержек | 51 |
| Глава 3. Достаточность ресурсов | 75 |
| Глава 4. Доступность электроэнергии | 107 |
| Глава 5. Экология, климат и преобразование энергии...131 | |
| Глава 6. Инновации и трансформация энергетики.....159 | |
| Глава 7. Управляемость энергетических процессов.....189 | |
| Альтернативы электрогенерации в Сибири.....227 | |
| Приложение А. Монетизированная оценка стоимости электроэнергии в Сибири | 239 |
| Приложение Б. Тип энергетики и благосостояние регионов России | 251 |
| Приложение В. Контент-анализ взглядов субъектов энергетики в России | 269 |
| Примечания | 281 |
| Литература | 305 |

ВВЕДЕНИЕ

В условиях глобальных вызовов – новой промышленной революции, цифровой экономики и климатических изменений – современное общество вследствие электрификации многих сфер хозяйственной деятельности сталкивается с проблемой энергетического выбора. По прогнозам, электроэнергия в XXI в. станет доминантным конечным энергоносителем, опередив даже нефтепродукты.

Сибирь, как *«земля, полная противоречий»* [1], представляет собой релевантный социоэкономический контекст, в котором проблема энергетического выбора становится очевидной. Этот мегарегион России изобилует углеводородами, дающими, помимо экспортных выгод, более 65% электроэнергии и тепла для почти тридцатимиллионного населения и крупной энергоемкой промышленности. В обозримой перспективе мегарегион не будет испытывать недостатка в традиционных источниках энергии, которые исторически дешевы, изобильны и уже имеют развитую инфраструктуру поставок. В то же время Сибирь имеет высокий потенциал возобновляемых источников энергии и реализует крупные сетевые проекты солнечной энергетики на Алтае и в Бурятии. Кроме того, Сибирь обладает важными для всего мирового сообщества природными активами: огромной сибирской тайгой, впечатляющими запасами пресной воды, обширными территориями – и нераз-

равно связана с Арктикой, где наблюдается самое быстрое в мире потепление. Все это актуализирует проблему энергетического выбора для Сибири в целях обеспечения эффективного ответа России на глобальные вызовы.

Достоинства электрической революции представляются весьма существенными. *Во-первых*, электроэнергия, в отличие от нынешнего доминантного энергоносителя – нефти, многими странами считается более доступной, ее выработка локальна и может быть легко организована в самых бедных регионах мира, что важно для борьбы с неравенством и нищетой. *Во-вторых*, экологические выгоды получения именно «чистой» электроэнергии связаны с внедрением возобновляемых источников энергии (ВИЭ). *В-третьих*, выработка электроэнергии поощряет кооперацию и сотрудничество. Увеличение объема производства электричества влечет за собой не только рост мощностей для ее выработки, но и расширение высоковольтных линий и сетей подстанций вблизи крупных городов. В условиях сетевой связанности независимое поведение страны-транзитера, не согласованное с другими игроками рынка, может оказаться деструктивным и невыгодным для всех участников.

Конечно, электроэнергетика имеет и ряд недостатков и менее ориентирована на запросы потребителей. В отличие от развитой инфраструктуры хранения нефтепродуктов и природного газа, электроэнергию трудно аккумулировать продолжительное время, а в случае отсутствия спроса – оставить в недрах земли или на дне моря. Другой негативный фактор для электроэнергетики заключается в значительных потерях при передаче электроэнергии на длительные расстояния. Передача и распределение электроэнергии требуют во многом ручного, дирижистского управления, что делает энергосистему восприимчивой к субъективным ошибкам и иррациональным действиям.

Все же мир, насыщенный электроэнергией, сулит больше выгод, чем издержек, и считается более желанным будущим.

Исследовательский интерес к электроэнергетике продиктован двумя обстоятельствами:

1) 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;

2) электроэнергетика является самым крупным отраслевым потребителем первичной энергии, и изменения в структуре генерации способны кардинально трансформировать всю энергосистему. В этой ситуации становится востребованным концептуальное обеспечение энергетической стратегии на основе применения современной методологии соизмерения преимуществ и недостатков использования тех или иных источников выработки электроэнергии.

Приступая к столь амбициозному проекту, как создание монографии о противоречивой динамике традиционной и возобновляемой энергетики в контексте масштабного мегарегиона Сибирь, да еще с учетом глобальных трендов – новой индустриальной революции и цифровой экономики, автор отдавал себе отчет в трудности поставленных задач.

Для реализации этих задач использованы несколько современных методологических подходов, которые позволяют провести полноценное исследование и дают возможность в дальнейшем рафинировать и детализировать аналитический конструкт:

- *комплексный системный подход* рассматривает Сибирь как огромную территорию от Урала до Тихого океана. Этот подход означает изучение Сибири как единства ее существенных характеристик – природных, экономических и социальных; делает акцент на изучении энергетического развития Сибири как комплексной игры переменных: экономических, социальных, управленческих процессов, возникающих в результате энергетического выбора;
- *сравнительный подход* означает сравнение традиционных углеводородных источников (уголь, газ) с возобновляемыми

- (солнце, ветер) источниками на основе социоэкономического анализа последствий производства электроэнергии;
- *нормативный подход* предполагает проведение сравнительной оценки альтернатив производства электроэнергии исходя из стратегических документов энергокомпаний и российского правительства, касающихся развития Сибири, с учетом объективных движущих сил энергетического развития;
 - *проектный подход* предполагает исследование энергетического развития Сибири посредством социоэкономического анализа наиболее значимых кейсов и проектов в области традиционной (угольные и газовые электростанции) и возобновляемой энергетики (солнечные и ветряные энергоустановки).

Основоположник системных исследований в энергетике Л. А. Мелентьев отметил важное свойство энергетики – *многокритериальность*, – означающее, что только «с помощью экономических критериев можно получать неоднозначное решение и тогда логично в качестве дополнительного мерила правильности принятия решения вводить ряд других критериев, в том числе количественно непосредственно не соизмеримых с экономическими» [2]. Это свойство создает ситуацию неоднозначности энергетического выбора, определение которого представляется особо актуальным в современных условиях, способных кардинально изменить соотношение традиционных и возобновляемых источников генераций.

Сравнения источников энергии предлагается проводить по пяти параметрам, важным для процесса выработки электроэнергии: *достаточности, доступности, экологичности, инновационности и управляемости*. Комплексность оценки проявляется во взаимосвязи всех пяти параметров, например при рассмотрении инновационности делается акцент на прорывных технологиях, которые в свою очередь повышают достаточность и доступность энергии, улучшают экологические характеристики энергообъектов и изменяют модели управления электроэнергетикой. По каждому параметру фиксируются выгоды и издержки использования того или иного источника вы-

работки электроэнергии. Рассмотрение последнего параметра – управляемости – позволяет соотнести выгоды и издержки с разными стратегическими установками государства и энергобизнеса, целеполаганием некоммерческих организаций (НКО), относительным увеличением общественных благ и достижением общего блага в мегарегионе.

Изюминка исследовательского подхода, нашедшего отражение в книге, – применение оригинальной *методологии анализа выгод и издержек* как сочетания *количественных и качественных оценок* последствий использования традиционных и возобновляемых источников энергии. Метод анализа выгод и издержек (Benefit-Cost Analysis, ВСА в научном дискурсе США; Cost-Benefit Analysis, СВА в Великобритании, ЕС) является современным и продуктивным, используется в государственном секторе для оценки целесообразности программ, проектов, инициатив, соответствующих критерию экономической эффективности. Предлагаемая методология анализа выгод и издержек является сложным теоретическим конструктом, представляющим собой синтез монетарных и качественных оценок, которые имеют еще и ценностные характеристики, и стратегическую целевую направленность. В качестве апробации предлагаемой методологии выбран показательный мегарегион Сибирь, богатый энергоресурсами, вырабатывающий электроэнергию преимущественно за счет углеводородов и реализующий проекты в области ВИЭ.

В сфере энергетических исследований *количественная версия* метода востребована в связи с тем, что рыночные цены не учитывают такие косвенные последствия производства электроэнергии, как ухудшение здоровья населения, теневая заработная плата, эмиссия мелкодисперсных вредных веществ, загрязнение водных ресурсов, эрозия почв, рост внутрисетевых издержек в связи с нестабильностью электрогенерации, повышение чувствительности энергосистемы к кибератакам, различия в мировых и внутренних ценах вследствие экспорта электроэнергии и другие эффекты. Плюс к этому, по данным Международного валютного фонда (МВФ), цены в энергетике

значительно субсидируются, преимущественно за счет предоставления льготных налоговых режимов и других преференций. Новая волна субсидий в энергетике связана с распространением солнечной и ветряной генераций. В монографии подробно рассмотрены способы монетизированной оценки последствий этих явлений.

Дополнительная сложность связана с тем, что важные факторы энергетического выбора имеют некалькулируемую качественную природу, поэтому их трудно количественно измерить и монетизировать. Источники энергии, как показывает исторический опыт, трансформируют структуру социальных отношений. Изменения происходят в системе организации труда (количество рабочих мест, режим работы), в подготовке кадров (уровень образования, повышение квалификации), в социальной коммуникации (экологическое движение, профсоюзы, группы лоббирования интересов энергокомпаний и др.), в освоении пространства (урбанизация или дезурбанизация). Эти и другие социоэкономические факторы могут снижать выигрыши или повышать риски перехода к «чистой» энергетике. В этом случае применим *качественный анализ* выгод и издержек, который на основе вербальных свидетельств, дескрипции и нарратива делает акцент на субъективных представлениях, отношениях, убеждениях, взглядах референтных групп на положительные и отрицательные характеристики использования разных типов энергии.

Но для выработки достоверной комплексной сравнительной оценки и этого оказалось недостаточно. Как показывают результаты энергетических исследований, действительный энергетический выбор осуществляется согласно не только ключевому критерию экономической науки – экономической эффективности, но и дополнительным важным для общества ценностям: социальной стабильности, справедливости, состоянию здоровья людей, сохранению жизнеспособности биосферы в условиях изменения климата.

В России подготовлены стратегические разработки, в которых позиционирование Сибири может быть сведено к не-

скольким векторам: развитию экспортного сырьевого потенциала, реиндустриализации на основе модернизации, цифровизации энергетики и обслуживания дата-центров, созданию знаковых научно-исследовательских центров. В такой ситуации разнонаправленности трудно выработать однозначно верное решение в выборе альтернатив, а этому могла бы способствовать гибкая система критериев и индикаторов при оценке выгод и издержек. При этом именно стратегические ориентиры и целевые установки во многом определяют выбор критериев для оценки преимуществ и недостатков альтернатив электрогенерации. В зависимости от поставленной цели (достижения экономической эффективности, равенства, роста доходов госбюджета, политической устойчивости, сохранения уникальной природы и др.) меняется значимость критериев и индикаторов оценки того или иного источника электроэнергии. В этом ракурсе нами рассмотрены перспективы применения ценностного подхода при выборе правильной энергетической альтернативы.

Итак, *особенности* предлагаемого исследовательского подхода заключаются:

- в *междисциплинарном исследовании* выгод и издержек для общества от разных способов производства электроэнергии в масштабном регионе Сибирь в принципиально новых условиях новой индустриальной революции и цифровой экономики;
- в разработке *нового аналитического конструкта* для сравнительного анализа источников энергии как результата сочетания экономических оценок, социальных исследований и стратегических установок развития Сибири;
- в выполнении *анализа выгод и издержек*, который позволяет конвертировать эффекты от разных альтернатив электрогенерации в единую метрику, то есть количественно оценивать в рублях стоимость эффектов от выработки электроэнергии для всех членов общества, принимая во внимание экстерналии, теневые цены и субсидии в российской энергетике;

- в нестандартном исследовательском подходе к *качественному анализу* выгод и издержек *социальных и управленческих изменений* в регионе, происходящих под воздействием использования разных источников выработки электроэнергии.

Эмпирическая база исследования представляет собой диверсифицированный информационный массив, включающий фактологическую информацию, количественные данные и качественные свидетельства по пяти параметрам сравнительного анализа в соответствии с тремя уровнями оценки.

Для количественной оценки выгод и издержек использованы статистические данные из 15 специализированных баз данных по 24 регионам Сибири, отражающие экономическую деятельность в сфере добычи ископаемых, производства и распределения электроэнергии за 2013–2018 гг. Проанализировано более 50 показателей; на их основе определены наиболее яркие индикаторы, которые характеризуют положительные и отрицательные эффекты, прежде всего для традиционной электроэнергетики в Сибири. Проведен факторный и кластерный анализ статистических данных по регионам Сибири (приложение Б).

Статистической информации, касающейся возобновляемой энергетики, недостаточно: отрасль находится на этапе становления и занимает всего 0,13% в совокупной выработке электроэнергии в мегарегионе Сибирь (вероятно, поэтому определенная информация просто не собирается). В целях выявления позитивных и негативных эффектов ВИЭ изучены отдельные кейсы по строительству солнечных и ветряных электростанций в Сибири, что позволило выявить имеющийся потенциал дальнейшего развития отрасли. В феврале и апреле 2019 г. были проведены две экспедиции в Республику Алтай для изучения опыта работы Майминской СЭС – самой передовой в России солнечной электростанции на гетероструктурных модулях – и проведения социологических интервью с представителями компании «Хевел».

Количественные метрики были дополнены монетизированной оценкой стоимости производства электроэнергии на трех типах действующих в Сибири электростанций: угольной, газовой и солнечной (приложение А).

Для качественной оценки выгод и издержек был выбран метод полуструктурированных интервью, который является одним из действенных инструментов междисциплинарного исследования, так как сочетает проработанную структуру интервью и возможность углубления обоснований утверждений респондента [3; 4]. Дополнительная ценность метода заключается в том, что суждения респондентов выступают важным индикатором восприятия обществом (так называемой энергетической просвещенности) того или иного энергетического выбора.

Цель социологического интервью – выявить представления, интерпретации и оценки разных экспертных групп относительно проблем электроэнергетики Сибири и перспектив решения этих проблем за счет традиционных и возобновляемых источников. За 2018–2020 гг. было проведено 41 полуструктурированное интервью в шести российских городах (Барнауле, Горно-Алтайске, Иркутске, Москве, Нижневартовске, Новосибирске) с представителями энергокомпаний, государственных структур, НКО, научного сообщества (табл. 1). Для этого был подготовлен контент полуструктурированных интервью по 5 блокам вопросов: инженерному (технологическому), экономическому, социальному, экологическому, управленческому.

Респонденты оценивали традиционные и возобновляемые источники энергии с позиций репрезентатора конкретной референтной группы (института, компании, департамента) и с точки зрения более общих направлений развития энергетики с учетом общественных интересов и перспектив развития мегарегиона или всей страны. Каждое интервью длилось от 60 до 90 мин., и в каждом случае следовало придерживаться общей структуры вопросов, объединенных по пяти параметрам сравнительного анализа. Все интервью были расшифрованы, кодированы и представлены как анонимные, чтобы обеспечить

откровенные, полноценные ответы и конфиденциальность респондентов. Также был проведен контент-анализ 379 публичных интервью представителей российской власти, энергокомпаний, экспертного сообщества и НКО (приложение В).

Собранная первичная информация дополнена обзором современной литературы, аналитических докладов правительственных структур, отчетов энергокомпаний, региональной прессы, релизов и отчетов НКО.

Таким образом, нами сформирована доказательная эмпирическая база по мегарегиону Сибирь, необходимая для метаанализа выгод и издержек использования традиционных и возобновляемых источников энергии по пяти параметрам: *достаточности, доступности, экологичности, инновационности, управляемости.*

Монография состоит из семи глав. В первой рассматриваются объективные энергетические тенденции и концептуальные представления о развитии традиционной и возобновляемой энергетики в условиях новой промышленной революции и цифровой экономики. Понимание Сибири представлено также разнообразными теоретическими конструктами, а предлагаемый в книге концепт Сибири как мегарегиона России придает новые смыслы и интерпретации разворачивающейся противоречивой энергетической динамике.

Вторая глава посвящена разработке методологии анализа выгод и издержек в количественной и качественной версиях. Особое внимание уделено ценностному подходу, при котором энергетика рассматривается как один из способов достижения общего блага. Дано описание аналитического конструкта для сравнения двух типов энергии по пяти параметрам.

Таблица 1

Участники социологических интервью

| Организации и компании | Количество респондентов |
|---|-------------------------|
| Референтная группа «Государство» | |
| Министерство природных ресурсов и экологии правительства Новосибирской области (Новосибирск), Правительство Алтайского края (Барнаул), Правительство Республики Алтай (Горно-Алтайск) | 6 |
| Референтная группа «Энергобизнес» | |
| ОАО «Силовые машины» (Москва), Группа компаний АО «Подольский машиностроительный завод» (Подольск), ОАО «Сибгипрошахт» (Новосибирск), АО «Алтайкрайэнерго» (Барнаул), ОАО «Еп+ групп» (Москва), «Сибирская генерирующая компания» (Москва, Новосибирск, Барнаул), ОАО «Алтайэнергосбыт» (Барнаул), ООО «Производственное объединение “Межрегионэнергосервис”» (Барнаул), ООО «Солнечная энергия+» (Горно-Алтайск), ООО «Сибэнергомаш-БКЗ» (Барнаул), ОАО «Нижневартовские электрические сети» – Тюменьэнерго (Нижневартовск), ОА «НижневартовскНИПИнефть» (Нижневартовск), ООО «КЭР-Инжиниринг» (филиал в Новосибирске) | 23 |
| Референтная группа «Экспертное сообщество» | |
| Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Москва), Сколковский институт науки и технологий (Москва), Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Алтайский политехнический университет (Барнаул), Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск) | 8 |
| Референтная группа «Некоммерческий сектор экономики» | |
| Ассоциация экспертов по экотехнологиям, альтернативной энергетике и экологическому домостроению (Новосибирск), Благотворительный фонд «Ольхон» (Иркутск), «Зеленые вузы России» (представители из Иркутска), Межрегиональный общественный фонд содействия охране окружающей среды «Чистые берега» (Москва) | 4 |

В каждой из последующих пяти глав представлена оценка выгод и издержек двух типов энергии по каждому конкретному параметру сравнительного анализа. В итоге на основе простых метрических, монетизированных и качественных оценок предлагается синтетическое оценочное суждение относительно суммарных выгод в случае использования традиционной или возобновляемой энергии и даются три альтернативных оценочных заключения о значимости этих выгод для трех акторов: государства, энергокомпаний и общества в целом.

БЛАГОДАРНОСТИ

Ни один научный проект не реализуется без участия компетентных доброжелательных коллег и заинтересованных людей.

Я бесконечно признательна рецензентам этой книги – академику РАН, д-ру экон. наук *Наталье Ивановне Ивановой* за ценные советы и мудрые наставления и д-ру филос. наук *Владимиру Ивановичу Супруну*, детально проанализировавшему текст и внесшему в формирование концепции монографии огромный вклад, за который я перед ним в большом долгу.

Выражаю признательность академику РАН, д-ру экон. наук *Валерию Анатольевичу Крюкову*, любезно предоставившему свои расчеты реконструкции Сургутской ГРЭС, что помогло мне собрать данные о действующих электростанциях Сибири; чл.-корр. РАН, д-ру экон. наук *Виктору Ивановичу Сулову* за возможность участия в проекте «Форсайт угольной генерации», давшем импульс моему профессиональному развитию; д-ру техн. наук *Михаилу Георгиевичу Тягунову* за важные рекомендации по навигации в море энергетических концепций.

Благодарю энергетиков-практиков, которые приняли участие в социологических интервью и любезно разрешили поделиться своими суждениями с читателями. Это *Александр Семенович Григорьев*, *Арсений Робертович Квривишвили*, *Па-*

вел *Юрьевич Коваленко*, *Евгений Валентинович Шеремет* и другие уважаемые респонденты. Хочу отметить ценную помощь *Евгения Евгеньевича Русских* и *Андрея Николаевича Ялбакова* в сборе эмпирических данных по действующим электростанциям в Сибири.

Успех проекта зависел и от тех, кто не пожалел времени и усилий на организацию важных встреч в Алтайском крае и Республике Алтай. Это *Юрий Вениаминович Шамков* и *Виктор Алексеевич Меццержков*. Помимо правительственных структур и энергобизнеса, потребовалось привлечь представителей третьего сектора экономики; наладить связи с НКО помог канд. физ.-мат. наук *Игорь Александрович Огородников*.

Работа над книгой шла не один год, и некоторые гипотезы появились гораздо раньше, во время постдока в Сколтехе. Этому послужило сотрудничество с д-ром *Бенджаминотом Совакулом*, который расширил мое видение проблем энергетического выбора, показал важность их социального измерения, а во время моих стажировок в Дании помог переосмыслить роль ВИЭ в современном обществе.

В ИЭОПП СО РАН чрезвычайно полезным для меня было общение с д-ром экон. наук *Татьяной Сергеевной Новиковой* и д-ром экон. наук *Галиной Афанасьевной Унтурой*, а также с *Ольгой Владимировной Кузнецовой*, которые всегда щедро делились своим временем, интеллектуальными и житейскими советами.

Большое спасибо *Дарье Щербаковой*, которая за время реализации проекта стала дипломированным социологом и при поддержке канд. социол. наук *Татьяны Юрьевны Богомоловой* воплотила в жизнь некоторые наши замыслы.

Я благодарна прекрасному редактору *Татьяне Анатольевне Дементьевой*, а также *Сергею Сергеевичу Дружинину*, который со своими коллегами мастерски подготовил верстку текста и напечатал эту книгу.

СПРАВКА ОБ АВТОРЕ

Автор монографии *Наталья Викторовна Горбачева* – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования и анализа экономических процессов Института экономики и организации промышленного производства (ИЭОПП) СО РАН, доцент кафедры экономики и инвестиций Сибирского института управления – РАНХиГС, старший аналитик фонда социопрогностических исследований «Тренды» (Новосибирск).

Защитила кандидатскую диссертацию по теме «Финансовый механизм реализации инновационных проектов» по специальности «Финансы, денежное обращение и кредит» (2012 г.). В рамках постдокторской программы работала в Сколковском институте науки и технологий (Москва) в Центре инноваций и предпринимательства в качестве научного исследователя. Совместно с доктором *Б. Совакулом* (*B. Sovacool*) ею был реализован междисциплинарный проект «Угольная генерация в России: вызовы и выгоды», оригинальные результаты которого нашли отражение в статьях, опубликованных в научных журналах «Applied Energy» и «Мировая экономика и международные отношения».

Н. В. Горбачева руководила в течение двух лет (2018–2020 г.) исследовательским проектом «Сравнительный анализ альтернатив электрогенерации в Сибири в условиях новой ин-

дустриализации и цифровизации экономики», который был поддержан Российским научным фондом в рамках Президентской программы для ведущих молодых ученых. Автор монографии продолжает участвовать в научно-исследовательских разработках ИЭОПП СО РАН и нескольких проектах РФФИ.

ГЛАВА 1

ЭНЕРГЕТИКА И СИБИРЬ В ПОЛЕ ИДЕЙ И КОНЦЕПЦИЙ

В современном мире электроэнергетика приобрела особую значимость для экономического роста стран и регионов; она необходима для решения не только проблем экономики, но и обеспечения национальной безопасности, защиты окружающей среды и стабильности климата. Можно говорить о новом этапе развития электроэнергетики, о подлинной *революции электричества*, которая по силе воздействия будет гораздо более масштабной и преобразующей, нежели происходившие ранее трансформации [1].

Исследовательский интерес к электроэнергетике связан с двумя важными характеристиками. *Во-первых*, с ее дуализмом, так как она предъявляет спрос на первичную энергию¹ и одновременно является вторичным носителем энергии. Это придает ей особую универсальность, а следовательно, и большую значимость для мирового хозяйства. С одной стороны, электроэнергия является самым крупным отраслевым потреби-

¹*Первичные энергоносители, или, как принято обозначать в зарубежных работах, первичная энергия (primary energy), не изменяют свои характеристики в процессе извлечения и поглощения (природный газ, уголь, энергия солнца, биомасса и др.). Отличительной особенностью вторичных (конечных) энергоносителей, или вторичной энергии (secondary energy), является процесс преобразования одного типа энергии в другой (электроэнергия, бензин, кокс, биотопливо).*

телем первичной энергии: почти 40% всех первичных источников энергии (нефть, уголь, вода и др.) в мире используются для производства электроэнергии, которая удовлетворяет 19% всех глобальных нужд в конечном энергопотреблении. С другой – электроэнергия становится все более востребованной как самостоятельный производный источник энергии. Среди всех конечных энергоносителей, преобразованных из первичных источников энергии, электроэнергия обладала наибольшим ростом на душу населения в 1974–2016 гг., когда ее потребление увеличилось в 2,5 раза, а ежегодный средний темп роста составил 3,3%.

Во-вторых, со «всеядностью», возможностью быть полученной из разных источников: в 2017 г. 38,3 % электроэнергии было выработано за счет угля; 23,1% – природного газа; 3,7% – нефти; 10,4% – атомной энергии; 16,6% – гидроисточников; 5,6% – возобновляемых источников и 2,3 % – за счет биомассы и бытовых отходов. Широкая диверсификация источников превращает энергетику в единую индустрию, в которой уголь по-прежнему играет ключевую роль: с 1998 по 2018 г. его доля в структуре генерации 38–39%. Но страны Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) стремительно избавляются от угля, например за 15 лет долю угольной генерации в пользу природного газа и возобновляемых источников энергии с 93% до 24% снизила Дания, с 19% до 8% – Канада, с 53% до 34% – США. За счет активности этих стран возобновляемые источники, генерирующие пока небольшой объем электроэнергии, имеют самые высокие ежегодные темпы роста: солнечная и ветровая энергия в 2017 г. дали наибольший прирост – 21,9% и 15,1% соответственно [2].

Электроэнергетика способствует усилению конкуренции между источниками энергии, поэтому небольшие преимущества и недостатки того или иного источника могут кардинально менять энергетическую парадигму и давать значимый совокупный эффект для общества. Как отметил главный экономист компании «Би-Пи» *Д. Спенсер*, электроэнергетика представляет собой «*весьма экономически эффективную область <...>*»,

если сфокусироваться на подходящем типе энергии и должном типе инициатив» [3].

Глобальные инвестиции устремились в электроэнергетику, привлекая 42% от совокупных 1800 млрд долл. вложений в мировую энергетику (табл. 1). Главные денежные потоки идут в возобновляемую энергетику (41%) и электросети (42%), остальные – в топливную и атомную генерации.

Таблица 1

Мировые инвестиции в энергетику, 2017 г.

| Страны | Нефть и газ | | Уголь | Электроэнергетика | | | | Энерго-эффективность |
|---------------|-------------|-------------------------------|-------|--------------------------|---------|---------|------|----------------------|
| | Добыча | Переработка и транспортировка | | Добыча и транспортировка | Топливо | Атомная | ВИЭ | |
| Мир (млрд \$) | 450 | 266 | 79 | 132 | 17 | 318 | 303 | 236 |
| % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Россия | 12.9 | 6.0 | 7.6 | 4.5 | 0.0 | 0.3 | 3.3 | 1.7 |
| США | 15.6 | 18.4 | 2.5 | 10.6 | 23.5 | 13.2 | 21.5 | 17.8 |
| Япония | 0.2 | 1.1 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 5.7 | 2.6 | 3.8 |
| Китай | 6.9 | 10.2 | 55.7 | 16.7 | 47.1 | 34.6 | 26.4 | 27.5 |
| Индия | 0.7 | 3.4 | 8.9 | 12.1 | 0.0 | 6.0 | 6.6 | 3.4 |
| ЕС | 3.1 | 12.4 | 2.5 | 4.5 | 0.0 | 17.9 | 11.9 | 29.7 |

Источник: World Energy Investment, 2018.

Мир готовится к масштабной электрификации, и конкуренция нарастает между главными источниками традиционной энергетики (газовой и угольной генерации) и быстрорастущими возобновляемыми источниками (солнечной и ветровой энергии).

Разрабатываются десятки долгосрочных прогнозов с различными сочетаниями этих двух типов энергии как в глобальном энергобалансе, так и в отдельных странах и регионах (табл. 2). Согласно самому прогрессистскому прогнозу Bloom-

berg New Energy Finance, показателя «более 50% энергии за счет ВИЭ» Германия достигнет к 2022 г., Китай к 2037 г., а весь мир к 2038 г. (преимущественно за счет воды, солнца и ветра); солнечная генерация будет дешевле газовой в Китае к 2022 г., в Германии к 2025 г., в США к 2028 г., а фотовольтаика в этих трех странах станет дешевле угольной генерации к 2029 г. [4].

Таблица 2

Долгосрочные прогнозы развития электроэнергетики в мире

| Год | Центр энергетики Сколково | | IRENA 2050 | IEA WEO 2019 | | BP Energy Outlook 2019 | |
|------|---|---|------------------------------|---|--|------------------------|---|
| | Доля углеводородов | Доля ВИЭ | Доля ВИЭ | Доля углеводородов | Доля ВИЭ | Доля углеводородов | Доля ВИЭ |
| 2015 | 67 | 7 | 23 | | | 62 | 7 |
| 2018 | | | | 64 | 10 | | |
| 2030 | 57–48 | 17–26 | | | | 52 | 21 |
| 2040 | 47–42 | 20–34 | 38 | 48–16 | 30–50 | 47 | 29 |
| 2050 | | | 55 | | | | |
| Δ* | -25 | 27 | 22 | -48 | 40 | -15 | 22 |
| | Консервативный и инновационный сценарии | Биомасса и другие ВИЭ отнесены к этой категории | Гидро-ресурсы включены в ВИЭ | Сценарии парадигмальной политики и устойчивого развития | Энергия солнца, ветра и другие ВИЭ отнесены к этой категории | | Гидро-ресурсы исключены из этой категории |

Примечание. * изменения в % указаны за самый ранний базовый и последний прогнозный год.

Источник: Центр энергетики МШУ «Сколково», 2019; IRENA, 2020; IEA, 2019; BP, 2019.

Сравнительные преимущества зависят не только от объективных тенденций, но и от воздействия идей и концепций, касающихся перспектив использования того или иного источника энергии. Поляризация взглядов экспертов очевидна: от акцента на неисчерпаемости ископаемого топлива, благодаря сланцевой революции и другим инновациям в ресурсном секторе, до «100% возобновляемой генерации к 2050 г. для 139 стран мира» [5].

Противоречивая динамика развития традиционных и возобновляемых источников энергии отражена в различных, часто конкурирующих, теориях и моделях мировых энергетических процессов. Исходя из этого, в энергетической сфере можно выделить *три кластера концепций*:

- концепции, придерживающиеся парадигмы превосходства традиционных источников энергии и направляющие научный поиск на совершенствование и корректировку недостатков сложившейся высокооптимизированной энергосистемы;
- концепции с акцентом на развитии принципиально новых возобновляемых источников энергии за счет реализации разнообразных научных проектов и ряда коммерческих инсталляций, призванных доказать жизнеспособность объектов ВИЭ-генерации как полноценных субститутов угледородов;
- концепции, основанные на идее о некоей конвергенции в энергетике традиционных и возобновляемых источников энергии, когда доли между ними в энергобалансе равномерно распределятся, а энергетическая парадигма кардинально не поменяется (возможно, до появления нового универсального источника энергии, например термоядерного синтеза или водородной энергетики).

КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Первый кластер объединяет энергетические концепции, считающие актуальным доминирование углеводородов в энергобалансе; из-за неоднородности видов ископаемого топлива внутри этого блока существует целый спектр разнообразных суждений. Более полувека назад, исследуя тенденции использования источников энергии, прогнозисты *И. В. Лада* и *О. Н. Писаржевский* выделили типы энергии: *регрессивные*, доля которых в производстве энергии должна будет неуклонно убывать (каменный уголь, растительное топливо и мускульная сила), и *прогрессивные*, доля которых будет непрерывно возрастать (нефть, горючие газы, гидроэнергоресурсы).

В прогрессивном блоке природный газ долгое время рассматривался, по словам *М. Л. О'Салливан*, как *«пассажир второго класса в мире энергии»*, но в XXI в. этот вид энергии был призван потеснить владения «нефтяных магнатов» и «угольных королей», так как технологически природный газ стал доступнее и дешевле нефти, а его углеродоемкость – в два раза меньше, чем у угля, и на треть, чем у нефти, что создало ему репутацию лучшего ископаемого топлива [6]. Более того, способность электростанций на природном газе быстро удовлетворять пиковое энергопотребление позволяет хорошо дополнять прерывистую выработку ВИЭ-генерации.

В России еще в 1990-е гг. была предложена программа реформ, направленная на *«сохранение энергетического сектора как основы экономической стабилизации России»* и *«широкое использование экологически наиболее чистого топлива – природного газа»* [7]. Многие отечественные эксперты продолжают связывать дальнейшее развитие не только российской, но и мировой энергетики именно с природным газом, подчеркивая его сравнительные преимущества перед «регрессивным» углем (экологичность и высокую эффективность работы электростанций), что делает этот источник энергии самым востребованным на многие десятилетия вперед, особенно

для России [8]. Академик *О. Н. Фаворский* полагает, что будущее за газовой генерацией, и для России *«при сохранении современного расхода газа можно его увеличить при необходимости до 60% для производства электроэнергии»* [8]. Специалисты подчеркивают достоинства использования природного газа, апеллируя к важным особенностям энергетики России: высокой обеспеченности сравнительно дешевым ископаемым топливом, продолжительному холодному зимнему периоду, значительной протяженности территории, низкой плотности населения. Все это, по мнению академика *А. А. Макарова*, меняет приоритеты энергетического развития нашей страны, когда глобальные технологические тренды, представленные Международным энергетическим агентством (МЭА), *«целиком ориентированы на конъюнктуру западных энергетических рынков, причем две трети этих технологий (по стоимости) направлены на агрессивное снижение эмиссии парниковых газов»*, но *«эти технологии в значительной мере не рациональны для России»*, так как при относительно дешевом топливе в нашей стране можно сэкономить на внедрении менее капиталоемких технологий, даже с несколько худшими КПД энергоблоков, следовательно *«в своей технологической политике России целесообразно проявлять умеренность в сдерживании эмиссии парниковых газов»* [9].

По оценкам академика *А. Э. Конторовича*, освоение природного газа в Сибири – весьма выгодное предприятие для государства и бизнеса: на 1 долл. инвестиций приходится 3,4 долл. налоговых поступлений в бюджеты всех уровней и 2,8 долл. чистой прибыли до 2030 г. [10]. В то же время ряд экспертов сомневаются в высокой рентабельности нефтегазового бизнеса и прогнозируют, что в ближайшее десятилетие мы достигнем пика потребления углеводородов, спрос на которые снизится не из-за геологических трудностей, а из-за дешевизны возобновляемых источников. Согласно оценкам *К. Бонда*, закат сырьевого рынка начнется с финансовых рынков, когда биржевые цены на топливо упадут и больше не восстановятся [11]. В этих условиях крупные инвестиции в инфра-

структурные проекты (газопроводы, танкеры, порты) могут никогда не окупиться.

Другие авторы акцентируют внимание на самом традиционном виде топлива – угле, как самом дешевом и доступном во многих регионах мира при условии, что удастся элиминировать главный его недостаток – вредные выбросы в атмосферу [12]. Согласно прогнозной модели Ю. А. Плакиткина и его коллег, страны будут переходить к более эффективному использованию угля, цена которого останется в несколько раз ниже стоимости природного газа при прогнозных ценах на нефть в диапазоне 35–100 долл. за баррель [13]. Сибирские ученые полагают, что *«для условий Сибири достойным ответом на внешние и внутренние вызовы может стать взаимодополняющее развитие угольной промышленности и электроэнергетики»* [14].

Разрабатываются различные направления расширения угольной генерации: модернизация теплоэлектростанций; строительство энерготехнологических комплексов, новых станций с учетом чистых угольных технологий; замещение котельных мини-ТЭЦ. Высказывается мнение, что в Сибири ввод мощностей других типов генерации в качестве альтернативы угольной энергетике маловероятен, а ввод новых крупных угольных электростанций возможен при налаживании связей с Юго-Восточной Азией [15]. По оценке некоторых разработчиков, в среднесрочной перспективе ценность угля может даже возрасти из-за его пригодности для углехимической промышленности и получения дополнительных полезных продуктов (например, полукокса). Так, С. Р. Исламов утверждает, что *«в обозримом будущем цивилизация просто не имеет эквивалентной по масштабу альтернативы углю: ни природный газ, ни ядерная энергетика, ни тем более возобновляемые источники энергии не в состоянии заменить его»* [16].

При обосновании развития традиционной энергетики подчеркивается цивилизационная значимость углеводородов, обеспечивших современные стандарты комфортной жизни. С. П. Капица говорил, что *«энергетика прямо определяет ско-*

рость роста, как если бы человечество было гигантской планетарной машиной, движимой ее энергетической системой!» [17]. Согласно А. Эпштейну, ключевую роль в обосновании энергетического выбора в пользу ископаемого топлива играют моральные принципы, так как традиционный способ производства электроэнергии намного экономичнее, чем «зеленая» генерация, поэтому несправедливо лишать население бедных регионов доступа к самому дешевому ископаемому топливу – углю [18]. Представители этого кластера концепций солидарны в том, что высокий уровень и качество жизни невозможно обеспечить без ископаемого топлива и главная задача состоит в минимизации издержек его использования.

КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Второй кластер концепций делает акцент на появлении принципиально новых возобновляемых источников энергии, прежде всего самых перспективных из них – солнечной и ветровой генерации. Лауреат Нобелевской премии *Ж. И. Алферов* полагал, что будущее – за возобновляемой энергетикой и *«к середине XXI в. будут получены новые наноматериалы для фотозенергетики, которые смогут обеспечить человечество дешевой электроэнергией за счет прямого преобразования солнечной энергии» [19].*

Известный российский энергетик *Г. В. Ермоленко* считает, что *«на сегодняшний день наиболее перспективной с экологической и экономической точек зрения среди возобновляемых видов энергии является ветровая энергетика»*; особенно для России, где ее экономический потенциал составляет примерно 30% производства электроэнергии всеми электростанциями в стране [20]. *Л. Браун* и его коллеги из Института политики Земли (Earth Policy Institute) уверены, что *«настоящий век будет свидетельством великой трансформации – перехода от углеводородов к энергии солнца и ветра» [21].* Этот великий переход совершится под воздействием нескольких кардиналь-

ных изменений в пяти сферах: в *экономике* – стоимость солнечных панелей и ветроустановок будет существенно снижена; в *технологиях* – масштабная электрификация многих сфер, особенно транспорта, позволит избавиться от нефтепродуктов (бензина, дизеля); в *геологии* – трудности с извлечением легкодоступных углеводородов приведут к сокращению инвестиций в сырьевой сектор; в *социуме* – будут нарастать протестные настроения против угольной и атомной энергетики; в *природе* – климатические и техногенные катастрофы усилят процессы в перечисленных четырех сферах. Все это в совокупности ускорит слом привычной энергетической парадигмы.

Само понимание «возобновляемости» менялось с течением времени: в 1970-е гг. строили крупные гидро- и атомные электростанции, в 1990-е выращивали сельскохозяйственные культуры для биотоплива, а в начале 2000-х установили эталонные возобновляемые источники в виде солнечной и ветровой энергии. Реакторы на быстрых нейтронах и технологии создания замкнутого ядерного цикла были отнесены к ВИЭ согласно резолюции № 38/161 Генеральной ассамблеи ООН от 19.09.1983 [22]. Дискуссии о «возобновляемости» атомной энергетики продолжаются до сих пор [23].

Международное агентство по ВИЭ (IRENA) в своем глоссарии выделяет только пять видов ВИЭ: солнечной, ветровой, геотермальной, энергии биомассы и воды [24]. При этом гидроресурсы к ВИЭ относят не всегда. Федеральным законодательством США в качестве ВИЭ признаются только малые ГЭС (до 30 МВт) без сооружения дополнительных дамб [25]. В России строительство малых ГЭС, как правило, связано с возведением новых дамб, что не мешает относить эти объекты к ВИЭ, согласно ФЗ №35 от 26.03.2003 «Об электроэнергетике». Отечественные экономисты также часто относят крупные ГЭС к возобновляемой энергетике. *Е. В. Любимова* утверждает, что «*гидроэнергия в настоящее время основной*» источник возобновляемой энергии и подчеркивает, что «*существенной особенностью электроэнергетики СФО является ее наивысшая, по сравнению с другими федеральными округами,*

доля в использовании возобновляемых источников энергии» [26]. Такая позиция, относящая к ВИЭ пять самых крупных ГЭС страны на Енисее и Ангаре, представляется сомнительной. Экологический, экономический и социальный ущерб крупных ГЭС хорошо описан в отечественной и в зарубежной литературе, причем не только в научной, но и в художественной. В известной повести В. Распутина «Прощание с Матерой» показаны разрушение традиционного уклада жизни людей и гибель деревни после затопления острова Матера на реке Ангаре из-за строительства Братской ГЭС, которая сейчас производит дешевую электроэнергию для Братского алюминиевого завода частной компании «Русал».

Эффекты от масштабного использования другого источника ВИЭ – биомассы, также неоднозначны. На Сибирь приходится большой объем национальной заготовки леса, а древесные отходы считаются эффективным сырьем выработки электроэнергии [27]. Тем не менее перспективность использования древесных отходов, как и малой гидроэнергетики, в мегарегионе существенно ограничена из-за самоценности таежных массивов и сибирских рек, имеющих стратегическое значение.

В силу этого из всех видов ВИЭ именно солнечная и ветровая энергия представляются наиболее многообещающими.

Обзор концепций динамики ВИЭ позволяет выделить **четыре важные характеристики** солнечной и ветровой генерации: это требующие *развитого электросетевого хозяйства* принципиально *новые источники* энергии с высоким *инновационным потенциалом* и значимыми *экологическими эффектами*. Эти особенности определяют механизмы их использования: диверсифицированные, сетевые, партнерские формы организации, применение которых дает кардинальные выгоды.

Во-первых, концепции развития ВИЭ делают акцент на появлении принципиально *новых* источников энергии, позволяющих диверсифицировать как производство электроэнергии, так и уклад экономики в целом. Грамотный учет погодных и географических условий позволяет обеспечить многих потребителей электроэнергией и в индустриально развитых стра-

нах, и в бедных, преимущественно аграрных, африканских [28]. Помимо диверсификации энергобаланса, создается новая индустрия с высокой добавленной стоимостью и экспортным потенциалом [29]. В России, по мнению *В. Е. Форттова* и *О. С. Попеля*, при развитии ВИЭ *«сэкономленное органическое топливо может быть с существенной прибылью продано за рубеж»* [30].

Во-вторых, новые источники энергии способствуют *сетевой интеграции и сотрудничеству*. Интеграция необходима для бесперебойного снабжения потребителей переменной энергией солнца и ветра. Для этого предлагаются *две конкурирующие модели* развития электросетевой интеграции ВИЭ.

Одна модель базируется на *децентрализации и распределительных сетях*, которые позволяют обеспечить электричеством и теплом труднодоступные для доставки углеводородов малонаселенные регионы. *М. Г. Тягунов* отмечает *«высокую степень централизации управления производством, транспортом и распределением электрической и тепловой энергии»* в России, что приводит к отставанию страны в развитии ВИЭ [31]. Наиболее благоприятными объектами для внедрения ВИЭ являются малые и распределительные энергетические системы, вне централизованной энергосистемы. Эту позицию разделяют *В. Е. Форттов* и *О. С. Попель*, указывая на перспективные ниши использования ВИЭ в России: системы автономного электро- и теплоснабжения потребителей, энергодефицитные районы *«на конце тупиковых линий электропередач»* в зоне централизованного энергоснабжения [30]. Но, как отмечает *К. С. Дегтярев*, малая автономная солнечная энергетика представлена в нашей стране преимущественно зарубежными (китайскими) образцами, а для развития отечественной производственно-технологической базы необходима господдержка [32]. Другая модель связывает развитие ВИЭ со строительством *высоковольтных магистральных линий* электропередач, охватывающих обширные территории [33].

Идет эмпирическое тестирование обоих подходов, но очевидно, что эпоха возобновляемой энергетики, в отличие от уг-

леводородного XX в. с его нефтяными эмбарго и газопроводными санкциями, представляется более благоприятным периодом для выстраивания партнерских отношений на энергорынке. Более того, производство и потребление «зеленого» электричества «здесь и сейчас» труднее монополизировать, в отличие от использования ископаемого топлива, запасы которого сконцентрированы неравномерно, а добыча и переработка часто сопряжены с картельными сговорами, стремлением к рыночному доминированию и геополитическими рисками.

В-третьих, концепции развития ВИЭ подчеркивают *инновационный характер* этого вида энергии. Использование солнечной и ветровой генерации связано с лидерством в инновациях и созданием принципиально новых технологий, что становится важным параметром экономического развития. Академик *Н. И. Иванова* отмечает, что «конкуренция на мировом энергетическом рынке идет не только за доступ к перспективным месторождениям, но и за доступ к принципиально новым источникам энергии» [34]. Влиятельный эксперт в сфере инновационной экономики *М. Маццукато* полагает, что ВИЭ следует рассматривать как стратегические инновации, ориентированные на радикальные изменения в социальных ценностях, чтобы «перенаправить всю экономику, трансформировать производство, распределение и потребление во всех отраслях» [35].

Но инновационный характер ВИЭ вступает в конфликт с консервативной структурой традиционной энергетики, которая представляет собой сложную институциональную среду для инноваций. В отличие от хайтека, биотехнологий и других прорывных разработок, изменения в энергетике происходят намного медленнее, отраслевые субъекты взаимосвязаны сильнее, а требования к издержкам и надежности значительно выше. Для преодоления этих ограничений необходимы фундаментальные научные открытия, позволяющие получить кардинальные выгоды при масштабном распространении ВИЭ. По расчетам международного эксперта в области ВИЭ *В. Сиварама*, чтобы достичь 30% производства электроэнергии в мире

посредством солнечной генерации, издержки крупной сетевой СЭС не должны превышать 25 центов за ватт установленной мощности. Современные кремниевые технологии фотовольтаики вряд ли справятся с поставленной экономической задачей из-за дороговизны производства самого кремния. Необходимость – «*мать инноваций*», поэтому «*великая солнечная игра не закончилась, она только начинается. Для человечества, чтобы в конце концов приручить солнце, солнечные технологии и солнечная энергетика должны стать еще более необычными в грядущем десятилетии*» [36].

В-четвертых, целый ряд концепций подчеркивает принципиальную характеристику возобновляемых источников энергии – *экологическую чистоту*, что важно для решения проблем деградации окружающей среды и изменения климата. Основные теоретические положения оценки этих факторов были заложены в 1970-х гг. *Н. Джорджеску-Регеном*, который ввел новое понятие *биоэкономика*, чтобы «*постоянно иметь в виду биологическое начало экономических процессов и таким образом сделать центром внимания проблемы существования человечества с ограниченным запасом доступных ресурсов, неравномерно размещенных и неравно присваиваемых*» [37]. В современном научном дискурсе этот блок проблем получил образное название «*драма сообщества*» (*drama of commons*), подчеркивающее необходимость скоординированных действий между разными субъектами экономики и консолидации на международном уровне для борьбы с такими последствиями цивилизационного развития, как загрязнение воздуха и пресной воды, истощение плодородия почвы, изменение климата [38]. Эффективное решение видится в масштабном внедрении ВИЭ, что потребует инструментов организации и управления, адекватных масштабу проблем.

Объекты ВИЭ рассматриваются как «*зеленый*» фактор экономического роста. Известный экономист *Б. Н. Порфирьев* утверждает, что, вопреки укоренившимся взглядам радикальных «*зеленых*» о разрушительном воздействии быстрого развития экономики на природу, «*высокие темпы роста – необхо-*

димое (хотя и недостаточное) условие эффективной экологической политики». Польза ВИЭ, с точки зрения автора, оценивается в той степени, в которой их внедрение ведет к экономическому росту [39].

Некоторые исследователи пошли еще дальше, утверждая, что внедрению ВИЭ способствуют не только экологические и экономические выгоды, но и изменения в политике. Например, *М. Аклин и Д. Урпелайнен* сделали вывод, что солнечная и ветровая энергия из дорогого «люксового» источника становится массовым продуктом и для богатых, и для бедных стран [40]. С увеличением доли ВИЭ в мировой энергетике сближаются подходы к их организации и управлению ими в разных странах, получающих схожие экономические эффекты: диверсификацию энергобаланса, создание «зеленых» рабочих мест, развитие промышленности, решение локальных экологических проблем. Успех ВИЭ в отдельных странах увеличивает их экономическую конкурентоспособность в других региональных контекстах. Все это превращает ВИЭ в эффективный инструмент, способствующий конвергенции энергетической политики разных стран.

Адепты внедрения ВИЭ уверены в появлении новой энергетической парадигмы, сутью которой станет кардинальное переосмысление векторов развития глобальной энергосистемы. Размышляя над состоянием энергетики в последние пятьдесят лет, *М. Грец* отмечает, что *«история, конечно, не окончилась. Но та энергия, с которой мы знакомы большую часть нашей истории, закончилась»* [41].

КОНЦЕПЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОНВЕРГЕНЦИИ

Третий кластер концепций аккумулирует взгляды и прогнозы, предсказывающие конвергенцию разных источников энергии. Масштабность использования углеводородов и малоэффективность ВИЭ не позволят, по мнению *Р. К. Лестера* и *Д. М. Харта*, отказаться от первых в пользу вторых, поэтому необходимы все опции, обеспечивающие достижение низкоуглеродного будущего [42]. Традиционная энергетика будет удерживать доминирующее положение в энергобалансе, хотя, вследствие межтопливной конкуренции, доля угольной генерации перераспределится в пользу газовой выработки. *Ф. В. Веселов* с соавторами отмечает, что угольные электростанции будут сталкиваться с нарастающей межтопливной конкуренцией со стороны газа и атомной энергии, которая в долгосрочной перспективе, после 2030 г., может усилиться при реализации мер по ограничению эмиссии парниковых газов [43].

Устойчивое сохранение углеводородов в энергобалансе *В. Смил* объясняет тем, что структурные сдвиги в энергетике являются длительным процессом и зависят от исторически сложившегося пути развития. Это подтверждается теорией зависимости от предшествующего развития (*path dependency theory*) и «эффектом колеи», когда достаточно случайное размещение объектов энергетики становится устойчивым и меняется с трудом, даже если источники энергии становятся неэффективными. Переход к другому источнику, после того как он захватит значительную долю глобального рынка, требует 50–75 лет. Так, доля угля при переходе к нему от тотального использования дерева достигла 5% от общего потребления первичных источников энергии лишь в 1840 г., возросла до 10% к 1855 г. и достигла 50% к 1900 г. При этом для некоторых стран, например России, Испании, Италии, дерево оставалось главным источником энергии и в начале XX в. Таким образом, пятипроцентное увеличение потребления угля в мире осуществлялось в следующей прогрессии: 15–25–30–35–45–55–60

лет. Для нефти, достигшей 5% от глобального потребления первичных источников энергии в 1915 г., потребовалась приблизительно такая же скорость: 15–20–35–40–50–60, при этом нефть никогда не достигала более 50% мирового потребления, а начиная с 1990 г. ее доля стала постепенно снижаться. Природному газу, наоборот, потребовалось больше времени – 55 лет, чтобы перейти от 5% в глобальном потреблении в 1930 г. к 25% в 1985 г. Чтобы достичь 15–20% в энергобалансе, возобновляемым источникам энергии, по-видимому, понадобятся десятки лет, и В. Смит заключает, что *«только в одном можно быть уверенным – шансы на успех в беспрецедентном поиске создать новую энергетическую систему, соответствующую долгосрочному существованию высокоэнергоемкой цивилизации, остаются неопределенными»* [44].

Природному газу во время перехода к новой энергетической парадигме отводится роль «транзитного вида топлива». При его сжигании выделяется в два раза меньше CO₂, чем при использовании угля. Но это преимущество бесполезно для долгосрочного решения климатических проблем, так как, согласно оценкам известного американского геолога Д. Шрага, изменения климата происходят под воздействием парниковых газов, которые накапливаются в течение десятилетий, независимо от темпов прироста эмиссии этих газов [45]. В результате снижения цен на природный газ и появления новых технологий зависимость от угля может трансформироваться в еще более сильную привязанность к природному газу.

Перспективы ВИЭ оцениваются в 15–30% энергобаланса в 2040–2050 гг., благодаря снижению стоимости солнечных и ветровых установок. Оптимисты, например В. Д. Газман, полагают, что *«ВИЭ могут выйти в лидеры среди энергетических генераций не к середине XXI в., но значительно раньше – к 2025 г., и их доля в мировом энергобалансе превысит 30%»* [46]. Но многими этот вид энергетики рассматривается как «нишевый», как приложение к оптимизированной традиционной энергосистеме. Такое представление о роли ВИЭ не позволяет достичь уровня «экономии масштаба», что важно

для долгосрочного роста новой отрасли. Практика реализации проектов ВИЭ в России, как отмечают *С. В. Ратнер* и *Р. М. Нижегородцев*, подтверждает *«низкую вероятность успешной реализации высокотехнологичных производств в ограниченном масштабе, без расширения экспансии на внутренний и зарубежный рынок»* [47].

В качестве кардинальной альтернативы углеводородам и ВИЭ предлагается атомная энергетика. Академик *Е. П. Веллихов* отмечает, что *«Россия обладает значительной частью запасов углеводородного топлива, и в обозримом будущем оно, как и сейчас, будет составлять основу нашего экспорта, поэтому нам, в условиях естественных ограничений масштабов добычи и транспорта энергоресурсов, необходимо для сохранения эффективности нашей экономики сократить потребление природного газа в электроэнергетике за счет использования ядерной энергии <...> В более отдаленном будущем <...> мы сможем перейти к широкому промышленному использованию управляемого термоядерного синтеза»* [48]. Однако и в сфере термоядерных исследований имеются различные точки зрения, например российскому концепту крупномасштабного токамака противопоставляется компактная американская модель *Tri Alpha Energy*, разработчики которой намерены разместить ее к 2040 г. в каждом жилом квартале [49]. Академик *Р. И. Нигматулин* предлагает еще один вариант – на основе «пузырьковой жидкости» для производства термоядерных актов [50].

Несмотря на вариабельность подходов, каждый исследователь, работающий в сфере термоядерного синтеза, уверен в неизбежности внедрения этих технологий, которые позволят получить энергию, более дешевую по сравнению с углеводородами, без эмиссии CO_2 . В то же время специалисты шутят про термоядерные технологии: *«прошло уже тридцать лет, и все это еще может быть»*; а в отношении атомной энергии утверждают, что она не может рассматриваться как вариант решения энергетической проблемы, поскольку ее использование сопряжено с рисками аварий и радиоактивного загрязнения

и она крайне уязвима из-за изменений климата [51]. Для противодействия распространению атомной энергетики сформирована специальная международная программа «Nuclear Threat Initiative», направленная на формирование международного банка топлива для атомных реакторов в целях создания запасов (ядерных «заготовок») широкого использования вместо налаживания собственного обогащения урана.

Объективные противоречия энергетических трендов обуславливают поляризацию взглядов экспертов не только на традиционную и возобновляемую энергетику, но и на типы углеводородов и виды возобновляемых источников энергии, сравнительные преимущества которых существенно различаются. Используя вслед за *И. Берлином* крылатую фразу «*Много знает лиса, ёж [же] одно – но важное*» [52], можно констатировать, что пока «ежи» традиционной и возобновляемой энергетики упорно доказывают жизнеспособность своих идей, утверждая, что «все уже давно решено», «лисы» энергетической сферы предлагают многофакторный подход с учетом достоинств разных источников энергии. Так, после анализа не сбывшихся за несколько десятилетий энергетических прогнозов *Т. Нордхаус* предложил «*завершить старую междоусобицу и внедрить атомную и возобновляемую энергетику как можно быстрее*» [53]. Другой же «лиса», *А. Эпштейн*, настаивает на том, что «*у нас есть время, благодаря энергии углеводородов, придумать, как дешево извлечь привычные и неизведанные ресурсы, а также изобрести новые технологии, например в атомной энергетике*» [18]. Академик *С. В. Алексеев* убежден: «*совершенно очевидно, что в ближайшем будущем мы по-прежнему будем перерабатывать большое количество угля, ведь только в Сибири 86% энергобаланса приходится на этот вид топлива*», но в будущем петротермальная энергетика² будет самым перспективным направлением, так как «*петротермального тепла достаточно, чтобы обес-*

² Петротермальная энергетика использует гидрогеотермальную энергию (вид ВИЭ), то есть горячую подземную воду невысокой температуры (70–120°C).

печить человечество энергией навсегда с учетом конечного срока жизни цивилизации» [54].

Даже неполный обзор наиболее важных концепций в энергетических исследованиях показывает их дифференциацию, тематическое разнообразие и дискуссионный характер. Неопределенность энергетического выбора сохраняется; рассмотренные противоречия носят объективный характер и обусловлены принципиальными различиями сущностных характеристик двух типов энергии, которые проявляют себя по-разному в условиях новой индустриальной революции и в социально-экономическом контексте стран и регионов.

КОНЦЕПЦИЯ МЕГАРЕГИОНА СИБИРЬ

Концептуальное понимание Сибири как мегарегиона с территорией от Уральских гор до Тихого океана придает новый смысл реализации энергетической политики России. Концепция впервые была изложена *В. И. Супруном* в 2008 г.: *«Сибирь может рассматриваться как мегарегион, обладающий огромным экономическим потенциалом..., своеобразной культурой, типом восприятия, ценностями, которые формируют ценностное ядро культуры мегарегиона, и важнейшим геополитическим значением...» [55].* Концепт мегарегиона подразумевает наличие единого пространства и времени, общей истории и культуры, целостного природно-климатического ландшафта, тесно связанной экономики и сопряженной транспортной инфраструктуры. Этому пониманию соответствует и идея российского исследователя *В. А. Колосова* о значимости региональной самоидентичности в территориально-политической организации общества, когда в глобализирующемся мире особую роль приобретают невидимые, но чрезвычайно важные культурные, социальные и религиозные границы, определяющие фрагментацию политического пространства, сдвиги в территориальной идентичности и способы управления обществом, ведь *«граница нацелена внутрь, чтобы объединять социальную группу» [56].*

Подобное рассмотрение Сибири как территории от Уральских гор до Тихого океана фиксируется в репрезентативных международных источниках, что важно для научных исследований, которые оперируют теориями, концептами и дефинициями, разделяемыми мировым экспертным сообществом. Например в *Encyclopædia Britannica*: «Сибирь – это огромный регион, по существу, занимающий всю северную Азию. Сибирь простирается от Уральских гор на западе до Тихого океана на востоке и от Северного Ледовитого океана на севере до холмов северного Казахстана и границ с Монголией и Китаем» (рис.1); а в *Americana Corporation* отмечается, что «это огромная азиатская часть Советского Союза, простирающаяся от Уральских гор до Тихого океана» [57].

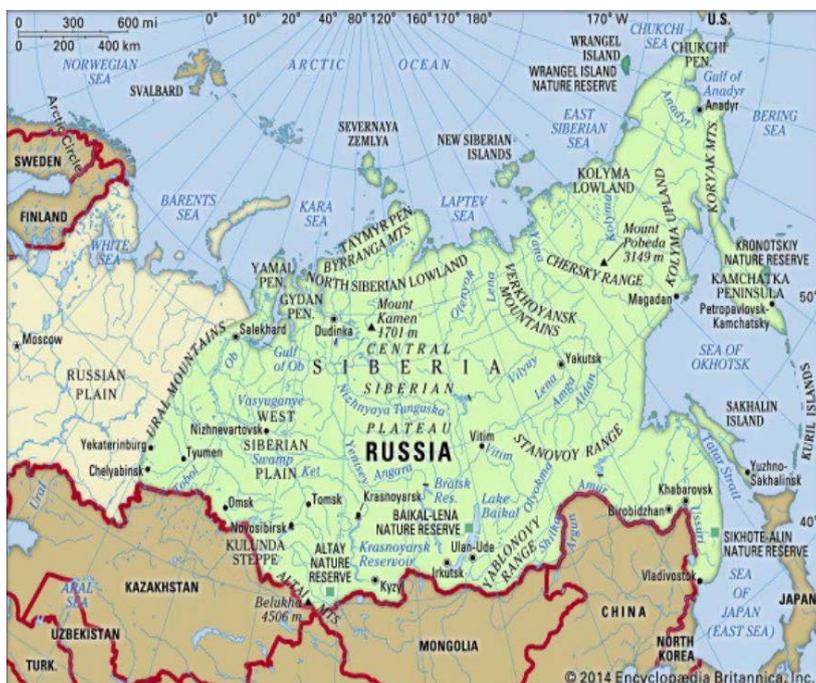


Рис.1. Сибирь, согласно *Encyclopædia Britannica*
 Источник: Encyclopædia Britannica, Inc.

Авторитетный американский политолог *Р. Каплан* выстраивает геополитические сценарии исходя из того, что Сибирь – это огромное пространство, которое простирается от Уральских гор до Тихого океана [58]. При этом он уделяет особое внимание историческим корням современных политических процессов, связанных с культурными особенностями этого мегарегиона. Недавно опубликованные исследования о параметрах сибирской идентичности углубляют понимание Сибири как единого пространства с устойчивыми историческими традициями и культурными особенностями [59; 60].

Показательна работа американского капитана, одного из основателей геополитики, *А. Т. Мэхэна*, который в 1900 г. в своей книге «Проблема Азии» (*The Problem of Asia*) представил геополитическое пространство Азии и назвал эту карту «Дискутируемая и спорная средняя полоса» (*Debated and Debatable Middle Strip*) (рис. 2). Полоса между 30-й и 40-й параллелями в северном полушарии была названа Мэхэном «ничейной землей» (*no man's land*), на которую будут претендовать Россия и западные морские державы. Однако огромный регион Сибирь неразрывно сопряжен с Китаем посредством сухопутных и тихоокеанских маршрутов и наделяет Россию «превосходством, которое приближается к исключительности» [61].



Рис. 2. Сибирь на карте геополитического пространства Азии в 1900 г. Источник: [61].

За столетие представления зарубежных исследований о Сибири практически не изменились. Современный исследователь *В. Горник* подчеркивает, что «*при слове “Сибирь” возникают сильные чувства и романтические образы: арктические пустыни и политическая ссылка; слепящий холод и невыразимая отдаленность; этот огромный географический регион соотносится с представлением, которое остальной мир имеет о России с ее страстной порывистостью и brutальной крайностью*» [62].

Следует различать предлагаемую концепцию Сибири как мегарегиона от более привычного для российского научного дискурса понятия «*макрорегион Сибирь*» [63], которое, как правило, используется в рамках уже сложившейся экономической парадигмы и носит конкретный социоэкономический характер. По мнению академика *В. В. Кулешова*, Сибирь как «*срединный регион*» между Уралом и Дальним Востоком проигрывает по политической значимости, но выигрывает по остальным, уникальным факторам: человеческому ресурсу, минерально-сырьевому ресурсу, инфраструктуре и др. [64]. Проведя модельные эксперименты взаимодействия макрорегионов России, известный российский экономист *В. И. Суслов* делает вывод, что «*Центральный федеральный округ, образно говоря, откровенно “паразитирует” на “теле России”*»; донорами «первого уровня» выступают Северо-Западный и Дальневосточный округа, «второго уровня» – Сибирский и Уральский [65]. В результате целого ряда междисциплинарных исследований стала очевидна необходимость переосмысления концептуального понимания Сибири. Появилась плеяда оригинальных трактовок и пассионарных определений: «*сибирские территории*» [66], «*Новый ковчег*»³ или «*континент Сибирь*». Например, академик *В. А. Крюков* полагает, что «*Сибирь пред-*

3 Выступление директора ИЭОПП СО РАН *В. А. Крюкова*, главного экономиста госкорпорации «ВЭБ.РФ» *А. Н. Клепча* и председателя СО РАН *В. Н. Пармона*. Заседание Президиума РАН, 10 сентября 2019. Прямая трансляция на портале «Научная Россия» URL: <https://scientificrussia.ru/articles/ nauka-eto-lokomotiv-operezhayushchego-razvitiya>

ставляет собой аналог континента», который имеет стратегическое значение для «мегаконтинента Россия», так как это «обширнейшая часть России – от Урала и до гор Забайкалья», определяющая во многом темпы и характер развития всей страны [67].

В то же время в других работах наблюдается размытость концептуального подхода, отсутствие комплексности и междисциплинарности, что приводит к своеобразным интерпретациям, когда Дальний Восток подразумевается как отдельный от Сибири макрорегион [68], а территории, прилегающей к Тихому океану, дается псевдобрендовое название «Тихоокеанская Россия» [69]. Примечательно, что концепт «Тихоокеанской России» по некоторым, не вполне понятным, причинам включает и отдельную макрону Республику Саха (Якутию), которая традиционно относится к Сибири. Напротив, согласно докладу С. А. Караганова, движение России на Восток неразрывно связано с дорогой «к Великому океану», когда вся Сибирь «объективно политически, экономически, исторически – это один регион, который должен быть ориентирован на новые азиатские рынки» [70].

Настоящий всплеск российских исследований Арктики в последние годы спродуцировал и новые своеобразные конструкции, например появление идеи об Азиатском Севере России, куда входят север Западной и Восточной Сибири, а также север Дальнего Востока [71]. При этом в Азиатский Север России включены не только северные регионы, но и такие территории, как, например, Алтайский край, Новосибирская область и другие, которые действительно относятся к Сибири, но северными назвать их сложно. Естественно, можно говорить о корреляции экономических связей по оси «Север – Юг», но отождествление географически южных регионов с северными территориями представляется некорректным. Важно, чтобы ревизия сложившегося понимания Сибири имела под собой достаточно оснований, носила комплексный и мультидисциплинарный характер, а не была произвольным толкованием, обус-

ловленным субъективностью суждений и конъюнктурой экономических исследований.

Кроме теоретических конструктов, концепцию мегарегиона Сибирь следует отличать от действующего в России административного деления страны на 85 регионов – субъектов управления⁴, которые в свою очередь образуют 8 федеральных округов⁵. Предложенная недавно стратегия пространственного развития⁶ России предлагает разбить все российское пространство на 12 макрорегионов, согласно принципу экономической целесообразности; а сибирские территории предлагается разделить на *пять макрорегионов*: Западно-Сибирский, Южно-Сибирский, Енисейский, Байкальский, Дальневосточный.

Не претендуя на детальный анализ разработки Минэкономразвития РФ, полагаем, что наиболее очевидным недостатком этого подхода является раздробление целостности мегарегиона. Собранная нами коллекция карт, исторически оформившиеся представления о Сибири убедительно демонстрируют естественность образа неделимого и целостного пространства от Уральских гор до Тихого океана. Данными, цифрами, свидетельствами можно манипулировать для обоснования различных целей, но лишь карта и границы фиксируют естественный ход событий, подверженных в меньшей степени изменениям и влиянию надуманных конструктов. Как отметила известный американский историк *С. Шультен*, в 100 картах представившая историю Америки, карта является важным историческим и концептуальным аргументом, потому что опровергает миф о «*манifeste судьбоносности*» истории, которая податлива и текуча, как «*извилистая река Миссисипи*», а судьбы страны и регионов не вполне фиксированы и предопределены [72].

⁴ ОК 019-95 *Общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления* (ред. от 27.12.2018) - ОКАТО

⁵ Указ Президента РФ от 13.05.2000 № 849 «О полномочном представителе Президента Российской Федерации в федеральном округе»

⁶ Распоряжение Правительства РФ от 13.02.2019 N 207-р «Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года»

Стоит надеяться, что Сибирь с ее «прямыми» реками, устремленными в Северный Ледовитый океан, как и сама концепция мегарегиона с его целостностью, устоят перед продолжающимся крошением этой территории и недвусмысленными теориями ее деления.

Такая неопределенность (85–8–12) в организации деятельности России указывает, с одной стороны, на потребность в системности регионального управления, с другой – на размытость и конъюнктурность предложенной стратегии пространственного развития. В отличие от нее, концепция мегарегиона предполагает устойчивое долгосрочное развитие Сибири как целого⁷, и следовательно, требует формирования видения, понимания и исследования Сибири как неделимой, а не как набора отдельных административных единиц [73]. Общее не исключает частного, но частное не может быть общим.

Предлагаемая концепция *Сибири как мегарегиона* представляет собой аналитическую модель в контексте единого экономического, культурного и политического пространства России [74]. Единый страновой контекст подчеркивает неразрывность Сибири и России, генерирует новый методологический подход и новое содержание энергетической стратегии страны.

Такое понимание Сибири как мегарегиона придает новые смыслы развитию российской энергетики. Сибирь аккумулирует 75% территории, 92% запасов угля, 88% газа и 70% нефти России. В Сибири вырабатывается 33% электроэнергии страны, при этом 38% производится угольными электростанциями (рис. 3); для сравнения: в России уголь обеспечил только 14%

⁷ К мегарегиону Сибирь могут быть отнесены 24 субъекта РФ, а именно: Ханты-Мансийский автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ, Тюменская область, Республика Алтай, Республика Бурятия, Республика Тыва, Республика Хакасия, Алтайский край, Забайкальский край, Красноярский край, Иркутская область, Кемеровская область, Новосибирская область, Омская область, Томская область, Республика Саха (Якутия), Камчатский край, Приморский край, Хабаровский край, Амурская область, Магаданская область, Сахалинская область, Еврейская автономная область, Чукотский автономный округ.

электроэнергии в 2017 г. Прогноз Минэнерго РФ спроса на электроэнергию с 2018 по 2024 гг. показывает, что самые высокие темпы роста энергопотребления ожидаются именно в мегарегионе Сибирь: 2,0% ежегодного роста против 1,22% в среднем по России.

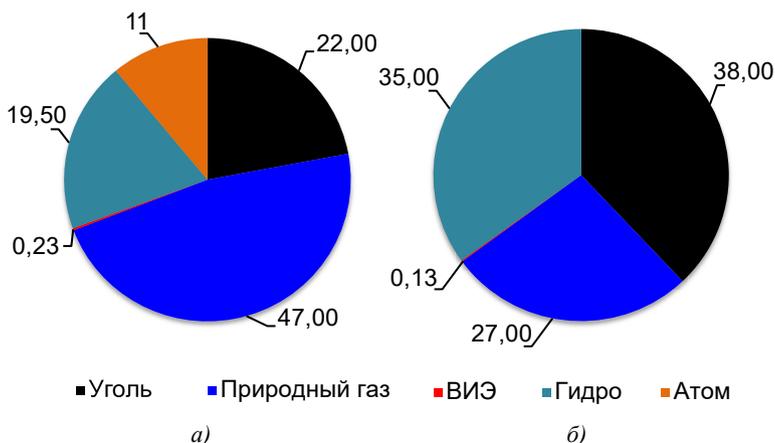


Рис. 3. Структура установленной мощности электростанций в России (а) и Сибири (б) в 2017 г. (%)

Сибирь богата не только энергией, но и природными ресурсами. Россия имеет самые большие лесные массивы в мире (8092 тыс. км²), 90% которых расположены в Сибири. Водные ресурсы России составляют 10% мирового речного стока (2-е место в мире после Бразилии), из которых более 90% приходится на Сибирь, что делает эту территорию перспективной в условиях вероятного «водного голода». Сибирь неразрывно связана с Арктикой, где происходит самое интенсивное изменение глобального климата. Все это придает особую значимость уникальной природе мегарегиона при разработке эффективной стратегии России в ситуации изменения климата.

Итак, обзор энергетических концепций демонстрирует рост противоречий во взглядах экспертного сообщества на перспективы развития традиционной и возобновляемой энергетики

ки в новых условиях. Выделение трех кластеров концепций позволяет определить факторы, которые задают современные принципы оценки перспективных источников электрогенерации – это *достаточность ресурсов, доступность электроэнергии, экологичность, инновационность и управляемость*. Теоретические положения соотнесены с концептуальным пониманием Сибири, представления о которой также носят весьма разнообразный характер. Рассмотрение Сибири как мега-региона привносит новые интерпретации и сравнительные оценки противоречивой энергетической динамики, которая во многом определяет энергетическую политику России. Реализация сравнительных преимуществ того или иного источника энергии в Сибири способна изменить комбинацию традиционной и возобновляемой энергетики в стране и тем самым обеспечить эффективный ответ России на глобальные вызовы новой индустриальной революции, цифровизации энергетики и изменения климата.

ГЛАВА 2

МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА ВЫГОД И ИЗДЕРЖЕК

Любой источник энергии имеет определенные преимущества и недостатки для общества, и методологическую сложность представляет выявление, соизмерение и оценка экономических и социальных последствий использования традиционных и возобновляемых источников энергии, которые различаются не только количественными, но и качественными характеристиками. Для решения проблемы энергетического выбора предлагается методология анализа выгод и издержек, которая считается в экономических и социальных науках «золотым стандартом» при проведении сравнительной оценки разных вариантов инвестиционных проектов, государственных программ и общественных инициатив. Разработанная методология является продолжением совершенствования метода выгод и издержек, а оригинальность подхода состоит в сочетании трех уровней оценки: количественного, качественного и ценностного – применительно к энергетической сфере исследований.

Метод анализа выгод и издержек имеет разнообразные интерпретации и сферы применения. При высшей степени обобщения он выступает метаметодом и является синтезом методов при определении 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 [1].

Теоретические основы метода были заложены в начале 1950-х гг., когда происходило становление рационального капитализма (*rational capitalism*), концептуально обоснованного в начале XX в. *М. Вебером* [2], обратившим внимание на преобладание в обществе *расчетливости и количественного подхода*: фирмы все чаще стали прибегать к помощи специальных счетоводов и квалифицированных работников; деятельность государственной бюрократии стала более предсказуемой и рациональной. Тренд на расчет и последовательность действий был развит *Ф. Рамсеем* в концепции рационального выбора с учетом субъективных предпочтений и индивидуальных полезностей [3]. 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. Эти положения противоречат предложенной в XIX в. *И. Бентамом* трактовке понятий «выгоды» и «издержки» как способности объекта производить «*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*» [4]. С тех пор, естественно, методология и методики были значительно усовершенствованы в целях более точного измерения, расчета и монетизированной оценки издержек и выгод реализации проектов и конкретных программ, прежде всего в государственном секторе экономики [5].

Востребованность этого подхода в сфере энергетических исследований обусловлена тремя важными обстоятельствами.

Во-первых, рыночные цены на электроэнергию не учитывают такие косвенные последствия ее производства, как ухудшение здоровья населения, эмиссия мелкодисперсных вредных веществ, загрязнение водных ресурсов, эрозия почв и т. д. Цены в энергетике в значительной степени субсидируются за счет предоставления льготных налоговых режимов и других преференций. Новая волна субсидий в энергетике связана с распространением ВИЭ-генерации. Все это искажает подлинные выгоды и издержки выработки электроэнергии.

Во-вторых, целый ряд важных факторов энергетического выбора имеет некалькулируемую качественную природу, их трудно количественно измерить и монетизировать в рубли. Источники энергии, как показывает опыт их эксплуатации, трансформируют структуру социальных отношений. Изменения происходят в системе организации труда (количество рабочих мест, режим работы), подготовке кадров (уровень образования, повышение квалификации), социальной коммуникации (экологическое движение, профсоюзы, группы лоббирования интересов энергокомпаний и др.), освоении пространства (урбанизация или дезурбанизация). Эти и другие социоэкономические факторы (например, повышение чувствительности энергосистемы к кибератакам) могут снижать выигрыши или повышать риски использования того или иного источника энергии.

В-третьих, действительный энергетический выбор осуществляется не только согласно ключевому критерию экономической науки – экономической эффективности (то есть превышению экономических выгод над издержками), но и под воздействием таких важных для общества детерминант, как жизнеспособность биосферы, социальная стабильность, справедливость. Обзор международных работ 2005–2014 гг. в области экономической оценки [6] позволяет сделать вывод, что сравнительные оценки во многом зависят от экономических установок и стратегических ориентаций основных участников, вовлеченных в процесс выбора приоритетов (государства, энергокомпаний, НКО и др.). В зависимости от поставленной це-

ли – экономической эффективности, доходов госбюджета, прибыльности энергобизнеса, достижения общего блага – меняется значимость оценок выгод и издержек использования того или иного источника электроэнергии.

Таким образом, предлагаемая методология анализа выгод и издержек позволяет в результате синтеза монетарных, простых метрических и качественных оценок сформировать агрегированное оценочное суждение в отношении использования доминирующих в мегарегионе Сибирь традиционных источников выработки электроэнергии – угля и природного газа – и перспективных возобновляемых источников – энергии солнца и ветра. В целях выработки достоверной комплексной оценки выгод и издержек при использовании двух типов энергии в контексте мегарегиона Сибирь разработан аналитический конструкт для сравнительного анализа по пяти параметрам: *доступности, достаточности, экологичности, инновационности, управляемости.*

АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНСТРУКТ

На современном этапе развития энергетики нарастают различия по указанным пяти параметрам между традиционными и возобновляемыми источниками энергии, которые хотя и не перешли в фазу явного противостояния, но находятся на стадии латентных противоречий. Эти противоречия обусловлены принципиальными различиями сущностных объективных характеристик этих двух типов энергии.

Так, для обеспечения *достаточности ископаемого топлива* требуется еще глубже «погрузиться» в недра, а возобновляемая энергетика, наоборот, стремится «выйти на поверхность», навстречу солнцу и ветру. По параметру *доступности* традиционные электростанции интегрированы в уже имеющиеся централизованные электросети и извлекают экономию при масштабном непрерывном производстве электроэнергии и тепла. Объекты ВИЭ, напротив, требуют создания нового типа электросетей – децентрализованных – и пытаются войти на энергорынок, который еще не готов к прерывистому отпуску

электроэнергии, за счет радикального снижения стоимости посредством наращивания инвестиций и эффекта «кривых обучения». По параметру *экологичности* возобновляемая энергия является «чистой», так как в процессе производства электроэнергии не происходит эмиссии вредных веществ, а углеводороды, особенно уголь, напротив, обозначены как самый «грязный» источник выработки электроэнергии. По параметру *инновационности* возобновляемая энергетика представляет прорывные инновации, то есть изобретения, которые «изменяют энергетическую парадигму», в то время как традиционная энергетика за счет инкрементальных инноваций «изменяет контекст энергетики», как это произошло при внедрении высокоэффективных газовых турбин в 1990-е гг. и в ходе сланцевой революции в 2000-е гг. Противоречия между этими источниками энергии проявляются и по параметру *управляемости*: использование ископаемого топлива организовано в иерархические и централизованные системы, а ВИЭ-генерация, напротив, руководствуется принципами диверсификации, децентрализации и сетевыми подходами с участием некоммерческих организаций и филантропов.

Аналитический конструкт для сравнения типов энергии сформирован на основе трех методологических принципов.

1. *Принцип противоположности*, то есть сравнение на контрапункте двух источников энергии – традиционной и возобновляемой – в едином социоэкономическом контексте Сибири, по пяти параметрам.

2. *Принцип внутренней противоречивости* современной энергетики, когда по какому-либо параметру позитивные характеристики определенного источника энергии могут переходить в отрицательные аспекты.

3. *Принцип выгод и издержек*, то есть сравнение каждого из двух типов энергетики согласно каждому из конкретных параметров анализа и положительным или отрицательным последствиям их использования.

Итак, сравнительный анализ традиционных и возобновляемых источников производства электроэнергии предлагается провести по пяти параметрам.

Параметр достаточности подразумевает обеспеченность процесса производства электроэнергии необходимыми ресурсами: первичной энергией, базовыми и редкоземельными металлами и минералами, землей, водой и квалифицированной рабочей силой. Чем больше необходимых и разнообразных ресурсов, тем более достаточным является производство электроэнергии. Достаточность ресурсов не только определяет сравнительные преимущества того или иного источника энергии, но и может служить причиной масштабных социально-экономических изменений в обществе.

Векторы сравнительного анализа по этому параметру:

- добыча и доставка ископаемого топлива,
- наличие технического потенциала возобновляемой энергии,
- использование жизненно важных ресурсов – воды и земли,
- металлы и минералы,
- рабочая сила.

Параметр доступности трактуется как уровень возможности использования электроэнергии благодаря наличию электросетевой инфраструктуры и приемлемости цен для общества. Чем легче, быстрее и дешевле «подключиться и работать» (plug and play), тем доступнее источник энергии.

Векторы сравнительного анализа по этому параметру:

- энергетическая инфраструктура (электросети),
- сетевые издержки,
- субсидии,
- негативные внешние эффекты,
- разрыв между потребительской ценой и полноценной стоимостью электроэнергии.

Параметр экологичности подразумевает степень воздействия на состояние окружающей среды, здоровье населения и изменение климата в результате производства электроэнергии. Чем меньше ущерб для окружающей среды и здоровья населения, тем более экологичными считаются источники энергии.

Векторы сравнительного анализа по параметру:

- эмиссия вредных веществ и здоровье населения,
- травматизм на производстве,

- деградация окружающей среды,
- изменения климата,
- энергетическая просвещенность и восприятие обществом экологических проблем.

Параметр инновационности понимается как способность создавать новые процессы выработки электроэнергии посредством использования кардинально новых продуктов и технологий, полученных в результате исследований и разработок (ИР), осуществляемых в контексте новой индустриальной революции и цифровой экономики. Как правило, чем выше расходы на ИР и внедрение технологических инноваций, тем более инновационным представляется источник энергии.

Векторы сравнительного анализа по параметру:

- расходы на ИР,
- патентная активность,
- исследовательская инфраструктура и наука,
- уровень квалификации рабочей силы, затраты на повышение квалификации и переподготовку.

Параметр управляемости раскрывается в способности энергетических процессов быстро реагировать на действия, направленные на достижение наибольших чистых выгод в количественном и качественном отношениях, со стороны государственных, корпоративных и некоммерческих структур. Чем больше предсказуемости, маневренности, гибкости, быстроты реагирования в ответах на появляющиеся вызовы и чем выше уровень выгод для общества в действиях субъектов, тем более управляемым считается тот или иной источник производства электроэнергии.

Векторы сравнительного анализа по параметру:

- централизованные, иерархические формы и плоскостные сетевые модели управления энергокомпаниями,
- участие третьего сектора экономики, то есть некоммерческих организаций, ассоциаций, профсоюзов, филантропов и др.,
- активность филантропической деятельности и вовлеченность в международные кооперации,

- геополитические последствия и бюджетные эффекты для государства.

Анализ выгод и издержек выбран в качестве основного метода для выявления, измерения и оценки положительных и отрицательных характеристик источников энергии по пяти параметрам сравнительной оценки.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

В типичном *количественном анализе выгод и издержек* многофакторная энергетическая проблема сводится только к одному измерению в монетарной стоимости: выгоды определяются методом «готовности заплатить» (willingness to pay), например за предотвращение выбросов одной тонны мелкодисперсной пыли или парниковых газов; 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 (выгоды за минусом издержек). Предпочтение отдается альтернативе с наибольшими чистыми выгодами; на практике это сводится к максимизации хорошо известного показателя – чистого дисконтированного дохода.

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

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

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

В современном российском экономическом дискурсе элементы количественной версии анализа выгод и издержек широко используются для оценки финансовой (коммерческой) и экономической (общественной) эффективности [7; 8; 9; 10]. Некоторые положения по оценке экономической эффективности содержатся в разработках Минэкономразвития РФ [11] и Счетной палаты РФ [12].

В сфере энергетических исследований этот подход сводится к оценке полной стоимости производства одного киловатт-часа электроэнергии. Рассмотрим подробно четыре экономических эффекта, важных для монетизированной оценки полной стоимости электроэнергии: 1) экологические экстерналии; 2) выбросы CO₂; 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, считающийся антропоцентричным методом, и влияние на окружающий мир оценивается только с точки зрения готовности общества платить за биоразнообразие. Но ряд экспертов [13; 14] утверждает, что природа обладает собственными «естественными правами» и объективной ценностью.

Для монетизированной оценки стоимости загрязнения используются два способа. Метод гедонистического ценообразования сопоставляет рыночные цены: например, в Новосибирске цена 1 кв. м. жилья вблизи ТЭЦ-5¹, сжигающей бурый уголь, составляет 62 тыс. руб./м², а в лесопарковой зоне города – 89 тыс. руб./м². Но экология – это только один из ценообразующих факторов, который покупатель может не принимать во внимание при приобретении жилья, будучи мало информирован о взаимосвязи уровня загрязнения воздуха и здоровья населения. Более востребованным является второй способ – построение функции

¹ Согласно данным мониторинга компании «ТИОН», 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.

ущерба, которая показывает корреляцию между единицами вредных выбросов и смертностью или числом респираторных заболеваний. Затем эти числовые зависимости умножаются на стоимость среднестатистической жизни (VSL). Для определения VSL применяются *условные* методы оценивания (contingent valuation study), которые на основе социологических опросов демонстрируют персональные (групповые) самооценки при реализации гипотетических сценарных *условий*: готовности социальной группы заплатить за возможность снижения риска 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 447 658 млн долл., или 12,5 % ВВП [15]. 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 россиянина составляет 3,269 млн долл. (в ценах 2015 г.)². Однако российские экономисты считают, что это вредит здоровью намного меньше: *«в 2010 г. такой ущерб от загрязнения воздуха вредными веществами составил в России – 6% [ВВП]»* [16]. Подобные различия не редкость в практике применения метода анализа выгод и издержек, что указывает на недостатки монетизированного подхода. Вопросы для определения VSL носят гипотетический и абстрактный характер, а ответы на них часто эмоционально

² *Среднестатистическая стоимость жизни (VSL) в 3,269 млн руб. не означает прямых оценок 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 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.*

окрашены и противоречивы, поэтому условные оценки могут сильно различаться и быть не вполне убедительными. Как показано в социологическом исследовании [17], спрос на самое популярное в России «гуманитарное» благо – «увеличение здоровых лет жизни россиян всех поколений» – обладает самой высокой внутригрупповой неоднородностью выбора, то есть между разными социальными группами наблюдается высокий разброс в одобряемом размере финансирования этого блага. Более того, при прочих равных, согласно «эффекту обладания», стоимость утраты имеющегося блага в виде чистого воздуха оцениваетсякратно 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 условиях отсутствия свободного рынка торговли водными ресурсами их полноценная стоимость определяется различными 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 стоимость, например медианное значение для ТЭЦ составляет 40,18 долл. за использование 1,2 млн л пресной воды [18]. Стоимость водных ресурсов зависит от природно-климатических факторов как со стороны «предложения» (обилие осадков, снежного покрова), так и «спроса» (ведение хозяйства в засушливых районах, сезонное потребление, технологические изменения).

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

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

Научно обоснованные оценки эмиссии одной тонны CO₂ представлены в работах The Stern Review [19] и The Social Cost of Carbon [20]. Несмотря на то что последствия загрязнения окружающей среды и изменения климата относятся к негативным экстерналиям, подходы к их оценке отличаются. *Во-первых*, если при оценке стоимости загрязнения воздуха важна площадь распространения выбросов и численность жителей в регионе, то при анализе последствий изменения климата акцент делается только на эмиссии парниковых газов. *Во-вторых*, 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 CO₂ была по-разному рассчитана Департаментом энергетики США при администрациях Б. Обамы и Д. Трампа. Последняя по времени оценка «социальной стоимости CO₂» привела к снижению стоимости тонны CO₂ 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. Нобелевский лауреат *У. Нордхаус* раскритиковал доклад, выполненный под руководством британского исследователя *Н. Стерна*, за низкий уровень ставки дисконтирования, которая «*гиперболизирует эффекты в отдаленной перспективе*», и при более высоком дисконте драматические последствия изменения климата исчезают [21].

Для России оценки стоимости эмиссии двуокиси углерода существенно различаются. Минэнерго при формировании госпрограмм развития отрасли в 2013 г. исходило из 400 руб. за одну тонну CO₂ [22], Центр энергетических исследований Сколково при сценарных прогнозах в 2019 г. использовал 20 долл. за тонну CO₂ [23], а ЦЭНЭФ указывает на возможность стоимости

в 100 долл. за тонну CO₂ [24]. В зарубежном дискурсе для России также предлагается несколько оценок: МВФ использует в своих расчетах 40 долл. за тонну CO₂ [25], а У. Нордхаус в обновленных оценках – 0,91 долл. за тонну CO₂ (в ценах 2010 г.) [26]. Дисперсия оценок объясняется сложностью прогнозирования выгод от снижения эмиссии CO₂, 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, устранить проблемы «углеродной утечки», экономисты в последнее время рекомендуют установить на CO₂ глобальный налог, одинаковый для всех стран. Согласно оценкам МВФ, при установлении глобального налога в размере 35 долл. за тонну налоговые доходы России составят 2,7% ВВП [25].

Субсидии и теневые цены. Субсидии в виде прямых финансовых ассигнований или налоговых льгот в значительной степени 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, с точки зрения анализа выгод и издержек, при экономической оценке стоимости электроэнергии субсидии из анализа следует исключать.

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 цен³, 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)

³ Мировые цены не считаются менее искаженными, но глобальные рынки позволяют реализовать дополнительные возможности от свободной торговли, поэтому с точки зрения методологии анализа выгод и издержек мировые цены показывают наилучший способ использования ограниченных ресурсов.

и трудовые ресурсы. Значение первого компонента обнуляется, для второго устанавливается коэффициент соотношения мировых и контрактных цен на основе структурных пропорций межотраслевого баланса⁴ или прямых экспертных оценок. 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 вводится понижающий коэффициент.

Ставка дисконтирования. Согласно временной стоимости денег, чем больше мы ценим настоящее, тем больше мы обесцениваем будущие последствия, и явная экономия, полученная сейчас, ценится нынешним поколением, как правило, выше, нежели потенциальный ущерб, который возможен через несколько десятков лет и 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% [27] или даже 17,5% [28]. 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

⁴ 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 электроэнергетики».

инвестированы и будут приносить доход, в то время как будущие деньги этого не могут. Чем более члены общества неводержанны в текущем потреблении, чем значительнее их долговая нагрузка или пессимизм относительно ожидаемого заработка, тем с большим «дисконтом» они готовы «обменять» будущие поступления денежных средств на текущие и тем выше ставка дисконтирования, при которой происходит обесценивание ожидаемых выгод и затрат. Однако в условиях возможных масштабных экологических бедствий, опасных погодных катастроф и эпидемий сама перспектива текущего вложения даже в безрисковые финансовые инструменты (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 [29].

Преимущество монетизированных оценок состоит в том, что, благодаря применению различных методик, возможно привести к соизмеримому виду в монетарном выражении разнообразные эффекты использования традиционных и возобновляемых источников энергии. Как справедливо отмечает *Д. Малган*, «показатели стоимости полезны лишь в той степени, в которой способствуют переговорам и дискуссиям о том, что должно быть сделано. Их полезность заключается в том, что денежные показатели извлекают на поверхность различные варианты выбора и допустимых компромиссов» [30].

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

Качественный анализ выгод и издержек направлен на то, чтобы уйти от одномерного монетарного представления об эффектах, хотя демаркация количественного и качественного анализа весьма условна. 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 считается *качественной* версией

метода. Однако популярность методологии в других общественных науках (социологии, политэкономии, политологии) 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 становится все более востребованным 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]”*» [31]. Масштабные и разноуровневые эффекты, например пользу от защищенности и надежности всей энергосистемы, сохранения биоразнообразия и красоты природного ландшафта, сложно соотнести с конкретными энергообъектами и выразить в денежном эквиваленте. 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, 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 перспективам 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 (ЕРОВ)⁵, 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.

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 принятия решений, согласно которым одному человеку, вне зависимости от уровня богатства и дохода, принадлежит один голос.

Для качественного анализа используются методы градаций, ранжирования, рейтингования, бенчмаркинга, простого соотношения показателей, чтобы сопоставить характеристики в цифровом и вербальном выражении, например уровень загрязнения атмосферного воздуха⁶ и восприятие жителями города качества жизни⁷.

В дополнение к цифровой метрике проводятся социологические интервью, экспертные опросы, анкетирование, анализ текстов для выявления положительных и отрицательных аспектов использования разных типов энергии на основе субъективных

⁵ Индекс энергетической бедности в странах ЕС.

URL: <https://www.energy poverty.eu/indicator?primaryId=1467>

⁶ Например, по данным мониторинга «Западно-Сибирского УГМС», загрязнение окружающей среды в районах крупных городов Сибири подразделяется на четыре уровня: низкий, повышенный, высокий, очень высокий.

⁷ Например, индекс качества городской среды оценивает (в баллах) параметр «Экология и здоровье» в рамках национального проекта «Жилье и городская среда».

представлений, отношений, убеждений, взглядов репрезентативных групп. Представляя основы новой теории «нарративной экономики», *Р. Шиллер* подчеркивает важность методов дескрипции, описания историй, проведения полуструктурированных интервью для коллекции качественных данных [32]. «Умение слушать как метод качественного исследования» позволяет выявить понимание респондентов и систематизировать их суждения и истории в текстуальном формате в специальных базах данных⁸. Эти методы широко используются и в энергетических исследованиях [33].

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.

ЦЕННОСТНЫЙ АНАЛИЗ

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, счастьем, справедливости, равенству, общему благу. И наоборот, неэффективные решения могут способствовать реализации стратегически важных задач борьбы с бедностью, устойчивому развитию общества [34; 35]. *Л. фон Мизес* подчеркивал, что любые «издержки суть феномен определения ценности», поэтому субъективные установки и убеждения оказывают влияние на определение издержек производства продукта и его пользы для экономических агентов [36]. В отношении энергетического выбора влиятельный эксперт *Т. Нордхаус*, племянник и однофамилец нобелевского лауреата, напоминает, что «наши представ-

⁸ Например, подобные базы текстуальных данных созданы в *University of Chicago General Social Survey* и *University of Michigan Institute for Social Research*.

ления о будущем энергетики практически всегда являются проекцией наших ценностей <...> Идея о том, что мы можем наполнить энергией весь мир за счет локальной децентрализованной возобновляемой энергетики, родилась из более широкого видения того, как общество могло бы быть трансформировано в более гуманное, управляемое и равноправное место для жизни» [37]. Если технологическое знание о положительных и отрицательных характеристиках того или иного источника энергии носит, как правило, общий объективный характер, то экономические оценки и социальные отношения способны изменить значимость тех или иных параметров сравнительного анализа в зависимости от конкретной страны или региона. Как отмечает нобелевский лауреат Дж. Сакс, «ученые и инженеры дали нам техническое знание, как перейти от «грязной» к «чистой» энергии. Но нам необходима практическая мудрость, чтобы перенаправить политику и экономику на общее благо, каковым является энергетика» [38]. Для этого требуется метод выгод и издержек, более комплексный и интегративный, благодаря введению ценностного подхода.

Относительно короткая для науки полувековая история применения метода анализа выгод и издержек показывает, что этот подход привел к кардинальным улучшениям в обосновании оценочных суждений, 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» [39].

Дальнейшее совершенствование метода видится в возвращении к базисным основам нормативного подхода. Несмотря на разные трактовки и подходы, количественный и качественный анализ выгод и издержек относится к экономической теории оценки, которая «предполагает формирование суждений об уровне, значимости, достоверности и пользе того, что оценивается» [40], то есть задает общую логику оценки. 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.

Ценностный анализ является «*держателем стандартов любого оценочного суждения*» [41]. Как отмечает А. Сен, происходит трансформация роли ценностей в научных исследованиях: отношение меняется от их неприемлемости с точки зрения позитивистского подхода до рассмотрения субъективных ориентаций как главных детерминант экономического выбора [42]. Например, предпринимаются попытки учесть опросы самооценки восприятия счастья как базовой ценности при проведении анализа выгод и издержек, хотя при этом обнаружены и методологические сложности, и методические ограничения [43; 44].

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

В традициях экономического анализа часто понятие «общественные блага» [45; 46] соотносится с категорией (преимущественно философского и социального дискурсов) «общее благо» [47; 48]. Несмотря на схожесть коннотаций этих двух понятий, их следует различать. *Общественные блага* характеризуются неисключаемостью и несоперничеством в их потреблении, наделяются потребительскими свойствами и анализируются с точки зрения теории потребительского поведения и степени удовлетворенности потребителя. *Общее благо*, напротив, представляет собой мировоззренческое понимание общих и базовых ценностей, которые разделяются значительной группой 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; *во-вторых*, оно не может быть утилизировано одними членами общества за счет других. Например, таежные массивы Сибири, будучи общим благом, не изменяют своих качеств при трансляции своих свойств для индивида или большого числа людей, а парки и скверы, будучи благами общественными, 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 благ⁹, социальных связей и совместных мест проживания людей, что делает экономических субъектов сопричастными к решению проблем энергоэффективного поведения, коллективного иммунитета и здоровья, загрязнения окружающей среды. В то же время содержательное наполнение концепции зависит как от личных предпочтений, так и от изначального положения в обществе экономических субъектов. Практическая сложность его определения делает *«общее благо скорее достижением, а не социальным фактом»* [49].

Представление энергетики как фактора достижения общего блага акцентирует внимание не на глубине и всесторонности философского и социального осмысления общего блага, а на анализе средств его достижения. То есть показывает, насколько использование традиционных и возобновляемых источников энергии в принципе желательно с точки зрения субъекта, который 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 завесу невежества»*, по мнению Ж. Тироля, сближает индивидуальные и коллективные интересы и способствует продвижению общего блага, в том числе за счет правильного энергетического выбора [50].

⁹ Удовлетворение от потребления этих благ невозможно без наличия второй стороны (например, общение, коммуникация, юмор и т. д.)

Такой подход расширяет представления об энергетике только как о социальной необходимости *достаточности энергоресурсов и доступности электроэнергии* для населения [51]. Это видение глубже понимания использования источников энергии с позиции *экологического императива*, обращающей внимание на последствия загрязнения окружающей среды и изменения климата.

Для достижения общего блага особую значимость приобретают такие параметры энергетики, как *инновационное развитие и рациональное управление*. Рост благосостояния общества сейчас трудно представить без инноваций, которые, согласно *М. Мацукато*, как правило, «создаются коллективно [за счет активной господдержки], производятся совместно и следовательно, выгоды должны делиться коллективно» [52]. Таким образом, стратегически ориентированные инновации создают стоимость для общества за счет производства нового знания, разнообразия экономики, повышения уровня образованности и креативности населения, что обеспечивает вклад в создание общего блага. Энергетическая отрасль, будучи высокотехнологической индустрией, способна внести значительный вклад в этот процесс.

Рациональное управление также способствует достижению общего блага. Диверсификация энергобаланса усиливает защищенность общества от волатильности сырьевых рынков и внешних угроз, проактивная политика в сфере экологии и климата создает возможности гармоничного сосуществования людей и природы. Сетевые формы управления и развитие третьего сектора экономики помогают просвещать общество и продвигать важные убеждения и ценности, связанные с правильным энергетическим выбором.

Метаанализ выгод и издержек представляет собой синтез количественного, качественного и ценностного подходов в экономическом анализе многофакторных и междисциплинарных феноменов. Это позволяет сохранить достоинства строгих метрических оценок, таких как себестоимость производства электроэнергии, рентабельность нефтегазовых активов, других показателей эффективности и точных статистических данных.

В то же время он расширяет возможности для анализа различного спектра качественных характеристик, таких как восприятие определенными социальными группами проблем изменения климата, технологическая отсталость отрасли, негибкость и консерватизм управления энергообъектами.

Метаанализ выгод и издержек воплощается в нескольких итерациях логических рассуждений «если-тогда», когда утверждение «если» описывает комбинацию аксиоматических суждений и практических целей, которые задают значимость параметрам сравнения, а утверждение «тогда» описывает положительные и отрицательные эффекты и предлагает интегральное оценочное суждение или альтернативы. В научной литературе приводятся различные процедуры проведения корректного оценивания [53], но они в большей степени содержат дескриптивные предписания, нежели изложение канонического, строго формального подхода. Выведение интегральной оценки может осуществляться в двух направлениях:

1) определение, исходящее из категориального философско-социологического подхода, что представляют собой такие универсальные и конкретносоциальные ценности, как «общее благо», «польза», «справедливость», «равенство». Эти ценности соотносятся с общими экономическими трендами в их манифестации в социоэкономическом контексте, а затем подтверждаются или опровергаются эмпирическими количественными и качественными данными;

2) восхождение «снизу-вверх», основанное на количественных метриках; представления о ценностях и субъективной значимости того или иного фактора упрощаются и низводятся до уровня монетарного анализа, например проблема справедливости между текущим и будущим поколениями рассматривается посредством корректировки ставки дисконтирования, а вопросы неравенства учитываются с помощью распределительного анализа выгод и издержек между разными экономическими субъектами.

Методология исследования представлена на рисунке, где по двум источникам энергии – традиционным и возобновляе-

мым – сначала измеряются выгоды и издержки в количественном и качественном формате по пяти параметрам, чтобы затем придать им весомость в соответствии с тремя ценностными установками: пользой для государственной политики, выгодностью для энергобизнеса, внесением вклада в создание общего блага. В заключение формируются три альтернативных оценочных суждения о том, насколько использование того или иного источника энергии дает больше суммарных выгод для эффективного функционирования государства, или для прибыльности деятельности энергокомпаний, или же для достижения общего блага.



Рис. 1. Методология анализа выгод и издержек использования традиционных и возобновляемых источников энергии по пяти параметрам

Предлагаемая методология конкретизирована на примере мегарегиона Сибирь, который обладает как традиционными, так и возобновляемыми источниками энергии, а также активами, значимыми для всего общества: сибирской тайгой, пресной водой, биоразнообразием животного мира, пространством для жизни. На этом примере можно изучать противоречивую энергетическую динамику, а также исследовать трансформацию выгод и издержек не только для реализации целей государства и частных компаний, но и для достижения общего блага.

ГЛАВА 3 ДОСТАТОЧНОСТЬ РЕСУРСОВ

Достаточность ресурсов не только определяет сравнительные преимущества того или иного источника энергии, но и служит причиной масштабных социально-экономических изменений в обществе. Как отмечает *И. Моррис*, «на личном уровне изобилие энергии ничего не определяло. Однако на макроуровне от уровня извлечения энергии зависело почти все» [1, с. 384]. Принцип достаточности является базовым параметром сравнения источников выработки электроэнергии, ведь «подобно другим живым существам, люди в первую очередь ищут наиболее удобные и ближайшие ресурсы для эксплуатации» [2]. Современная интерпретация обеспеченности ресурсами имеет более широкое толкование и, кроме привычного сравнительного анализа запасов месторождений и способов добычи, содержит такие параметры, как наличие инфраструктуры для доставки ископаемого топлива, производство металлов и минералов для создания энергооборудования, использование жизненно важных ресурсов (вода, земля, минералы), квалифицированный человеческий ресурс для обслуживания энергообъектов.

ПЕРВИЧНАЯ ЭНЕРГИЯ И ДОСТАВКА

Углеводороды обеспечивают большую часть электроэнергии, потребляемой обществом. Еще в 1965 г. известные российские исследователи *И. В. Лада* и *О. Н. Писаржевский* обратили внимание на то, что «в 1920-х годах было точно подсчитано: известных запасов нефти (учитывая огромные темпы роста добычи) хватит не далее, чем до 2000 года, угля – до 2100 года... С годами обнаруживались все новые и новые запасы угля и нефти... Все это отодвигало дату наступления “энергетического голода” дальше и дальше...» [3, с. 77]. Оценки объема разведанных мировых запасов углеводородов постоянно пересматриваются, и расчеты экспертов показывают, что запасов хватит на несколько поколений [4].

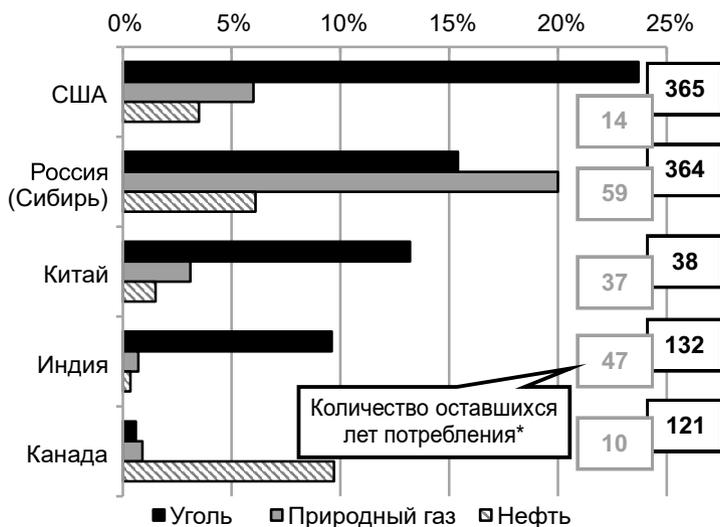


Рис. 1. Распределение разведанных запасов угля, нефти и газа

Примечание: * при сохранении объемов текущего потребления на уровне 2018 г.

Источник: составлено на основе BP Statistics, 2019.

В Сибири углеводороды обеспечивали большую часть энергии, потребляемой экономикой на всем протяжении развития мегарегиона. Ранняя стадия индустриализации Сибири (конец XIX в. – начало XX в.) была связана с углем. *«Каменный уголь – это хлеб промышленности, и этим хлебом Западная Сибирь богата не меньше, чем зерновым»* [5]. Изобилие угля сохранило возобновляемый источник – дерево – и уберегло от деградации сибирскую тайгу (так уголь спас и леса Великобритании в эпоху первой промышленной революции). Доминирование угля в период интенсивной индустриализации Сибири (1930–1950) прекратилось с ростом строительства гигантских гидроэлектростанций и добычей нефти и газа на обнаруженных в 1960–80-е гг. крупных месторождениях. Из источников энергии, обслуживающих нужды промышленности, углеводороды превратились в самостоятельный сектор экономики, который, благодаря их экспорту и внутреннему потреблению, до сих пор дает более 30% добавленной стоимости в мегарегионе (35,7% ВРП мегарегиона в 2017 г.).

В мире Сибирь считается самым обеспеченным ископаемыми ресурсами мегарегионом. Его доля от мировых запасов нефти составляет 8,1%, газа – 44,2%, угля – 19%, свинца, цинка, никеля и железа 6–30% [6]. Происходит постоянное воспроизводство ресурсной базы за счет новых открытий: в 2010–2016 гг. здесь открыто 325 углеводородных месторождений. Изобилие запасов конвертируется в важные экономические выгоды – одну из самых низких в мире себестоимость добычи углеводородов: 0,8–1,7 тыс. руб. за 1 т угля [7]; 6–15 долл. за 1 баррель нефти (2,5–6 тыс. руб. за 1 т нефти) [8]; 2,85–7 долл. за 1 MBTU газа (6–15 руб. за 1 м³) [9].

Второй кластер выгод традиционной энергии связан с доставкой топлива до электростанций. Особенности транспортировки углеводородов предопределены их различным физическим состоянием: твердым (уголь); газообразным (природный газ) и жидким (нефть). Для доставки и хранения угля сформировалась самая развитая инфраструктура с большим количеством поставщиков и разнообразными железнодорожными,

морскими и автомобильными маршрутами. Природный газ обладает наибольшей степенью взаимозаменяемости, поэтому его эффективно используют для покрытия пиковых нагрузок энергопотребления и он легко замещает уголь или нефть в базовом режиме работы электростанции [10]. Нефть также обладает важным преимуществом: большей плотностью энергии по весу, чем уголь (40–44 МДж/кг и 10–28 МДж/кг, соответственно), а по объему – чем газ (37–39 МДж/л и 34–39 МДж/м³, соответственно)¹; поэтому в мировой торговле ей отдается предпочтение при транспортировке на большие расстояния. Это же свойство нефти позволяет не только использовать ее по прямому назначению, но и задействовать при производстве разнообразных товаров – от пластика до фармпродукции.

Физические свойства углеводородов являются также и причиной возникновения издержек их использования. Природный газ при ambientной температуре² наилучшим образом доставляется посредством трубопровода, но при этом необходимо поддерживать одинаковое давление, чтобы проталкивать газ вперед по трубе, и одинаковый минимальный объем прокачки, чтобы давление в трубе не падало. Это требует дополнительных инвестиций в компрессорные и газораспределительные станции и повышает невозвратные издержки³ в случае запуска конкурентами альтернативного маршрута. Гетерогенность угля (его калорийность варьируется от 12 (бурый уголь) до 33 (антрацит) МДж на 1 кг) ставит электростанции в зависимость от определенной марки, поэтому сложно, а зачастую невозможно переключить станцию на другой вид топлива [11].

¹ 1 л = 0,001 м³, следовательно, нефть по энергетической плотности превосходит газ в 1000 раз.

² Относительная температура, используемая при расчетах для транспортировки нефти и газа составляет 15 °C, согласно the ISO Standard Reference Conditions standard. Хотя природный газ может быть преобразован в более компактный формат – сжиженный газ, который доставляется при экстремально низких температурах.

³ Невозвратные издержки – это понесенные затраты, которые невозможно компенсировать в случае приостановки проекта даже после продажи по остаточной стоимости незавершенных активов.

79,3 Канско-Ачинский 40,4% от общих

54,6 Кузнецкий 27,8%

7,6 Иркутский 3,9%

7,0 Печорский 3,6%

6,5 Донецкий 3,3%

4,5 Южно-Якутский 2,3%

5,1 Минусинский 2,6%

31,6 Прочие 16,1%



Рис.2. Разведанные запасы угля в России по основным бассейнам (на 1 января 2016 г., млрд т)

- 5370 Уренгойское
- 4252 Бованенковское
- 3939 Штокмановское
- 3076 Астраханское
- 3057 Ямбургское
- 2274 Заполярное
- 1563 Ковыктинское
- 1349 Крузенштернское
- 1330 Харасавэйское
- 1003 Южно-Тамбейское
- 1000 Чайандинское
- 862 Северо-Тамбейское
- 847 Южно-Русское
- 814 Харампурское
- 645 Оренбургское
- 556 Медвежье



Рис. 3. Крупнейшие месторождения по запасам природного газа в России (на 1 января 2016 г., млрд м³)

В Сибири уголь из всех видов ископаемого топлива имеет наиболее развитую транспортную логистику. Масштабный инфраструктурный проект – строительство Транссибирской железной дороги (1891–1916) – во многом определил важность угля для энергетики мегарегиона. Изначально строительство железной дороги требовало локализации промышленного производства энергоемких конструкций и соответствующего обеспечения топливом и электроэнергией предприятий, что стало возможным после открытия новых месторождений угля и запуска первых электростанций [12]. Затем уголь из средства удовлетворения нужд промышленности превратился в ведущую отрасль, предъявляющую Транссибу дополнительный запрос на услуги по доставке угля на новые рынки. И сегодня уголь занимает ведущую позицию в грузообороте ОАО «РЖД»: в 2018 г. на перевозку угля пришлось 45% грузооборота. Уголь добывают 166 предприятий (57 шахт и 109 разрезов); для его транспортировки имеются разнообразные маршруты с использованием автомобильного, железнодорожного и морского транспорта; уголь удобно хранить, а строительство новых морских портов на Тихом океане обеспечивает больше половины его экспорта в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). Таким образом, выгоды использования угля в Сибири обусловлены объективными факторами: близостью угольных месторождений к Транссибирской магистрали, вдоль которой сконцентрированы потребители (население и промышленные предприятия), а также соседством с крупными экспортерами – странами АТР.

Сибирская газовая генерация не имеет столь развитой системы доставки топлива, как угольная. Логистика природного газа в России базируется на единой системе газоснабжения с конечным пунктом в с. Проскоково Кемеровской области, но, добывая более 70% российского природного газа, Сибирь имеет низкий уровень газификации (7%): почти в 10 раз ниже среднероссийского (65,3%) [13], что не позволяет обеспечить хранение объема топлива, требующегося для надежной работы электростанций. Для устойчивого перевода электростанции на газ, как правило, необходимо подключение к двум независи-

мым магистральным газопроводам, и это пока недоступно во многих регионах Сибири. Ремонты и аварии на газопроводах и компрессорных станциях приводят к дополнительным ограничениям поставок газа на электростанции, и если в европейской части России эта проблема решается благодаря многочисленным связям между газопроводами и системой подземных хранилищ газа, то в Сибири единственной возможностью избежать проблем в энергообеспечении потребителей остается использование угля. Например, аварийная остановка компрессорной станции на сахалинском месторождении Чайво в январе 2018 г. привела к тому, что в течение нескольких часов поставка газа на одну из ТЭЦ Комсомольска-на-Амуре была уменьшена на треть [14]. Подобные перебои (в том числе длительные) нередки на станциях Хабаровска, Владивостока, Южно-Сахалинска, и в этой ситуации уголь и мазут становятся «страховкой»: электростанции обычно держат запас, необходимый для работы в течение 45 суток.

Ситуация с недостаточностью природного газа в Сибири может измениться в лучшую сторону после реализации масштабного инфраструктурного проекта – строительства газопровода «Сила Сибири» общей протяженностью 4000 км и мощностью 61 млрд м³ природного газа в год [15]. Это не только увеличит экспорт газа в Китай (до 40 млрд м³ к 2030 г.), но и поднимет уровень газификации мегарегиона до 67%. Хотя проект «Сила Сибири» имеет разные сценарии реализации (рис. 4) и пока неясно, *«где прольется дождь выгод»*, первые положительные эффекты уже получены: благодаря южной ветке «Сила Сибири», на газ в Республике Алтай перешла уже 51 котельная, а к 2035 г. планируется увеличить общую протяженность газовых сетей с 38 км (2016 г.) до 112 км и газифицировать 12 тыс. домовладений [16].

Изобилие запасов углеводородов и развитие инфраструктуры в силу действия принципа внутренней противоречивости может привести к излишней достаточности, которая повлечет за собой дополнительные потери и издержки.

Во-первых, нынешнее изобилие углеводородов, дарованных Сибири природой, может потерять свою значимость в ре-

зультате новой промышленной революции и цифровизации энергетики. Доступность ресурсов, согласно прогнозам Глобального института McKinsey, значительно расширится, выйдя «за пределы сырьевого суперцикла» [17]; за счет геологического моделирования и обработки большого массива данных горнодобывающие компании смогут добраться до ранее нерентабельных месторождений. В работе Ю. А. Плакиткина и Л. С. Плакиткиной систематизированы технологические решения для угольной отрасли России [18]. По мнению авторов, на первый план выходят вопросы логистики и доставки топлива, а проблемы добычи можно решать с помощью проектов «Виртуальная шахта будущего» и «Виртуальный разрез будущего». Автоматизация добычи и роботизация процессов подготовки топлива повышают в разы производительность энергокомпаний.

Без инновационного рывка в сфере добычи углеводородов Сибирь может столкнуться в перспективе с *дефицитом ресурсов*. Согласно данным Министерства энергетики РФ и Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых, средняя доля рентабельных запасов составляет всего 65,1%, исходя из проинвентаризованных в 2019 г. 483 месторождений девяти крупнейших компаний и 126 месторождений независимых компаний [19]. Среди вновь открываемых в Сибири месторождений преобладают небогатые по запасам, не привлекательные ни для крупных добывающих компаний в связи с незначительным «эффектом масштаба», ни для небольших независимых фирм из-за трудности доступа к магистральным маршрутам транспортировки топлива [20; 21].

Во-вторых, из-за невысокой результативности геологоразведочных работ ресурсная база включает в себя значительную долю недостоверных запасов. Анализ Счетной палаты РФ показал, что за 2010–2016 гг. зафиксировано 13 799 тыс. т неподтвержденных запасов угля [22]. В целом намечается снижение геологической изученности территории Сибири: если в 2010 г. было подготовлено 20 паспортов перспективных для добычи углеводородов площадей, в границах которых были лицензированы 50 участков недр, то в 2015 г. был выдан и предоставлен

в пользование только один объект. Все это свидетельствует о снижении достоверности оценок ресурсной базы и трудностях с добычей угля и природного газа в мегарегионе.

В-третьих, развитая логистика ископаемого топлива сопровождается скрытыми издержками роста внутренних цен для населения Сибири. По транспортным коридорам качественные углеводороды выгоднее поставлять на экспорт, нежели на внутренний рынок, что влияет на разницу внешних и внутренних цен на энергоносители. Увеличение пропускной мощности дальневосточных портов и газопровода «Сила Сибири» облегчает экспорт каменного угля и природного газа в ущерб удовлетворению внутреннего спроса. Парадоксально, но в газодобывающих районах строятся новые угольные электростанции. Например, в Сахалинской области – районе добычи природного газа – запущена новая электростанция на буром угле (Сахалинская ГРЭС-2). В самом крупном городе Сибири – Новосибирске – мощная электростанция ТЭЦ-5 (1200 МВт) перешла в 2018 г. на бурый уголь вместо каменного, который подорожал из-за его востребованности в странах АТР. Рентабельность экспортного направления приводит к росту внутренних цен, делая качественные энергоносители менее доступными для местного населения.

В-четвертых, развитость инфраструктуры для углеводородов имеет еще один недостаток: высокие невозвратные издержки. Под текущие потребности азиатских рынков создается новая многомиллиардная инфраструктура. В 2017 г. через морские терминалы было отгружено 154,4 млн т угля (38% годовой добычи), и до 2030 г. планируется увеличить пропускную способность угольных терминалов до 230 млн т за счет реализации новых проектов на общую сумму 1 трлн руб. [23]. Эти инициативы могут привести к убыткам, если маршруты следования углеводородов окажутся не востребованными из-за краткосрочности «энергетической паузы», взятой азиатскими странами при переходе к новой энергетической парадигме.

Ключевой компонент новой энергетической парадигмы – отсутствие у возобновляемой энергии многих недостатков углеводородов, так как она обладает неисчерпаемым потенциалом и не требует топлива и инфраструктуры для достав-

ки до электростанций. Примечательно, что ежегодно поступает 174000 ТВт солнечной энергии, поэтому для удовлетворения годовой потребности всего мира в электроэнергии достаточно одного солнечного дня [24]. ВИЭ сконцентрированы в регионах, где проживает большая часть населения мира, и в бедных странах имеется значительный их потенциал, что важно при борьбе с нищетой и неравенством, так как первичная энергия для станций на ВИЭ бесплатна, не зависит от поставок топлива и изменений конъюнктуры сырьевых рынков.

В Сибири горизонтальная солнечная радиация в южных регионах составляет $3,8\text{--}4 \text{ Вт ч/м}^2$ в день, что сопоставимо с такими солнечными регионами России, как Крым и Оренбургская область [25]. Этот потенциал хорошо дополняется потенциалом энергии ветра, так как на высоте 100 м ветровой поток достигает плотности энергии $500\text{--}600 \text{ Вт/м}^2$ в регионах вблизи Северного Ледовитого океана и $900\text{--}1100 \text{ Вт/м}^2$ вблизи Тихого океана. Не случайно Сибирь как важный источник возобновляемой энергии включена в концепцию Глобальной энергетической системы, которая разрабатывается Китаем в проекте «Один пояс и один путь» [26; 27].

Показательно, что в 2019 г. в Сибири запущена самая передовая солнечная электростанция – Майминская СЭС (25 МВт) – с инновационными гетероструктурными солнечными модулями (рис. 5), которые эффективно работают в условиях рассеянного света и экстремальной температуры – важных характеристик сибирского климата. По словам ведущих специалистов компании, «инновационная технология позволяет увеличить срок эксплуатации электростанции до 30–40 лет (что сопоставимо со сроком службы угольных и газовых электростанций), а гетероструктурные ячейки имеют КПД 22–24% и толщину 90–130 микрон».

Несмотря на высокий потенциал возобновляемой энергии, сетевая мощность установленных в Сибири электростанций (70 МВт) в 7 раз меньше, чем в европейской части России (535 МВт без учета Крыма). Но в ближайшее время планируется нарастить долю ВИЭ в Сибири за счет строительства новых СЭС и ВЭС до 640 МВт (табл. 1).



Рис. 4. Альтернативные сценарии реализации проекта «Сила Сибири»
 Источник: [28].



Рис. 5. Самая передовая в России солнечная электростанция – Майминская
 СЭС (25 МВт) компании «Хевел»; Республика Алтай, апрель, 2019 г.

Таблица 1

Крупные солнечные и ветровые электростанции в Сибири

| Регион Сибири | Электростанции (мощностью более 5 МВт) | Суммарная установленная/ Планируемая 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.

Масштабные планы внедрения ВИЭ-установок в Сибири ограничены издержками перепроизводства, которые не свойственны традиционным электростанциям, вырабатывающим электроэнергию заданного объема в необходимое время суток. На Алтае в летнее время (май – июль) «переменчивые по природе» СЭС выдают в электросеть более 100% отпуска в дневное время, и ПАО «Россети» вынуждено отключать их без какой-либо компенсации за произведенные киловатт-часы. С вводом новых мощностей издержки перепроизводства будут нарастать, увеличивая упущенные выгоды эксплуатации солнечных электростанций.

ЖИЗНЕННО ВАЖНЫЕ РЕСУРСЫ

Помимо первичной энергии, для работы электростанций необходимы земельные, водные, минеральные ресурсы, с которыми связаны узловые проблемы «вода – энергия», «вода – энергия – земля» и «вода – энергия – минералы» [29], порождающие соответствующие выгоды и издержки.

Прежде чем перейти к сравнению углеводородов и возобновляемой энергии, стоит отметить, что с точки зрения использования земли и воды наиболее ресурсоемка гидроэнергетика, которая в Сибири производит 35% электроэнергии. Строительство крупных гидроэлектростанций привело к отчуждению огромных территорий и переселению сотен домохозяйств. Так, сооружение одной из самых крупных в мире гидроэлектростанций – Братской ГЭС (4500 МВт) – потребовало затопления 542 га сельскохозяйственных земель, вынесения 249 населенных пунктов, переселения 72 тыс. жителей [30]. Эти меры крайне отрицательно воспринимались местным населением, о чем свидетельствуют не только «сухие» цифры статистики, но и посвященная этим событиям повесть *В. Распутина* «Прощание с Матерой» (1976 г.), в которой показана трагедия уничтожения традиционного жизненного уклада деревни Матера на Ангаре в результате затопления ради строительства Братской ГЭС, которая сейчас производит дешевую электроэнер-

гию для частного Братского алюминиевого завода компании «Русал». Перспективы дальнейшего применения гидроэнергетики в Сибири существенно ограничены глобальными вызовами XXI в. – нехваткой воды и продовольствия.

Если говорить о топливной генерации, то угольная электростанция, по сравнению с ближайшим ее конкурентом – газовой, требует в два раза больше воды и в 13 раз больше земли из-за необходимости содержания золоотвалов и использования земель для угледобычи. В целом энергетика уже накопила 61% общестрановых отходов, и в 2017 г. дополнительно образовалось еще 3900 млн т отходов, из которых на добычу угля приходится 97%. Так как в Сибири добывается почти весь российский уголь, неудивительно, что мегарегион аккумулирует 80% промышленных отходов. Таким образом, уголь – главный источник отходов в стране, а живописная природа Сибири становится жертвой накопления этих отходов.

Электроэнергетика является и самым крупным потребителем пресной воды: в Сибири ежегодный водозабор для электроэнергетики достигает 60% пресной воды. Показательно, что в процессе охлаждения оборудования одной крупной угольной электростанции каждый час через градирни⁴ испаряется более 2 тыс. т воды. Плюс к этому, добыча углеводородов требует 4% пресной воды: для подготовки 1 т угля используется «в среднем до 5–6 м³ воды» [31], а для природного и сланцевого газа – от 10–30 л на 1 ГДж добытой энергии [32].

Вода для общества имеет особое и многофакторное значение. Как ярко подметила С. Постел, «во-первых, в отличие от углеводородов вода больше чем сырье, так как она является

⁴ Градирни – бетонные трубы-башни, из которых выходят облака тумана испаряющейся воды. Если присмотреться к географии расположения крупных угольных и газовых ТЭС Сибири (Березовская ГРЭС, Новосибирская ТЭЦ-5 и др.), то становится очевидна закономерность: они все обустроены вблизи крупного водоема или искусственного водохранилища, которое можно использовать в качестве естественного охладителя. Но этого недостаточно, чтобы решить вопрос конденсации полностью, поэтому строятся специальные охлаждающие системы – градирни, в которых происходит охлаждение разбрызгиваемой воды, часть которой испаряется и превращается в «белый дым».

императивом жизни не только человека, но всей флоры и фауны... Во-вторых, в отличие от углеводов вода не имеет субститутов..., то есть если в глобальной экономике возможно перейти от углеводов к возобновляемой энергетике, то в случае с водными ресурсами такой переход невозможен: заменить воду ничем» [33].

Издержки расточительного потребления воды традиционной энергетикой недооцениваются из-за ее огромных запасов в Сибири: наша страна занимает второе место в мире после Бразилии по общему объему ресурсов полного речного стока, 90% которого приходится на мегарегион [34]. Но в ближайшей перспективе вопросы водопотребления, по-видимому, обострятся (рис. 6). Согласно данным ООН, за последние сто лет водозабор в мире возрос в шесть раз, и ожидается, что к 2050 г. глобальный спрос на пресную воду увеличится на 20–50%, прежде всего в соседних с Сибирью азиатских странах [35]. Растет число конфликтов, связанных с использованием пресных водоемов, причем на уровне не только межгосударственных споров (например, между Россией и Монголией по поводу трансграничной реки Селенги или США и Мексикой по поводу реки Колорадо), но и внутрорегиональных столкновений (например, на Украине, в Сирии).

Показательно, что торговые проекты Китая включают экспорт из Сибири не только природного газа и угля, но и водных ресурсов. Экспортный потенциал сибирских рек пытались реализовать уже неоднократно. В 1970-е гг. в СССР на правительственном уровне детально рассматривалась возможность переброски части стока сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию (поворот сибирских рек) [36]. Интерес к подобным инициативам возродился в Сибири, но уже в связи с Китаем [37]: аффилированное с Китаем ООО «АкваСиб» обсуждает строительство на берегу Байкала завода по производству бутилированной воды мощностью 2 млн м³ в год. Проекты с гарантированным рынком сбыта в Китае продвигаются в Бурятии и Алтайском крае: например, строительство магистрального водовода Россия (Алтай) – Казахстан – Западный Китай, протяженностью 1,5 тыс. км и мощностью до 2,4 млрд м³ в год,

рассматривается как часть китайской инициативы «Один пояс и один путь» [38].

Выгоды от экспорта воды в Китай региональные власти видят в создании некоторого числа новых рабочих мест, поступлении дополнительных налогов и возможности избежать наводнения за счет забора избытка воды в весенний паводок. Ряд ученых не считают эти проекты большой угрозой для России [39], ссылаясь на повышение стока сибирских рек в условиях глобального потепления [40]. Однако население, руководствуясь здравым смыслом, выступает против этих бизнес-инициатив: в Иркутской области граждане собрали 150 тыс. подписей против строительства завода «АкваСиб», так как видят не только монетарные выгоды, но и ущерб общему благу. Людям очевидно, что будет ограничен подход к берегу Байкала, что они не смогут заниматься традиционным промыслом – рыболовством, а 30 видов перелетных птиц, занесенных в Красную книгу, не вернутся на место обитания [41].

Соперничество за качественные земельные и водные ресурсы будет обостряться, поэтому их высокое потребление со стороны традиционной энергетики будет повышать экономические издержки их использования в мегарегионе. В Сибири нарастает скрытое противоречие между спросом на исчерпаемые «мертвые» углеводороды и востребованностью важных для жизни сообщества ресурсов – воды, земли и пространства.

Возобновляемая энергетика вовлечена в ресурсные конфликты в меньшей степени, хотя тоже не лишена издержек. Солнечные и ветровые установки занимают не так много площади – это выгода, но за счет низкого коэффициента использования мощности потребность в земле на единицу произведенной энергии в 10 раз превышает угольные и в 150 раз – газовые электростанции, а это издержки. Показательно, что первая в Сибири крупная солнечная электростанция – Абаканская СЭС (мощностью 5,2 МВт) – занимает 18 га и производит 6,5 млн кВт ч ежегодно: 36 кв. км на 1 ГВт ч.



Рис. 6. Конфликты, связанные с использованием водных ресурсов, 1930–2018 гг.

Источник: Water Conflict Chronology, 2019.

Другие издержки ВИЭ связаны с потребностью в редкоземельных металлах, особенно в теллуре [42]. По оценкам ученых, Сибирь, как и Китай, обладает крупными запасами редкоземельных элементов [43], но их добыча практически не ведется, а растущий спрос удовлетворяется за счет импорта из Китая. По данным Счетной палаты РФ, расходы на геолого-разведку в России за 2013–2016 гг. кратно возросли с целью увеличить разведанные запасы по редкоземельным металлам на 20 тыс. т, но фактический прирост составил лишь 1,5 тыс. т. Дефицит отечественного солнечного кремния ограничивает создание полного цикла производства солнечных панелей в России. Действующие производители солнечных модулей в Зеленограде и Краснодаре созданы на базе еще советских электронных и машиностроительных предприятий, а солнечная энергетика не является их основным профилем. Более того,

цены на редкоземельные металлы весьма волатильны, что делает бизнес по их производству неустойчивым, а поставки нестабильными. Показателен пример США, где в связи с обвалом цен в 2015 г. обанкротилась единственная добывающая редкоземельные металлы компания Mountain Pass, которая затем была куплена за 20,5 млн долл. китайской компанией MP Mine Operations. Аналогичный случай имел место в Сибири в 2015 г., когда компания по производству литийионных аккумуляторов «Литотех» обанкротилась и работает с тех пор под конкурсным управлением. Волатильность цен, небольшие объемы производств и фрагментарные заказы не позволяют начать в России полномасштабное освоение редкоземельных металлов для снижения себестоимости солнечных и ветряных установок.

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И РАБОЧАЯ СИЛА

Производство электроэнергии требует не только первичной энергии, но и достаточности квалифицированных человеческих ресурсов. С 2000 по 2014 г. выработка электроэнергии в мире выросла на 54% и занятость в этой сфере увеличилась на 63%: с 15,8 млн специалистов в 2000 г. до 25,6 млн в 2014 г., причем 85% прироста приходится на развивающиеся страны [44]. Традиционная энергетика, будучи основным работодателем в отрасли, имеет сильную переговорную позицию и использует фактор безработицы для лоббирования своих интересов. А сторонники возобновляемой энергетики утверждают, что солнечные и ветровые станции дают большее количество рабочих мест лучшей квалификации на 1 кВт ч электроэнергии, нежели традиционные электростанции на угле и газе.

Исследовательская группа под руководством *Д. Каммен* на основе 15 независимых кейсов, реализованных в США и Европе, произвела расчеты по пяти сценариям с разным соотношением традиционной и возобновляемой генерации (от 20% на ВИЭ до 100% на газе) и пришла к выводу, что возобновляемая энергетика в любом случае дает больше рабочих мест, чем традиционная (табл. 2).

Уровень занятости на электростанциях

| Источник энергии | Средний уровень занятости за срок службы электростанции (количество рабочих мест на 1 МВт используемой мощности) | | |
|------------------|--|---------------------|----------------------------|
| | Строительство, производство, установка | Операционная работа | Итоговый уровень занятости |
| Солнечная | 6,21 | 1,20 | 7,41 |
| Ветровая | 0,43 | 0,27 | 0,71 |
| Уголь | 0,27 | 0,74 | 1,01 |
| Газ | 0,25 | 0,70 | 0,95 |

Источник: [45].

Еще одно отличие – разные механизмы формирования рабочей силы. Занятость в традиционной электроэнергетике на 70% обусловлена созданием рабочих мест, напрямую вовлеченных в процесс выработки электроэнергии, то есть специалисты работают на станциях. В то время как в сфере возобновляемой энергетики от 50 до 80% рабочих мест образуются опосредованно, в смежных отраслях, благодаря промышленному производству, установке и строительству солнечных и ветровых электростанций, а также их сервисному обслуживанию.

Масштабное исследование трудового потенциала в электроэнергетике провела в 2018 г. Международная организация труда (МОТ, англ. ILO), включив в рассмотрение 133 страны и 1958 ежегодных обзоров по странам за 2000–2014 гг. МОТ исходила из того, что создание рабочих мест не ограничивается только электроэнергетикой, а сопровождается мультипликативным эффектом. Занятость у потребителей электроэнергии остается на прежнем уровне независимо от источника генерации – традиционного или возобновляемого. Изменения в занятости происходят в добывающих и промышленных отраслях, снабжающих электростанции топливом, оборудованием и другими сервисами. Более того, энергетические системы многих стран взаимосвязаны, например стран ЕС, США и Канады, поэтому косвенные эффекты могут возникать не только в пределах одной страны, но и между странами (табл. 3).

Мультипликатор занятости по источникам
выработки электроэнергии, 2011 г.

| Страна | Косвенный эффект локальной занятости | | | | | |
|----------------|---|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| | Уголь | Газ | Нефть | Ветер | Солнце (э) | Солнце (т) |
| Австралия | 2,5 | 2,7 | 0,7 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| Бразилия | 31,8 | 23,5 | 27,4 | 38,1 | 0,0 | 0,0 |
| Канада | 2,0 | 6,0 | 1,8 | 1,1 | 0,4 | 0,0 |
| Китай | 31,9 | 7,3 | 14,9 | 22,3 | 2,5 | 0,4 |
| Франция | 6,8 | 3,1 | 5,5 | 6,0 | 7,8 | 0,0 |
| Германия | 5,6 | 8,4 | 9,0 | 4,1 | 4,5 | 0,0 |
| Великобритания | 5,1 | 2,0 | 2,7 | 4,3 | 2,6 | 0,0 |
| Индия | 28,8 | 39,5 | 30,7 | 10,2 | 0,8 | 0,0 |
| Италия | 6,1 | 6,8 | 6,5 | 4,6 | 5,4 | 0,0 |
| Япония | 1,5 | 6,7 | 5,9 | 4,4 | 4,8 | 0,0 |
| Южная Корея | 8,7 | 7,8 | 8,4 | 7,6 | 7,8 | 0,0 |
| Мексика | 7,0 | 13,8 | 32,7 | 23,7 | 31,8 | 0,0 |
| Россия | 21,0 | 19,8 | 19,7 | 30,1 | 0,0 | 0,0 |
| Испания | 5,4 | 7,1 | 2,4 | 3,1 | 2,7 | 0,9 |
| США | 1,3 | 6,2 | 15,9 | 4,3 | 59,6 | 115,4 |
| Страна | Косвенный эффект в межстрановой занятости | | | | | |
| | Уголь | Газ | Нефть | Ветер | Солнце (э) | Солнце (т) |
| Австралия | 14,8 | 36,3 | 57,9 | 44,4 | 68,7 | 79,7 |
| Бразилия | 11,2 | 15,7 | 21,4 | 10,4 | 0,0 | 0,0 |
| Канада | 7,6 | 15,0 | 36,7 | 27,5 | 52,8 | 30,7 |
| Китай | 7,5 | 88,4 | 54,2 | 11,7 | 103,1 | 0,0 |
| Франция | 31,2 | 52,2 | 41,5 | 10,0 | 27,9 | 0,0 |
| Германия | 7,8 | 8,4 | 16,2 | 4,0 | 6,3 | 0,0 |
| Великобритания | 11,1 | 3,2 | 23,1 | 13,9 | 51,0 | 0,0 |
| Индия | 6,1 | 17,0 | 35,3 | 24,8 | 66,0 | 0,0 |
| Италия | 15,9 | 11,3 | 15,0 | 12,9 | 11,3 | 0,0 |
| Япония | 77,4 | 7,7 | 9,5 | 21,9 | 22,0 | 0,0 |
| Южная Корея | 19,1 | 32,5 | 28,7 | 59,3 | 59,1 | 0,0 |
| Мексика | 52,6 | 8,6 | 15,6 | 37,4 | 11,7 | 0,0 |
| Россия | 23,0 | 17,0 | 49,2 | 32,4 | 0,0 | 0,0 |
| Испания | 14,4 | 11,5 | 16,5 | 5,1 | 12,7 | 30,7 |
| США | 0,6 | 1,6 | 9,2 | 1,4 | 15,8 | 34,6 |

Примечание: мультипликатор показывает количество рабочих мест, дополнительно созданных в отраслях экономики в пределах одной страны (косвенный эффект локальной занятости) или в других странах (косвенный эффект в межстрановой занятости) в результате увеличения на 1 млн евро спроса на электроэнергию от определенного источника энергии.

Источник: [46].

В целом ВИЭ-генерация создает больше рабочих мест в национальной экономике и за ее пределами, нежели топливная электроэнергетика. Хотя межстрановые различия существенны, показателен в этом случае пример Китая и США. Китай как мировой лидер в области производства кремниевых солнечных панелей имеет самый низкий мультипликатор локальной занятости по солнечной энергии – всего 2,5 – из-за активной оффшоризации промышленного производства солнечных панелей в страны Юго-Восточной Азии. США наоборот: обладают наибольшей локальной занятостью с показателем 59,6 (115,4 по тепловым коллекторам) за счет создания рабочих мест и исследовательских лабораторий в сфере ВИЭ внутри страны. Эксперт в области ВИЭ *В. Сиварам* подчеркивает, что для создания новых рабочих мест важны именно локализация отечественного производства и проведение фундаментальных исследований в сфере ВИЭ [47].

Топливные электростанции, работающие в Бразилии, Индии, Китае и России, значимы как для своего внутреннего рынка труда, так и для поддержания занятости в других странах. Напротив, углеводородная энергетика Австралии, Франции, Южной Кореи создает больше рабочих мест в других странах, чем у себя дома. Таким образом, взаимосвязанность стран порождается не только перетоками электроэнергии, но и дилеммой трудовых ресурсов.

В Сибири главным работодателем остается традиционная энергетика: в ней занято 8% рабочей силы мегарегиона (1,2 млн человек), из них 60% в секторе добычи и 40% в электроэнергетике. Шесть регионов формируют рынок труда преимущественно за счет углеводородов: Ямало-Ненецкий автономный округ (26% рабочей силы в регионе), Ханты-Мансийский автономный округ (24%), Тюменская область (17%), Магаданская область (17%), Якутия (16%), Кемеровская область (13%); 90 моногородов с населением 2,3 млн человек практически полностью зависят от деятельности добывающих и генерирующих компаний.

Кроме занятости, традиционная энергетика дает возможность неплохого заработка, по крайней мере, выше среднего

уровня по региону и стране (рис. 7). Например, в «угольной кладовой» – Кемеровской области – средняя ежемесячная заработная плата в отрасли в 2017 г. составляла 48 тыс. руб., что в 2 раза выше средней зарплаты в области и на 32% выше общероссийской. Если бы не шахты, скважины и электростанции, то воздух и вода были бы чище, но деньги в современном обществе представляются более ценным «ресурсом».

Однако указанные выше количественные выгоды использования традиционной энергии сочетаются с важными качественными издержками: *высоким неравенством распределения доходов* между собственниками и работниками отрасли и внутри трудовых коллективов.

Во-первых, выгоды от получения зарплаты выше средней в традиционной энергетике сопровождаются издержками высокого неравенства в распределении доходов между собственниками и работниками отрасли. Такая ситуация создает *«великую трансформацию рисков»*, описанную в работе Дж. Хэкер, когда экономические риски перемещаются от корпоративного сектора, чья прибыль все меньше зависит от лояльности рабочей силы, благодаря автоматизации и роботизации, и от государственного сектора, чьи социальные страховые фонды все меньше наполняются, в сторону простых работников и их семей, которые будут вынуждены за собственный счет компенсировать издержки травматизма, хронических профессиональных заболеваний, потери работы [48].

Признаки подобных «трансформаций рисков» наблюдаются в экономике Сибири и главным ее секторе – традиционной энергетике. Доходы от ведения высокорентабельного углеводородного бизнеса неравномерно распределяются между собственниками, живущими, как правило, за пределами Сибири, и местными жителями, непосредственно занятыми добычей нефти, газа и угля. В структуре добавленной стоимости энергетической отрасли мегарегиона доля фонда оплаты труда составляет около 10% против 25%, которую получают собственники в виде прибыли энергокомпаний (рис. 8).

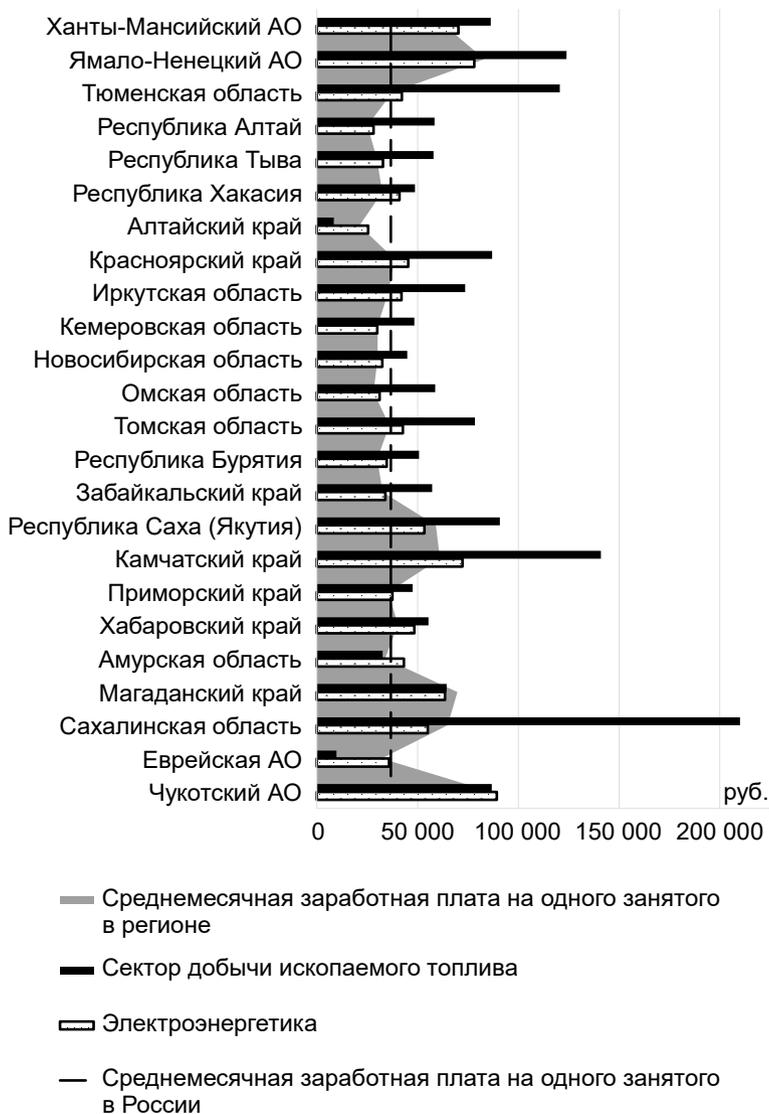


Рис. 7. Среднемесячная номинальная заработная плата на одного работника в энергетике Сибири, 2017 г.

Источник: составлено автором на данным ЕМИСС.

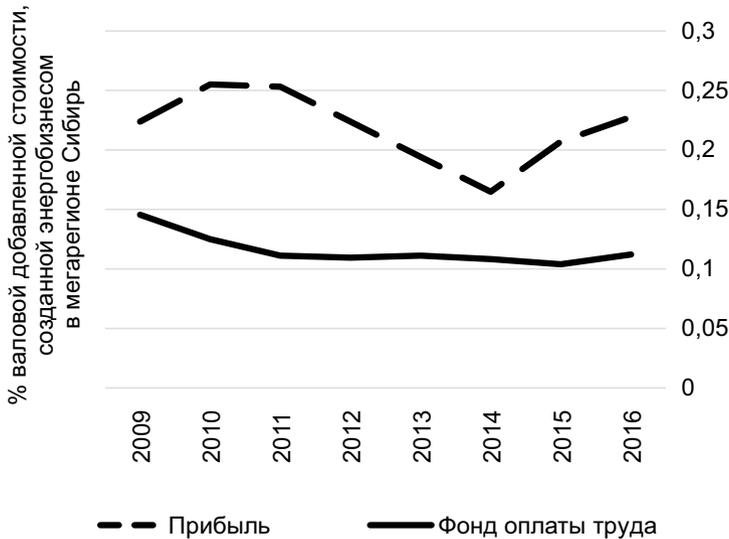


Рис. 8. Соотношение расходов на оплату труда и прибыли в структуре добавленной стоимости, созданной энергетическими компаниями в сибирском мегарегионе

Источник: составлено автором на данным ЕМИСС.

Этот разрыв велик и порождает тотальную социальную незащищенность, которая будет нарастать вследствие автоматизации и роботизации. Так, модернизация угольной отрасли в Сибири за 2009–2016 гг. высвободила 20% рабочей силы, «заморозила» заработные платы оставшимся рабочим, что не помешало компаниям увеличить добычу на 23% и выручку на 220%. Более того, гарантируемое российским государством пенсионное, медицинское и социальное страхование базируется на отчислениях от заработной платы работников: чем меньше ее размер, тем меньше социальные обязательства бизнеса. Согласно данным налоговой службы, за 2018 г. вклад добывающих и генерирующих компаний составил в мегарегионе только 13% в совокупном объеме платежей в обязательные фонды социального страхования, хотя энергокомпании создали 36% валового регионального продукта Сибири. Агрессивное присвоение собственниками энергокомпаний добавленной стоимости обрекает многочисленных работников со скромными до-

ходами на отсутствие должного медицинского, пенсионного и социального обеспечения в будущем, когда добавятся риски технологической безработицы.

Во-вторых, наблюдается *неравенство в распределении доходов внутри трудовых коллективов*, особенно в секторе добычи ископаемого топлива. Высокие доходы концентрируются у небольшого числа топ-менеджеров, а большая часть энергетиков получает среднюю по региону заработную плату. Десять процентов самых высокооплачиваемых сотрудников получают в 6–35(!) раз больше, чем 10% самых низкооплачиваемых работников (рис. 9). Наибольший разрыв наблюдается на Сахалине при реализации высокотехнологического проекта, связанного с производством сжиженного природного газа, где 10% самых высокооплачиваемых сотрудников, в том числе и управленческий аппарат, получают заработную плату в 35 раз выше, чем 10% самых низкооплачиваемых.

Стоит отметить, что неравенство в трудовых коллективах в энергетической сфере меньше, чем в целом по экономике Сибири (серая зона на рис. 9, выше баров). В традиционной энергетике технологические процессы высоко интегрированы и для бесперебойного снабжения электроэнергией требуется слаженная работа разнообразных специалистов: геологов, шахтеров, бурильщиков, инженеров-энергетиков. Труд как ценность остается значимым фактором многих процессов в энергетике, поэтому энергокомпании дорожат своими кадрами и стараются сохранить лояльность сотрудников за счет поддержания уровня оплаты труда выше среднего по сравнению с другими секторами сибирской экономики.

К нивелированию издержек социальной напряженности в традиционной энергетике Сибири могли бы подключиться профсоюзные организации. В своей работе *Т. Митчелл* убедительно показывает, как шахтеры, рабочие электростанций, инженеры-энергетики, собираясь на рабочих местах, профсоюзных собраниях и в политических клубах, *«выковали политическое сознание, которое позволило им бороться за более равноправное и демократическое устройство коллективной жизни»* [49, с. 23]. Железнодорожники, шахтеры и энергетики по-

средством забастовок, митингов и стачек получали рычаги давления на работодателей для улучшения оплаты и условий труда.

Несмотря на социалистическое прошлое, профсоюзное движение в России угасает: только 30% всех наемных работников состоят в профсоюзах (рис. 10). Для сравнения: в богатой углеводородами Норвегии этот показатель составляет 52%, а в странах-адептах ВИЭ, Дании и Финляндии, приближается к 70%. Экономическая теория по-разному объясняет причины угасания профсоюзных движений: это сокращение доли индустриальных секторов, появление личных эффективных контрактов, увеличение занятости в сфере услуг, ужесточение трудового законодательства, государственные гарантии минимальной оплаты труда. Более того, в эпоху новой индустриальной революции забастовки и стачки полностью теряют свою эффективность, так как уже не способны остановить потоки традиционной энергии и работу электростанций на время переговоров об оплате и условиях труда.

В Сибири 5,5 тыс. профсоюзных сотрудников (24% от общероссийского уровня) отстаивают интересы работников традиционной энергетики, а углеводородные регионы остаются в лидерах по наличию профсоюзных организаций. Тем не менее позиция профсоюзов в энергетике стала весьма пассивной и конформной. Так, председатель Российского независимого профсоюза работников угольной промышленности, объединяющего более 200 тыс. человек, *И. И. Мохначук* утверждает, что *«действительно, ситуация стабильная сегодня, заработная плата средняя у нас – более 61 тысячи. Она ежегодно растет в среднем где-то на 4,5–5 тыс. относительно предыдущего года»* и уделяет, возможно, большее внимание защите интересов бизнеса, нежели работников, так как *«социальная стабильность на предприятиях очень важна с точки зрения инвестиций, развития, перспектив <...> расшатать легко ситуацию, а потом мы знаем, чем кончились 1989, 1991, 1998 годы»* [50]. Разобщенность профессионального сообщества ведет к частым злоупотреблениям со стороны энергокомпаний – задержкам выплат и вынужденным отпускам без содержания.

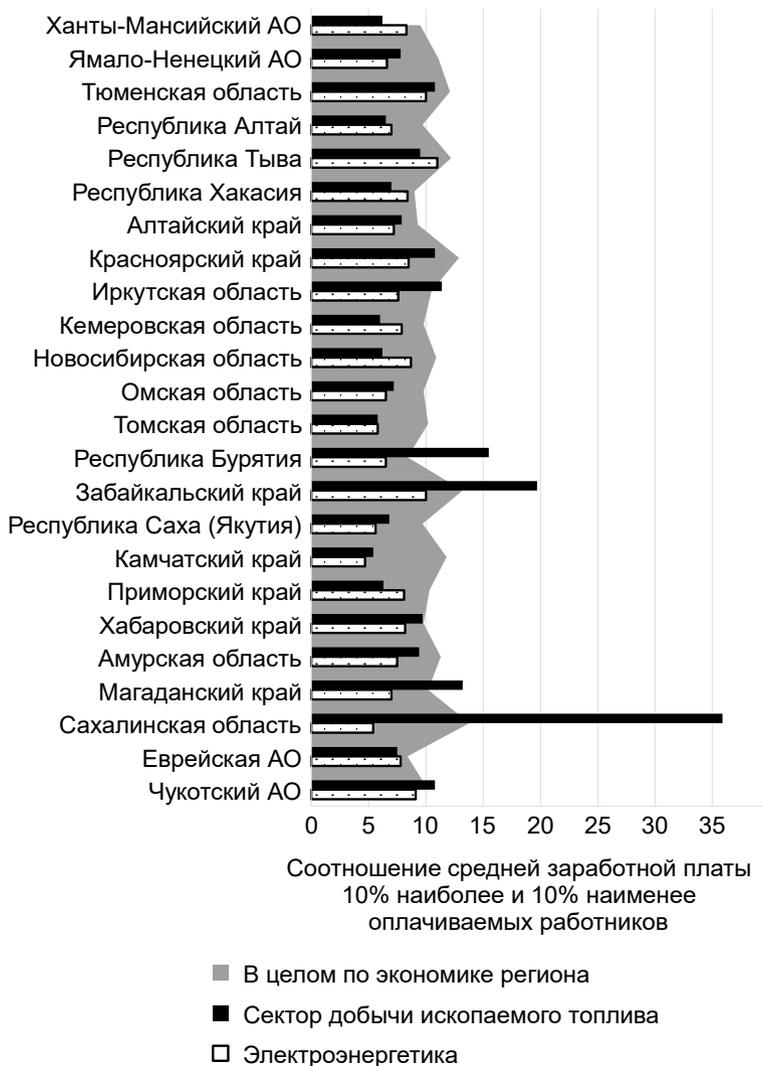


Рис. 9. Соотношение средней заработной платы: 10% наиболее и 10% наименее оплачиваемых работников в энергетике Сибири
 Источник: составлено автором на данным ЕМИСС.

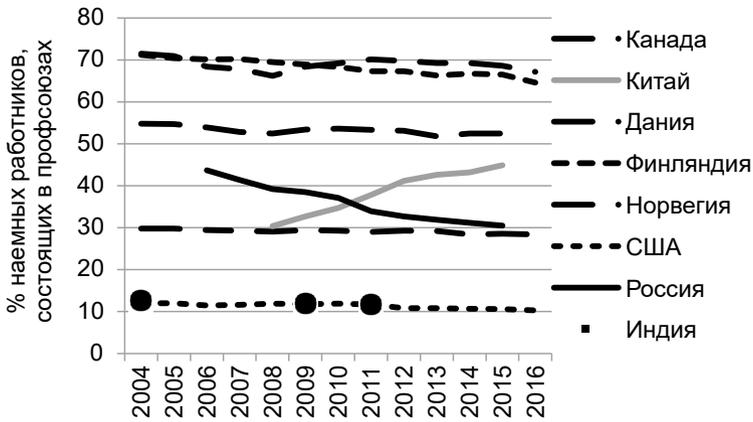


Рис. 10. Динамика профсоюзных движений в отдельных странах, 2004–2016 гг.

Источник: МОТ, 2018.

Например, в 2018 г. из-за невыплат заработной платы 70 шахтеров Забайкальского края устроили голодовку. В 2019 г. в Кузбассе в вынужденных отпусках находились свыше 2 тыс. горняков и на грани остановки из-за снижения экспортных цен – три предприятия с численностью работников более 3 тыс. человек.

Выгоды ВИЭ на рынке труда Сибири проявляются не в абсолютных, а в относительных измерениях. В отличие от углеводородов, возобновляемая энергетика создает больше рабочих мест на 1 кВт ч выработанной электроэнергии. Самую передовую угольную электростанцию Сибири – Березовскую ГРЭС (2400 МВт) – с блоком на суперкритических параметрах обслуживают 1105 работников для производства около 5500 млн кВт ч ежегодно; получается, что на 1 МВт используемой мощности⁵ занято 0,81 чел. Передовая солнечная электростан-

⁵ Используемая мощность рассчитывается как произведение установленной мощности и коэффициента КИУМ, который показывает отношение количества фактически выработанной электроэнергии к гипотетическому количеству электроэнергии, которое было бы выработано при работе стан-

ция в Сибири, Кош-Агачская СЭС мощностью 10 МВт, привлекла 550 временных работников, которые работали 4–5 месяцев на этапе строительства, а для последующего обслуживания потребовалось лишь 5–6 сотрудников с неполным рабочим графиком; получается, что на 1 МВт используемой мощности занято 5,8 чел., то есть в 5 раз больше, чем для угольной электростанции. Более того, с появлением ВИЭ на Алтае заработная плата энергетиков в 2013–2017 гг. выросла в 1,75 раза и достигла 29 тыс. руб. Конечно, это в 2 раза меньше оплаты труда специалистов традиционного энергобизнеса, но на Алтае, где большая часть населения занята в сельском хозяйстве, работа на солнечных электростанциях является привлекательной и престижной.

ПОДВОДЯ БАЛАНС ВЫГОД И ИЗДЕРЖЕК

По параметру *достаточности* выгоды использования традиционной энергии в Сибири существенны: *изобилие запасов* на несколько поколений и *транспортная связанность* с учетом новых инфраструктурных проектов позволяют надежно снабжать электростанции дешевым и ультрадешевым топливом, а сформированное *ядро рядовых энергетиков* квалифицировано поддерживает функционирование энергообъектов. Тем не менее все эти выгоды девальвируются ростом ценности незаменимых ресурсов – пресной воды и плодородной земли, которые агрессивно эксплуатируются топливной энергетикой Сибири. Дополнительные издержки связаны с необходимостью крупных расходов на научные исследования и геологоразведку перспективных месторождений для сохранения конкурентоспособности и низкой себестоимости добычи.

Привлекательность в Сибири «бесплатной» и вездесущей энергии солнца и ветра ограничена «прерывистой» природой выработки электроэнергии, отпуск которой лимитирован в пе-

ции 24 часа 365 дней в году. Березовская ГРЭС работает с КИУМ 56,8%, поэтому используемая мощность вычисляется $2400 * 0.568 = 1363,2 \text{ MWa}$.

риод дневного перепроизводства, что ведет к значительным упущенным выгодам для компаний ВИЭ-генерации. Более того, опасения вызывает растущая при производстве солнечных и ветровых установок потребность в редкоземельных металлах, добыча которых пока не ведется в Сибири в промышленных масштабах.

Вопрос рабочей силы как параметра сравнительного анализа имеет ряд дискуссионных моментов. *Во-первых*, аргумент в пользу трудоемких технологий девальвируется тем, что трудосберегающие технологии выступают главным драйвером экономического прогресса. Например, механизация добычи угля в Европе в XX в. привела к сокращению занятых в шахтах, но добыча не только не упала, а выросла и помогла провести масштабную индустриализацию. *Во-вторых*, долгосрочная поддержка трудоинтенсивных технологий ведет к росту цен на товары и услуги для потребителей за счет дорогой электроэнергии и при прочих равных – к снижению ВВП. При этом нет экономически выверенных оценок того, что, с точки зрения общества, поддержка занятости в сфере возобновляемой энергетики более эффективна, чем создание дополнительных рабочих мест в традиционной генерации или электросетевом хозяйстве.

В Сибири традиционная энергетика превращается из знакового работодателя для инженеров и технических специалистов в сектор с небольшим числом высококвалифицированных кадров, преимущественно в области больших данных и компьютерных технологий. Высокий потенциал ВИЭ в генерировании новых рабочих мест обесценивается за счет отсутствия в Сибири промышленного производства фотоэлектрических модулей, сосредоточенного в европейской части России на заводе компании «Хевел» в Новочебоксарске и заводе «Солар Кремниевые Технологии» в Подольске [51].

В перспективе новая индустриализация и цифровизация способны кардинально увеличить добычу углеводородов и рециклинг ресурсов, поэтому принцип достаточности первичной энергии перестает играть ключевую роль в сравнительном анализе. В эпоху технологической революции, по мнению

Д. Г. Виктор и *К. Яношек*, энергетическая политика формируется с учетом *дешевизны и изобилия* ископаемых источников [52]. В условиях равной достаточности необходим системный анализ выгод и издержек, который выходит за рамки привычного сравнения технологий и технических характеристик и охватывает широкий спектр последствий использования традиционных и возобновляемых источников энергии.

ГЛАВА 4 ДОСТУПНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Второй базовый параметр сравнительного анализа и определения выгод и издержек – это *доступность электроэнергии*, что означает наличие развитого электросетевого хозяйства и приемлемые для потребителей цены. Электроэнергия воспринимается обществом как «сырье», и *«потребители думают, прежде всего, об услугах, которые обеспечиваются энергией, а не о том, откуда она берется. Главным образом их интересует ее доступность и затраты»* [1, с. 35].

Ископаемые и возобновляемые источники энергии по-разному стремятся обеспечить наивысший уровень доступности. Традиционные электростанции интегрированы в уже имеющиеся централизованные электросети, и экономия образуется при масштабном непрерывном производстве электроэнергии и тепла. Объекты ВИЭ, напротив, требуют создания нового типа электросетей – децентрализованных, когда энергорынок еще не готов к прерывистому отпуску электроэнергии.

С позиций методологии анализа выгод и издержек доступность оценивается с учетом измерения прямых и неявных ценовых эффектов. В отличие от многих экономических благ, которые, как правило, материализованы, *«электричество и тепло приобретают видимые черты только благодаря инфраструктуре и эффектам»* [2]. Определенная виртуальность преобразования электроэнергии усложняет экономическую оценку материальных и нематериальных последствий, напри-

мер эмиссии вредных веществ или неявных дополнительных платежей потребителей при использовании того или иного источника энергии. Приемлемость цен означает не только низкую себестоимость электроэнергии, но и платежи за электроэнергию, необременительные для населения с низкими доходами, что соответствует принципам справедливости и общего блага.

Таким образом, процесс производства электроэнергии представляет не самоочевидный объект анализа, а феномен, имеющий экономические, социальные, политические и технические характеристики; и сочетание этих факторов обеспечивает доступность традиционных и возобновляемых источников энергии. Для оценки доступности электроэнергии рассмотрим два фактора: *энергетическую инфраструктуру* и *стоимость электроэнергии*.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

В Сибири возможность традиционных электростанций быстро *«включиться и играть»* является неоспоримым преимуществом углеводородов в условиях уже созданных для них централизованных линий электропередач и распределительных сетей. Это стало результатом реализации масштабного проекта электрификации российской экономики – плана Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭРЛО), разработанного в 1920 г. под девизом, сформулированным *В. И. Лениным*: *«Коммунизм – это есть Советская власть плюс электрификация всей страны»*, так как экономические преобразования осуществимы *«только тогда, когда страна будет электрифицирована»* [3]. В то время грандиозные планы строительства единой энергосистемы в России многими воспринимались скептически. Так, известный британский фантаст *Г. Уэллс*, взяв у *В. И. Ленина* интервью, отметил, что *«Ленин сам впал в утопию, утопию электрификации... Можно ли представить себе более дерзновенный проект в этой огромной равнинной, покрытой лесами стране, населенной неграмотными крестья-*

нами, лишенной источников водной энергии, не имеющей технически грамотных людей, в которой почти угасли торговля и промышленность? Такие проекты электрификации осуществляются сейчас в Голландии, они обсуждаются в Англии, и можно легко представить себе, что в этих густонаселенных странах с высокоразвитой промышленностью электрификация окажется успешной, рентабельной и вообще благодетельной. Но осуществление таких проектов в России можно представить себе только с помощью сверхфантазии» [4]. Но будучи реализованным, этот мегапроект обеспечил лидерство советской России по производству электричества среди европейских стран: оно увеличилось с 1,95 ГВт ч в 1913 г. (в промышленно развитой Великобритании было 2,5 ГВт ч, а в Германии 8 ГВт ч) до 39,4 ГВт ч в 1938 г. (в Великобритании – 33,8 ГВт ч, в Германии – 55,3 ГВт ч) [5].

В наши дни высокая интегрированность современных электростанций в сетевое хозяйство Сибири позволяет извлекать выгоды за счет «эффекта масштаба», кратно увеличивая выработку электроэнергии на единицу установленной мощности. Дополнительная выгода состоит в экономии затрат при одновременном производстве электроэнергии и тепла (так называемой *когенерации*), что позволяет старым электростанциям на докритических параметрах пара использовать в Сибири топливо почти столь же эффективно, как это происходит на современных угольных электростанциях на суперкритических параметрах пара в Китае и Японии [6]. Инерционность в работе угольных и газовых ТЭС, то есть неспособность быстро изменять объемы выработки электроэнергии, дает еще одно важное преимущество: высвобождение времени для диспетчеризации пиковых и базовых нагрузок. Это пока невозможно для ВИЭ-генерации, где нагрузка может «пропасть» внезапно, и решение о ее замещении потребует принять мгновенно. Например, летом 2019 г. в Республике Алтай произошло отключение солнечных электростанций из-за попадания молнии на фотовольтаические элементы модулей. Неожиданный обрыв электроснабжения потребовал немедленного перетока электро-

энергии от угольных электростанций соседнего региона – Алтайского края.

Но «сетевые» выгоды угольной генерации существенно ограничены высоким, до 60–80%, износом мощностей и сетей. Это дестабилизирует надежность энергосистемы Сибири и ведет к росту числа аварий на электростанциях. Например, 1 августа 2017 г. в Благовещенске и во Владивостоке из-за крупной аварии остались без света 1,5 млн человек, прекратился экспорт электроэнергии в Китай, остановились крупные гидро- и угольные электростанции [7].

Для обеспечения надежности энергосистемы Сибири треть электростанций вынуждена работать на пониженных мощностях для соблюдения обязательного резерва; такое содержание «в режиме ожидания» обходится весьма дорого (в 2018 г.: 309 тыс. руб./МВт в месяц). Однако оценки достаточности резервной мощности топливных электростанций зависят от сезонности работы крупных ГЭС, обеспечивающих в Сибири 35% установленной мощности. Высокое потребление электроэнергии и тепла наблюдается в зимнее время, когда реальная резервная мощность составляет меньше 1 ГВт (примерная мощность одной угольной электростанции): *«кажется, что у вас 28% резерва, а на самом деле всего 6–8%. А если работает алюминиевый завод [второй по счету в Сибири] и потребление вырастет на 1 ГВт, то 6–8% как корова языком слижет»* [8]. При этом зимой из-за маловодности рек ограничена мощность местных гидроэлектростанций, из максимально возможного, в 2 ГВт, перетока из европейской части России в Сибирь поступает напрямую только 300 МВт, а остальной поток идет по территории Казахстана, и в случае тридцатиградусных морозов и внезапного отключения электроэнергии *«неизвестно, как они [Казахстан] себя поведут ... если у них не все хорошо, то они загрузят свои линии в первую очередь, своя-то рубашка ближе к телу»* [8].

Дополнительные издержки традиционной электроэнергетики – это *значительные потери при передаче электроэнергии* на многокилометровые расстояния, обычные для Сибири. Издержки при транспортировке возрастают с квадратом расстоя-

ния, поэтому на большие дистанции эффективнее передавать ток под высоким постоянным напряжением через высоковольтные линии электропередач (ЛЭП), а затем понижать напряжение с помощью трансформаторов и доставлять до конечного потребителя с помощью распределительных сетей. Россия входит в пятерку стран мира с самыми высокими потерями в электросетях: 10% от отпуска электроэнергии в сеть (табл. 1), но в Сибири, в солнечных республиках Алтай и Бурятия, этот показатель достигает 20%. Напротив, в Кемеровской области потери самые низкие (всего 4% в 2017 г.), так как изобилие угля позволяет выработать там наиболее дешевую электроэнергию и за счет этого автоматизировать и оцифровывать многие энергетические процессы¹, в результате снижая потери и предупреждая воровство в электросетях.

Таблица 1

Потери электроэнергии при передаче по электросетям и из-за краж, 2014

| Страна | % от отпуска электроэнергии в сеть |
|----------------|------------------------------------|
| Ямайка | 27 |
| Индия | 19 |
| Кения | 18 |
| Бразилия | 16 |
| Россия | 10 |
| Индонезия | 9 |
| Великобритания | 8 |
| США | 6 |
| Китай | 5 |
| Сингапур | 2 |

Источник: [9].

¹ Например, объем автоматизации систем учета электроэнергии в Кузбассе самый высокий в Сибири: 46% домохозяйств имеют цифровые приборы учета.

Возобновляемые источники энергии в Сибири зависят от уникальных природно-климатических условий и поэтому пока проигрывают углеводородам по способности беспрепятственно «подключиться и работать». Для слаженного снабжения потребителей переменчивой энергией солнца и ветра необходима высокая степень интеграции энергообъектов. Эту цель преследуют *две конкурирующие модели* развития электросетевой интеграции ВИЭ: одна базируется на *децентрализации и расширении распределительных сетей*, которые позволят обеспечить электричеством и теплом труднодоступные для углеводородов малонаселенные регионы [10]; другая связывает развитие ВИЭ со строительством *высоковольтных магистральных линий* электропередач, охватывающих обширные территории [11].

В мире идет эмпирическое тестирование обоих подходов; для России, где две трети территории страны с населением в несколько миллионов человек находятся вне сетей централизованного энергоснабжения, перспективы ВИЭ определены в моделях *децентрализации* и *распределительной генерации* [12]. В Сибири с ее огромными пространствами и низкой плотностью населения для строительства маломощных (менее 5 МВт) внесетевых солнечных и ветровых установок определяются «медвежьи углы», куда сложно доставить топливо и проложить линии электропередач, например, ряд районов Якутии и Красноярского края². Таким образом, значимость децентрализации повышается благодаря росту ценности электроэнергии, за доступность к которой население в энергодефицитных регионах готово заплатить.

Но развитие сибирских ВИЭ путем децентрализации не лишено существенных недостатков: очевидны пределы развития отрасли, и ожидаемое российскими экспертами замедление *«роста стоимости электроэнергии для потребителей»* может оказаться необоснованным [13]. Эксперт в области энергетики *Т. Нордхаус* (племянник лауреата Нобелевской премии по экономике *У. Нордхауса*) указывает на высокие издержки созда-

² Геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии России». <http://gisre.ru/maps/sun-radiation/gor/gor-year>

ния распределительных сетей в странах-адептах ВИЭ и на то, что *«децентрализованные и внесетевые ВИЭ не смогут выступать субститутами энергии, необходимой в промышленном масштабе»* [14]. Это особо актуально для индустриальной модели Сибири, где 60% электроэнергии потребляется крупными и средними предприятиями, и нишевая стратегия и поиск «медвежьих углов» не позволяют наращивать в мегарегионе инвестиции и полноценно извлекать эффект «экономии масштаба». Реальный энергопереход совершается в тех странах и регионах, где *«ВИЭ становится нормальной частью энергетической системы и серьезным конкурентом углеводородам, помимо нишевого приложения»* [15].

Взамен децентрализации предлагается альтернативная концепция организации ВИЭ в Сибири: развитие высоковольтных магистральных линий электропередач для масштабного проекта *глобальной энергетической системы* в рамках современной амбициозной инициативы Китая «Один пояс и один путь» [16]. По оценкам Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, годовой экономический эффект от формирования только одной части глобальной энергетической системы – энергообъединения в Восточно-Азиатском регионе – составит 24 млрд долл. и максимальный выигрыш получают КНР и Япония [17], а Россия сможет ежегодно иметь экономические выгоды в размере около 2 млрд долл. (менее 10%) за счет подключения сибирских и дальневосточных ГЭС и ветроустановок. Такую интеграцию авторы расчетов считают плодотворной и с политической точки зрения, так как она будет способствовать сближению стран.

Тем не менее интеграция сибирских ВИЭ в глобальную энергетическую систему не лишена издержек. Энергетическая инфраструктура строится не один десяток лет и зависит как от уровня доверия между транзитерами, так и от интенсивности электорального политического цикла. Кроме возможных серьезных потерь в электросетях при передаче «чистой» электроэнергии на дальние расстояния, мультинациональные электросети восприимчивы к геополитическому влиянию соседних стран, особенно на стадии проектирования инфраструктуры,

что порождает асимметрию в распределении сфер ответственности, финансов и рисков между участниками [18]. Китай, как главный инициатор глобальной энергетической электросети, имеет ряд незавершенных мультинациональных проектов из-за «мозаичной» политической структуры Азии. Крупнейшая линия D в международном газопроводе Центральная Азия – Китай, которая поставляет газ из Туркменистана, Таджикистана, Узбекистана, Киргизстана в западные районы Китая, будет введена в эксплуатацию только в 2020 г. вместо планировавшегося 2016 г. из-за срывов политических договоренностей и нескончаемого согласования экономических вопросов [19]. Требуется новые подходы к управлению единым электросетевым хозяйством, так, например, в ЕС эту функцию выполняет ENTSO-E, объединившая 36 стран по выработке 446 ГВт ч в 2017 г.

Проектирование энергоисточников в Сибири с такими партнерами, как Китай, Монголия, Южная и Северная Корея, Япония в рамках проекта *глобальной энергетической системы* могло бы устранить перебои в поставках переменной по природе возобновляемой энергии, но возникают новые риски – сложности трансграничного взаимодействия и межрегиональные диспропорции.

Трудности управления электросетевой компанией могут быть продемонстрированы на примере не самого масштабного по замыслу совместного проекта России и Монголии. Для решения экологических проблем при строительстве нескольких ГЭС в бассейне трансграничной реки Селенги российско-монгольская межправительственная комиссия предложила две «сетевые» альтернативы. Одна – расширение за счет «дозагрузки» Гусиноозерской ГРЭС пропускной способности действующей ЛЭП Селендума – Дархан, которая идет из России через Бурятию в Монголию. Другая, более дорогая, – строительство энергоисточника с Саяно-Шушенской ГЭС, где много так называемой запорной мощности, для чего потребуется дополнительная ветка ЛЭП с напряжением 500 кВ. Эти «сетевые» альтернативы эффективнее с технологической точки зрения, безопаснее экологически и менее затратны, чем строительство нескольких

ГЭС на Селенге. Но продвижение таких альтернатив затрудняется тем, что Монголии нужна собственная ГЭС: это вопрос национального престижа. Для разрешения конфликтной ситуации между Россией и Монголией при строительстве гидроэлектростанции на Селенге может быть полезен опыт Словении в сфере экономических, социальных и правовых особенностей совместного управления энергообъектами, с которым нам удалось познакомиться (рис.1). Действенной представляется практика пользования общим водостоком бассейна реки Савы, на которой размещены гидроэлектростанции двух независимых государств: Словении и Хорватии.



Рис. 1. Гидроэлектростанция НРР в Brežice (47,4 МВт) словенской компании Hidroelektrarne; август, 2019 г.

Примечание. Новейшая гидроэлектростанция НРР в Brežice (47,4 МВт) словенской компании Hidroelektrarne входит в каскад из пяти гидроэлектростанций общей мощностью 187 МВт в бассейне реки Савы (Sava), что позволяет покрыть 20% потребности страны в электроэнергии. Основным источником энергии в Словении является атомная электростанция Krško Nuclear Power Plant (730 МВт), которая с 1983 г. работает по американским технологиям и обеспечивает до 40% энергопотребления. Остальная часть спроса на тепло- и электроэнергию удовлетворяется за счет бурогоугольной электростанции Šoštanj Thermal Power Plant (945 МВт), которая провела модернизацию и ввела новый энергоблок (600 МВт) на ультрасверхкритических параметрах пара, что позволяет соблюдать строгие экологические нормы Европейского союза (SO_2 100 мг/нм³; NO_x 150 мг/нм³; CO_2 0,87 кг/кВт ч).

Помимо «электросетевых» дилемм, ВИЭ-генерация в Сибири имеет дополнительные издержки, связанные с тем, что ветровая и солнечная генерации подключаются с низким коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ)³. КИУМ электростанции на угле или газе в Сибири выше 60% и 58% соответственно. Ветрогенераторы, напротив, имеют КИУМ 18% в европейской части России, а наиболее эффективные солнечные установки в Сибири работают с КИУМ 15% [20]. Поэтому в России в 2018 г. солнечная и ветровая энергия составили 0,2% установленной мощности, а электроэнергия сгенерировали в 2 раза меньше – только 0,1%. Очевидно, что в Сибири этого количества электроэнергии недостаточно для отопления в условиях полугодового зимнего периода.

Кроме того, ветровые и солнечные электростанции в определенные часы дня производят электроэнергию с большим избытком и нуждаются в резервном источнике генерации в остальное время суток. Для хранения электричества требуются накопители энергии не только в течение суток, но и (с учетом межсезонных колебаний) недель, и даже месяцев. На Алтае, где уже работает 40 МВт солнечных электростанций, планируется довести этот показатель до 140 МВт для того, чтобы покрыть пиковое время потребления в 110 МВт зимой. В 2019 г. «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири» совместно с французской компанией SAFT установила пилотный накопитель мощностью 1 МВт. Когда случится перерыв, накопитель будет отдавать энергию в сеть, что повысит надежность энергосистемы Алтая, а в перспективе позволит дополнительно заработать на разнице между продажей дорогой энергии в часы пик и накоплением дешевой энергии в часы простоя.

³ Коэффициент использования установленной мощности измеряет количество отпущенной ежегодно электроэнергии в сеть по отношению к гипотетическому варианту работы станции 24 часа в сутки 365 дней в году.

ЦЕНЫ И СУБСИДИИ

Ценовой фактор также является важным критерием сравнительного анализа. Известный эксперт в области энергетики *М. Дж. Греэ* уверен, что «одна характеристика играет принципиально главную роль – это цена... Правительства принимают тысячи страниц законодательных документов по энергетике, но никогда в истории они и не предлагали населению платить цену, которая соответствует полным издержкам энергии, которую они потребляют», и никакие другие действия не имеют столь значительного потенциала эффективности, как уплата полноценной стоимости за электроэнергию [21]. Для России проблема поиска экономически обоснованной стоимости электроэнергии особо актуальна, так как экспертные оценки поляризованы: от положения, что «в России цена электроэнергии для населения ниже, чем в ведущих зарубежных странах... Цена для большинства промышленных потребителей намного ниже» [22] до утверждения, что «российские тарифы [на электроэнергию] давно переросли мировой уровень» [23].

Одним из популярных индикаторов для сравнения выступает нормированная (приведенная) стоимость электроэнергии (Levelized Cost of Energy – LCOE), которая показывает издержки производства одного киловатт-часа в постоянных (реальных) ценах за весь срок службы станции. По данным консалтинговой компании *Lazard*, в 2017 г. в мире медианное значение себестоимости электроэнергии для атомной электростанции составило 148 долл. за 1 МВт ч (в 2009 г. было 123 долл.), угольной – 102 (111), газовой – 60 (83), солнечной – 50 (359), ветровой – 45 (135). За восемь лет солнечная и ветровая энергия смогла стать дешевле традиционной угольной и газовой генерации.

Популярен этот показатель и среди российских исследователей, но, несмотря на надежность данных об капитальных и операционных издержках, наблюдается значительная дис-

персия оценок, которые весьма чувствительны к локализации энергообъектов (рис. 2).

Самый дешевый способ производства электроэнергии в Сибири – это угольные электростанции, которые производят одновременно электроэнергию и тепло с затратами 24 долл. за МВт ч (LCOE), в то время как станции на газе делают это в 2 раза дороже: 53 долл. за МВт ч. Если же вырабатывать только электроэнергию, то есть вне режима когенерации, то приведенные затраты составляют 50 долл. за МВт ч на угле и 57 долл. – на газе.



Рис. 2. Оценка затрат производства электроэнергии в России

Такой низкий показатель затрат LCOE обуславливает высокую доступность электроэнергии для населения и предприятий. Львиную долю электроэнергии в Сибири (60%) потребляет крупная промышленность, конкурентоспособность которой во многом зависит от дешевизны энергоносителей; таким образом, сформировался взаимовыгодный альянс между энергоемкой промышленностью, нуждающейся в доступной энергии, и дешевой топливной генерацией, ищущей рынки сбыта в Сибири.

Дешевизна электроэнергии важна для населения, большая часть которого проживает в южных районах Сибири, недалеко от районов добычи ископаемого топлива. Значимость ценовых эффектов повышается, если принять во внимание уровень бедности в мегарегионе, где 17%⁴ населения имеют ежемесячный доход в 9–11 тыс. руб. Показательно, что доступность электроэнергии для населения в Сибири в два раза меньше, чем, например, в Канаде, где схожие природно-климатические условия и сопоставимые цены на электроэнергию, исходя из паритета покупательной способности (ППС)⁵.

Однако показатель приведенных затрат не учитывает важные факторы. Так, *П. Йосков* в своих расчетах убедительно показал, что этот подход игнорирует рыночные выгоды от продажи электроэнергии в пиковые часы по повышенным ценам, которые доступны для традиционных электростанций, работающих в базовом режиме, но не для СЭС и ВЭС с их нестабильным режимом [24]. Таким образом, сопоставление на основе LCOE недооценивает стабильность угольных и газовых электростанций по сравнению с прерывистой ВИЭ-генерацией. Также, согласно LCOE, эффективность ветряных станций, работающих преимущественно в ночное время, вне пиковой нагрузки, преувеличена по сравнению с эффективностью фотовольтаических технологий, позволяющих вырабатывать электроэнергию в наиболее востребованное дневное время.

Второй фактор, не учтенный в LCOE, это сетевые издержки, которые существенно ограничивают доступность электро-

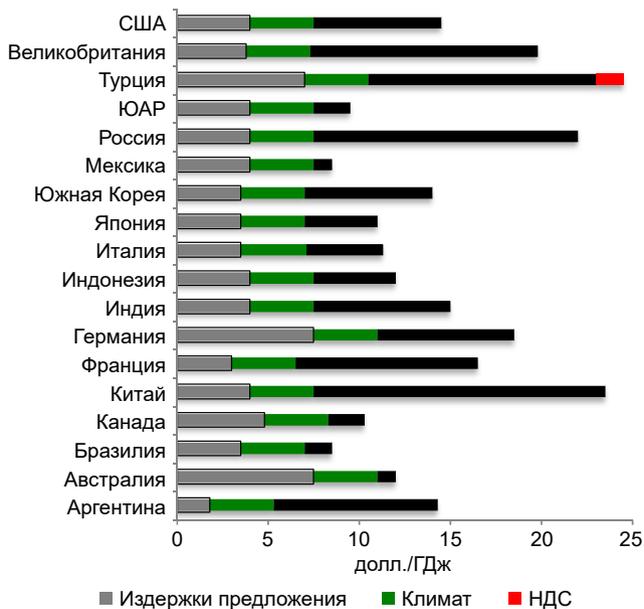
⁴ Уровень бедности в Сибири рассчитан как среднегеометрическая величина индексов бедности в 24 регионах Сибири в 2018 г. Согласно методологии Федеральной службы государственной статистики, уровень бедности показывает долю населения региона с денежными доходами ниже региональной величины прожиточного минимума, размер которого в Сибири варьируется в среднем от 9–11 тыс. руб., за исключением Якутии и Чукотки.

⁵ В Сибири объем электроэнергии, который можно купить на среднемесячную зарплату, составляет 12 800 кВт ч, а в Канаде – 28 571 кВт ч. При этом для населения цены электроэнергии сопоставимы по ППС: в Сибири 8–11 центов и в Канаде 7–16 центов. Конвертация проведена по курсу национальной валюты по ППС, согласно данным МВФ: 1 RUB = 25,08 международных доллара, 1 CAD = 1,21 международных доллара.

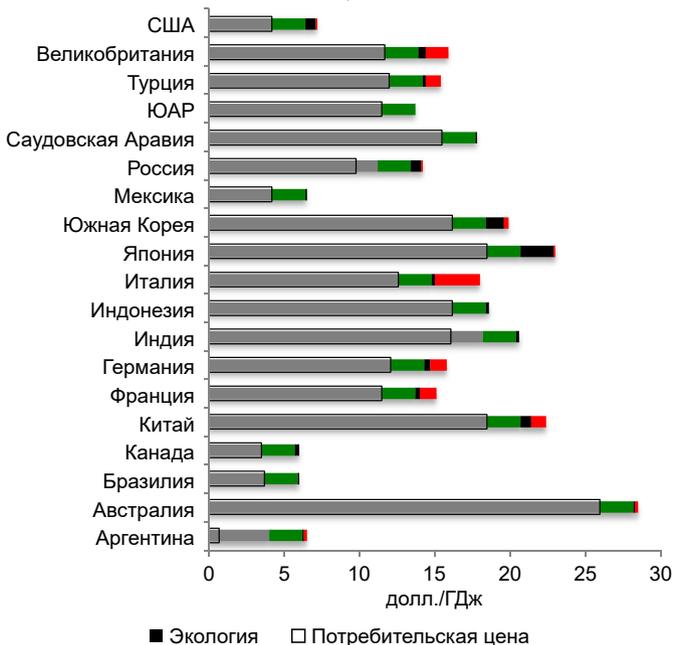
энергии. Низкий уровень LCOE для ВИЭ валиден при небольших объемах подключения к электросетям. Если резко увеличить масштабы установок, то издержки кратно возрастают, как это показал опыт Испании, Италии, Японии и даже Германии, где в последние годы сокращают ввод мощностей в связи с каскадным ростом сетевых затрат. Как отмечается в докладе MIT Solar Energy, даже если сделать оборудование и установку бесплатными, возобновляемая энергетика не сможет вырабатывать электроэнергию дешевле, чем угольная генерация, из-за дороговизны компонентов «баланса системы» (Balance of System, BOS costs): затрат на установку дополнительного оборудования для конвертации постоянного тока в переменный, аккумуляторов для хранения полученной электроэнергии, кабелей для соединения с электросетью и т. д. Без кардинального снижения стоимости системных и сетевых параметров возобновляемая энергетика при всей вероятной привлекательности ее себестоимости даже с учетом субсидий будет оставаться малодоступным источником энергии.

Показатель LCOE малоинформативен и потому, что не учитывает негативные внешние последствия, так называемые экстерналии, использования угля и природного газа для здоровья населения, состояния окружающей среды и климата. Главные принципы оценки экологических факторов были сформулированы, как было отмечено выше, *Н. Джорджеску-Регеном*, который показал, что стандартная экономическая теория, изучая кругооборот обмена между фирмами и домохозяйствами, потеряла из виду зависимость разного рода экономической деятельности от изменений в качестве природных ресурсов и в базисных процессах по поддержанию жизни природы [25].

В расчет LCOE включаются только рыночные цены на топливо, которые, по оценкам МВФ, занижены в несколько раз по сравнению с полноценной стоимостью природных ресурсов, задействованных при производстве соответствующих видов энергии. На рисунке 3 представлен разрыв между потребительскими ценами и полноценной стоимостью угля и природного газа.



а)



б)

Рис. 3. Рыночная и полноценная стоимость угля (а) и природного газа (б) в странах Большой двадцатки.
Источник: МВФ, 2017.

Во многих странах потребительские цены установлены на уровне издержек предложения, а Аргентина и Россия продают газ на внутреннем рынке ниже себестоимости. Уголь имеет самые высокие экстерналии в связи с загрязнением окружающей среды и изменением климата, хотя его текущая цена, как правило, в разы дешевле газа. Например, в России потребительская цена угля составляет в среднем 4 долл. за 1 ГДж, но с учетом негативных экстерналий он должен стоить в 5 раз дороже, то есть 22 долл.; а цену природного газа, который на внутреннем рынке продается на 1,5 долл. ниже себестоимости, следует повысить в 1,5 раза, до 14 долл. за 1 ГДж.

*Субсидии*⁶ в виде прямых финансовых ассигнований или налоговых льгот также значительно занижают рыночную цену электроэнергии. С точки зрения методологии анализа выгод и издержек, субсидии – это трансфер, который перераспределяет денежные средства без увеличения благосостояния общества, хотя с точки зрения финансового анализа – это чистые выгоды, которые увеличивают рентабельность энергообъекта для частных инвесторов. Поэтому при экономической оценке стоимости электроэнергии субсидии следует исключать из анализа.

В абсолютном выражении мировая углеводородная генерация получает ежегодно примерно в полтора раза больше субсидий, чем ВИЭ: 261 млрд долл. против 150. Но если эти суммы поделить на объем отпущенной электроэнергии, то это сравнение будет не в пользу возобновляемой энергетики [26]. Последняя, согласно расчетам Глобальной инициативы по субсидиям (GSI), получает в 5 раз больше дотаций в расчете

⁶ *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 (то есть включающей не только углеводороды, но и ВИЭ) с независимыми оценками считаются расчеты GSI.*

на 1 кВт ч, чем углеводороды: на 1кВт ч возобновляемой энергии приходится 5 центов, биотоплива – 5,1 цента, атомной – 1,7 цента, топливной – 0,8 цента [27]. Стоит отметить, что прорывные технологии в углеводородной энергетике, например технологии улавливания и хранения двуокиси углерода (УХУ), также субсидируются подобно ВИЭ. Например, странами Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) предусмотрены ежегодные субсидии от 2,5 до 4 млрд долл. с 2010 по 2020 г. для внедрения технологии улавливания и депонирования CO₂, использование которой делает традиционную энергетику экологически чистой. Но пока эти новые электростанции произвели ничтожно мало электроэнергии в перерасчете на выделенные миллиарды поддержки, и с учетом субсидий «чистые» технологии сжигания углеводородов остаются дорогими.

Более того, эффекты от субсидий традиционной энергетике неравномерно распределяются по разным группам населения. Исследование по 35 странам показало, что верхний квантиль по доходам населения присваивает в 6 раз больше эффектов от субсидий из-за льготных цен на энергоносители, нежели самый нижний квантиль [28]. Самое высокое энергетическое неравенство – в нефтегазовом секторе: 93 из 100 долл. приходится на потребление верхних трех квантилей населения в мире. Неравномерность распределения льготных цен на ископаемые стимулирует чрезмерное потребление и усиливает социальное неравенство в обществе.

В Сибири текущая дешевизна углеводородной генерации также достигается не вполне рыночными способами, а с использованием *прямых и скрытых субсидий*.

Во-первых, разнообразные нерыночные надбавки достигают 25% в цене электроэнергии для промышленных предприятий. Население платит за электричество по регулируемым государством тарифам, которые не покрывают всех затрат на производство и доставку энергии. Непокрытые издержки оплачивают все прочие потребители, подключенные к распределительным сетям, в первую очередь – энергоемкие промышленные предприятия Сибири. По оценке ФАС, такое перекрестное субсидирование в российских электросетях в 2018 г. составило

220 млрд руб. Помимо этого, промышленные потребители Сибири оплачивают выравнивание тарифа до среднего по стране в удаленных дальневосточных регионах, а также нерыночные составляющие тарифа по всем договорам о предоставлении мощности (ДПМ)⁷, которые включают не только затраты на строительство и модернизацию мощностей, но и гарантированную доходность инвесторов⁸ (рис. 4). Показательно, что в мегарегионе электроэнергия для промышленных предприятий в 2,5 раза дороже, чем, например, в Канаде⁹. Согласно оценкам МЭА, Россия находится на втором месте после Китая по уровню субсидирования электроэнергетики и ежегодно направляет на эти цели приблизительно 2,2% ВВП (табл. 2).

Во-вторых, компании, добывающие ископаемое топливо, получают разнообразные налоговые преференции. Согласно оценкам ОЭСР, общая ежегодная поддержка добычи углеводородов в России составляет около 200 млрд руб. (рис. 4). Например, для стимулирования изучения зрелых месторождений и освоения новых в Сибири установлено льготное налогообложение [29]. Более того, в условиях больших расстояний в Сибири железнодорожная доставка угля субсидируется на 12–15%, что выгодно как угольщикам, так и РЖД, обеспечивающей себе 45% гарантированного грузопотока, особенно на восточном направлении.

⁷ ДПМ обязует инвестора построить определенное количество новых генерирующих мощностей в установленный срок. Договор гарантирует им возврат инвестиций через повышенные платежи потребителей, но при нарушении сроков ввода инвесторов ожидают штрафы. Согласно глоссарию Ассоциации НП Совета рынка, ДПМ устанавливают также технические характеристики подлежащего вводу генерирующего оборудования.

⁸ Цена ДПМ рассчитывается исходя из средней доходности долгосрочных государственных облигаций, прогнозная оценка которых составляет 7,7% (октябрь 2019 г.).

⁹ В Сибири для промпредприятий цены электроэнергии по ППС варьируются в диапазоне 16–23 цента/кВт ч (4–6 руб./кВт ч), а в Канаде – 4,5–9,8 центов (5,6–11,8 центов канадского долл.) Конвертация проведена по курсу национальной валюты по ППС согласно данным МВФ: 1 RUB = 25,08 международных долл., 1 CAD = 1,21 международных долл.

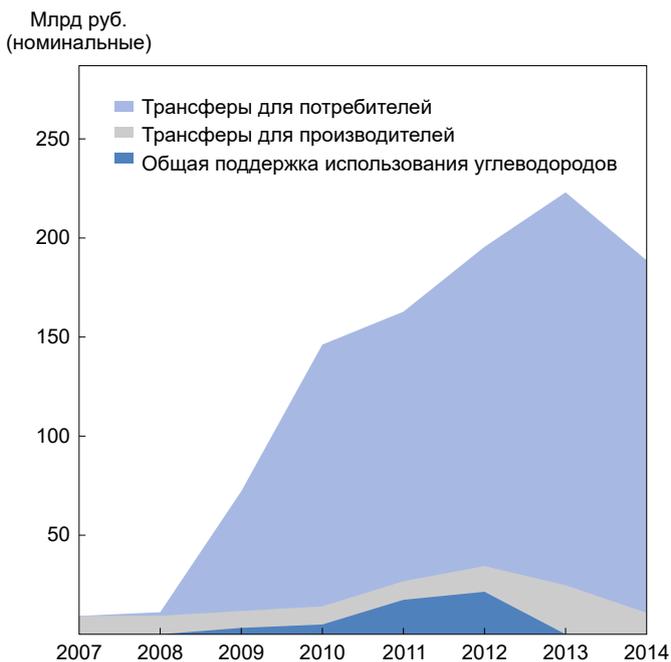
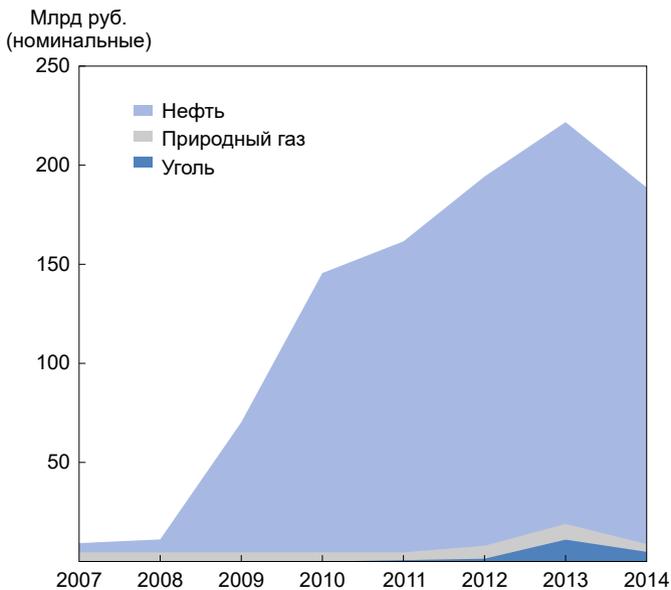


Рис. 4. Общая поддержка добычи ископаемого топлива в России, 2007–2014 гг.

Таблица 2

Топ-5 стран с самым высоким уровнем субсидий в электроэнергетике

| Страна | Субсидирование электроэнергетики, млн долл. (в ценах 2016 г.) | Субсидирование углеводородной энергетики* | | |
|-------------------|---|---|--|--|
| | | Средний уровень субсидирования**, % | Уровень субсидий на душу населения, долл./чел. | Совокупный объем субсидирования, % ВВП |
| Китай | 24 121,5 | 4 | 26,7 | 0,3 |
| Россия | 18 507,1 | 22 | 195,9 | 2,2 |
| Индонезия | 11 212, 4 | 27 | 59,7 | 1,7 |
| Мексика | 8 589,7 | 12 | 75,9 | 0,9 |
| Саудовская Аравия | 6 713, 4 | 52 | 922,3 | 4,6 |

Примечания. * Общий объем субсидий углеводородной энергетике включает субсидирование цен в двух секторах: добыча ископаемого топлива и электроэнергетика.

** Средний уровень субсидирования представляет долю субсидий в общем объеме поставок углеводородов и отпуска электроэнергии.

Источник: составлено автором на основе данных World Energy Outlook 2018.

В-третьих, помимо налоговых преференций, энергокомпании получают льготное кредитование от госбанков. Условия кредитования крупных добывающих и генерирующих компаний определяются, как правило, не критериями финансовой эффективности, а политическими мотивами. Так, после введения финансовых санкций против России (2014 г.) банки с госучастием открыли кредитные линии по льготным процентным ставкам для перекредитования энергокомпаний в целях реализации новых угольных проектов в Якутии и нефтегазовых – на Ямале. Владея транснациональным бизнесом, крупные российские энергокомпании привлекают поддержку отечественных финансовых институтов и для своих зарубежных проектов. Согласно оценкам независимого аналитического центра The Overseas Development Institute, финансовые институты, аффилированные с российским правительством, ежегодно выделяют 244 995 млн руб. (6686 млн долл.) для поддержки проектов углеводородной тематики (табл. 3).

Таблица 3

Аффилированные с правительством РФ финансовые институты, поддерживающие углеводородные проекты, 2013–2014 гг. (млн долл.)

| Институт | Добыча угля | Угольная генерация | Добыча нефти и газа | Нефтегазовые трубопроводы и электростанции, нефтеперерабатывающие заводы | Другие проекты углеводородной тематики | Общий объем финансирования за 2013–2014 гг. | Ежегодный средний объем финансирования |
|------------------------------|--------------|--------------------|---------------------|--|--|---|--|
| <i>Национальные проекты</i> | | | | | | | |
| РосБР* | 5 004 | - | - | - | - | 5 004 | 2 502 |
| Сбербанк | - | - | 2 940 | 1 750 | - | 4 690 | 2 345 |
| ВТБ | 1 333 | 43 | 27 | 348 | - | 1 751 | 875 |
| <i>Итого</i> | <i>6 337</i> | <i>43</i> | <i>2 967</i> | <i>2 098</i> | <i>0</i> | <i>11 444</i> | <i>5 722</i> |
| <i>Международные проекты</i> | | | | | | | |
| Сбербанк | - | 21 | 255 | 690 | 96 | 1 061 | 531 |
| РосБР | - | 400 | - | 140 | - | 540 | 270 |
| ВТБ | - | - | 33 | 33 | - | 66 | 33 |
| Правительство РФ | - | 25 | - | - | - | 25 | 12 |
| ЭКСАР** | - | - | - | 0,4 | - | 0,4 | 0,2 |
| Банки развития | - | 17 | 81 | 138 | - | 236 | 118 |
| <i>Итого</i> | <i>0</i> | <i>463</i> | <i>369</i> | <i>1 001</i> | <i>96</i> | <i>1 928</i> | <i>964</i> |

Примечания. * Российский банк развития (РосБР) поменял в 2014 г. свое название на ОАО «Российский Банк поддержки малого и среднего предпринимательства» (МСП Банк).

** Российское агентство по страхованию экспортных кредитов и инвестиций (ЭКСАР) создано в 2011 г. для страховой поддержки экспортных проектов России.

Источник: составлено автором на основе данных независимого аналитического центра The Overseas Development Institute, 2019.

ВИЭ-генерация в Сибири также получает существенную поддержку. *Во-первых*, используется апробированный для традиционных электростанций внеыночный механизм – ДПМ о строительстве крупных сетевых объектов ВИЭ. Этот договор дает возможность в течение 15 лет получать повышенные платежи, обеспечивающие возврат капзатрат и 14% доходности для инвестора введенной «зеленой» мощности [30], хотя в Сибири (второй ценовой зоне) в цене на мощность на оптовом рынке ДПМ-составляющая за счет ввода ВИЭ-генерации в 10 раз меньше, чем за счет строительства ТЭС по такой же схеме: 32 тыс. руб./МВт против 262 тыс. руб./МВт соответственно. *Во-вторых*, поддержка ВИЭ осуществляется косвенно, посредством господдержки промышленных предприятий, производящих оборудование для солнечных и ветровых станций, например в рамках специальных инвестиционных контрактов (СПИК) между инвестором и государством или займов Фонда развития промышленности (ФРП). Российское правительство уже потратило 40 млрд руб. на локализацию¹⁰ производства оборудования для ввода 1 ГВт возобновляемой энергетики, и для дополнительного 1 ГВт потребуется еще 15–25 млрд руб. [31].

Все эти меры активной господдержки ВИЭ-генерации в Сибири, как, впрочем, и в мире, направлены на привлечение дополнительных инвестиций, которые в соответствии с концепцией «кривых обучений»¹¹ способствуют повышению

¹⁰ Для участия в конкурсе по отбору мощности в рамках ДПМ объекты возобновляемой энергетики должны удовлетворять следующим требованиям по локализации: для ветроустановок мощностью более 5 МВт уровень локализации должен быть 65%, а для солнечных электростанций мощностью более 5 МВт – 70%. В перспективе этот показатель планируется увеличить до 90 и 100% соответственно.

¹¹ Согласно популярной концепции «кривых обучения», рост инвестиций и расходов на исследования и разработки ведет к снижению стоимости передовых технологий за счет получения дополнительных знаний и производственного опыта, необходимых для усовершенствования технологии при дальнейшем ее масштабировании. Считается, что эффект обучения во многом объясняет успех солнечной и ветровой генерации с начала инвестиционного бума середины 2010-х гг.

эффективности энергоустановок, и в результате себестоимость выработки электроэнергии снижается. Но, в отличие от мировой динамики, капзатраты новых СЭС в Сибири не снижаются и продолжают оставаться в 1,5 раза выше, например, удельной стоимости строительства пилотной электростанции на новых экспериментальных парогазовых турбинах в России. Новые СЭС в Сибири продают электроэнергию за 34–36 руб./кВт ч на оптовом энергорынке, хотя среднерыночный уровень цен составляет 3,5–6 руб./кВт ч. ДПМ позволяют собственникам СЭС и ВЭС получать повышенные платежи, исходя из установленной мощности, а не из объемов выработанной электроэнергии, как это имеет место в мировой практике, поэтому они не заинтересованы в повышении эффективности технологических процессов и снижении себестоимости. 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»* [32].

ПОДВОДЯ БАЛАНС ВЫГОД И ИЗДЕРЖЕК

По доступности угольные и газовые электростанции интегрированы в существующие энергосети Сибири и извлекают экономию при масштабном производстве электроэнергии, что пока недоступно для возобновляемой энергии. Хотя «сетевые» выгоды существенно ограничены высокими потерями в сетях и износом энергооборудования, угольная генерация имеет самые низкие приведенные затраты, что позволяет компенсировать технологическую отсталость и оставаться самым доступным источником энергии для населения, 17% которого живут за чертой бедности. Потребляя 60% электроэнергии в мегарегионе, промышленные предприятия также выигрывают от использования традиционной энергии, хотя вынуждены оплачи-

вать разнообразные внерыночные надбавки, достигающие 25% в цене электроэнергии. Более того, цены киловатт-часа не учитывают ущерб, наносимый здоровью, экологии и климату, а также прямое и косвенное субсидирование добычи ископаемого топлива. Все это занижает реальные издержки использования традиционной энергии в Сибири.

Использование ВИЭ в Сибири по-разному представлено в двух концепциях электросетевой интеграции: децентрализации и развития высоковольтных магистральных линий электропередач. Децентрализация важна для энергоснабжения отдаленных регионов Сибири, но выработка электроэнергии для «медвежьих углов» не дает возможности получить «экономии масштаба», что важно для долгосрочного развития новой отрасли. Проектирование глобальных энергомоств могло бы устранить перебои в поставках переменчивой по природе возобновляемой энергии, но здесь возникают новые риски – трудности трансграничного взаимодействия и межрегиональные диспропорции.

Доступность по цене ВИЭ-генерации также достигается не вполне рыночным инструментом – применением ДПМ, которые покрывают не только затраты на строительство СЭС и ВЭС, но и обеспечивают инвесторам гарантированную доходность. Промышленные предприятия также получают господдержку для 100% локализации производства ветряков и солнечных модулей. Но, несмотря на субсидии, солнечная генерация остается самой дорогой в Сибири.

Доступность электроэнергии сохраняет статус главного критерия сравнительной оценки источников энергии. Согласно прогнозам экспертов группы The Economist, *«благодаря новым технологиям, природный газ и солнечная генерация станут намного дешевле для потребителей к 2050 году»* [32]. Перспективность источников энергии будет определяться их способностью преобразовываться в электроэнергию с минимальными издержками. В Сибири пока эту способность, даже с учетом негативных экологических эффектов, лучше демонстрирует традиционная генерация, нежели возобновляемая энергетика.

ГЛАВА 5

ЭКОЛОГИЯ, КЛИМАТ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ

Экология и климат считаются главными факторами, которые изменили «правила игры» в энергетике. До учреждения в 1970 г. Всемирного дня Земли (22 апреля), выпуска в 1972 г. авторитетного исследования «Пределы роста» и основания в 1988 г. Межправительственной комиссии по климату энергетический выбор осуществлялся без особого внимания к проблемам экологии и климата. Известный российский ученый *Н. И. Моисеев* подчеркивал, *«что определяющее значение в истории общества (во всяком случае, ближайших десятилетий) будут играть его взаимоотношения с окружающей природой»* [1, с. 84]. В этих взаимоотношениях позиции двух типов энергии – традиционной и возобновляемой – противоположны: в отличие от возобновляемой энергии при производстве электроэнергии за счет сжигания углеводородов образуется намного более значительное количество вредных выбросов, а добыча и транспортировка ископаемого топлива негативно влияют на окружающую среду.

Экологические различия традиционных и возобновляемых источников энергии важны для Сибири, ведь, как утверждают авторитетный российский ученый *В. И. Данилов-Данильян* и немецкий журналист *И. Е. Рейф*, *«через сохраняемую в неприкосновенности природу Сибири и Дальнего Востока Россия вно-*

сит 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» [2].

Методология анализа выгод и издержек является инструментом, адекватным экономической оценке последствий деградации окружающей среды, изменений климата и ухудшения здоровья населения. Эти последствия, как правило, сводятся к монетизированным надбавкам в рыночной цене электроэнергии (гл. 4, прил. А), но монетарные оценки – это всего лишь один из способов выражения происходящих явлений.

Вопрос об измерении в денежном эквиваленте таких благ, как биоразнообразие, здоровье и климат, является дискуссионным; оценки зависят от конъюнктуры и часто ненадежны. С. Дж. М. Жиро ван ден Берг утверждает, что «перед лицом крайней неопределенности количественный анализ часто не способен предложить более полный информативный массив, чем качественный анализ» [3], более точный и достоверный, чем монетизированные оценки. В этой главе в большей степени используется *качественный подход*, который на основе данных международной и отечественной статистики, кейсов, социологических интервью позволяет соотнести цифровые показатели со свидетельствами, дескрипциями и экспертными суждениями, касающимися экологических последствий использования традиционных и возобновляемых источников энергии в Сибири.

В интерпретации экологических последствий важную роль играет *фактор времени*, то есть межвременное сопоставление текущих издержек и ожидаемых выгод, настоящих и будущих эффектов. В результате применения темпорального различия возникла идея о возобновляемости ресурсов, таких как вода, биоразнообразие, солнечная и ветровая энергия, а также концепция исчерпаемости ресурсов (углеводородов).

Без временного лага невозможно оценить ущерб, причиненный здоровью, степень климатических и природных изменений, так как многие экологические эффекты накапливаются

длительное время и имеют необратимый характер. Как образно подметил А. Гор, «экология – это баланс между уважительным отношением к прошлому и правдивым отношением к будущему, между верой в индивидуальность и согласием в обществе, между нашей любовью к миру и нашим страхом потерять его» [4, с. 242]. Направления поиска этого баланса при использовании традиционных и возобновляемых источников энергии кардинально отличаются, что становится очевидным при рассмотрении трех факторов: ухудшения здоровья населения, изменения климата и загрязнения окружающей среды.

ЭКОЛОГИЯ И ЗДОРОВЬЕ

Энергетика является главным источником загрязнений в современной экономике. Производство и использование энергоносителей дает основной мировой объем пяти опасных выбросов: почти 100% глобальной эмиссии оксидов серы (SO_2) и азота (NO_2), 85% мелкодисперсных веществ (PM) и 92% диоксида углерода (CO_2); в России – 35% SO_2 и 39% NO_2 [5].

Возобновляемая энергия, несмотря на «чистоту» генерации, также сопряжена с выбросом токсичных газов при производстве оборудования с использованием энергоемких металлов, таких как алюминий для солнечных станций и никель для ветряков. Но в расчете на 1 кВт ч традиционная энергетикакратно превосходит ВИЭ по выбросам: для угольной генерации эмиссия NO_2 составляет от 200 до 2000 мг/кВт ч, SO_2 – 100–4500 мг/кВт ч, а для солнечной – всего 60–120 мг/кВт ч и 30–70 мг/кВт ч соответственно. В результате использования бурого и каменного угля выброс в атмосферу одного из самых вредных тяжелых металлов – кадмия – составляет 6,2 и 3,1 г на 1 ГВт ч электроэнергии; для сравнения: солнечная энергетика дает 0,6 г/ГВт ч, атомные электростанции – 0,5 г/ГВт ч и газовая генерация – всего 0,2 г/ГВт ч. Еще оборудование электросетей требует 4,1 г кадмия для передачи 1 ГВт ч электроэнергии, что нужно учитывать при организации инфраструктуры, необходимой для развития ВИЭ.

Сибирь, по данным официальной статистики¹, в 2018 г. произвела в стране до 58% вредной эмиссии от сжигания углеводородов (шесть видов выбросов) [6]. 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 продолжительный зимний период. Показательно, что на мегарегион приходится больше половины городов России с «высоким и очень высоким уровнем загрязнения» [7]. Угольная генерация в Сибири является источником мелкодисперсной пыли диаметром 2,5 и 10 мкм (PM 2.5 и PM 10) – главного виновника хронических и злокачественных заболеваний органов дыхания. По этому показателю Россия превосходит развитые страны в 2,5 раза, хотя это меньше, чем в зависимых от угля Китае и Польше (рис. 1). Но для эмиссии мелкодисперсной пыли отсутствует допустимый предел выбросов, так как, в отличие от SO₂ и NO₂, она способна нанести вред здоровью в любом разовом количестве [8].

Ежегодный мониторинг Росгидромета дает такую качественную оценку: *«Средние концентрации диоксида азота, взвешенных частиц, оксида азота и диоксида серы в городах Урала, Сибири и Дальнего Востока (азиатской части России), выше на 20–50%, где условия рассеивания примесей в атмосфере менее благоприятны, чем в европейской части РФ»*. Более того, средние концентрации бензапирена в азиатской части РФ в почти в 6 раз выше, чем в европейской; причиной столь существенного различия названо *«использование в восточной части России более 80% генерирующих мощностей тепловых электростанций»* [9]. Среднегодовых значений эмиссии PM по

¹ Эти показатели могут быть выше, так как российские экологи и ученые отмечают отсутствие оперативных и достоверных данных о загрязнении воздуха в Сибири. Два официальных источника – Роспотребнадзор и Росгидромет – для сбора статданных имеют собственные сети мониторинга, не отвечающие европейским критериям. Несколько современных станций работает в европейской части России: в Москве (Мосэкомониторинг), Санкт-Петербурге, Казани. В Сибири компанией «ТИОН» запущен пилотный проект по независимому мониторингу качества воздуха – CityAir.

регионам Сибири в открытом доступе нам обнаружить не удалось, но независимая платформа мониторинга атмосферного воздуха CityAir дает посуточную информацию о трех городах мегарегиона: Новосибирске, Новокузнецке и Южно-Сахалинске. Во всех этих городах имеются крупные угольные электростанции и эмиссия РМ 2.5 иногда достигает 180–290 мкг/м³, что в 20 раз превышает предел, установленный ВОЗ; наибольшие объемы сбрасываются ночью и утром.

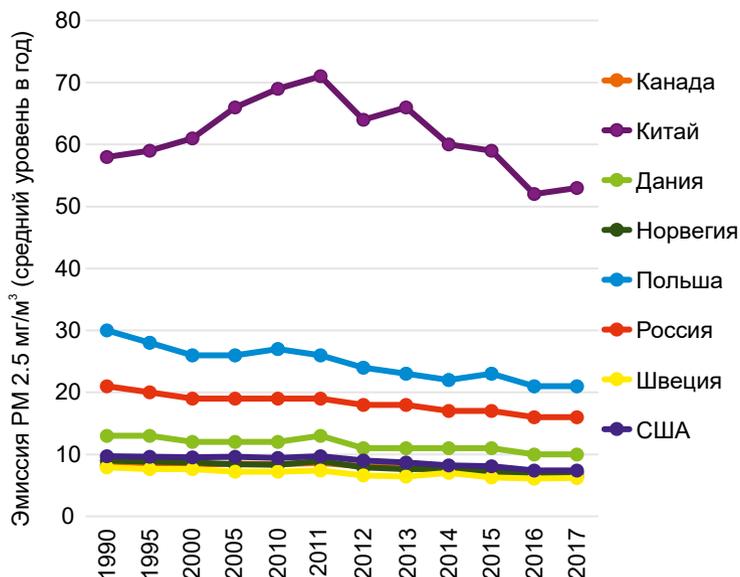


Рис. 1. Среднегодовая эмиссия РМ 2.5 на душу населения, 1990–2017 гг.
 Источник: State of Global Air, 2019.

Уникальная природа Сибири страдает от «одержимости» использования углеводородов. Месторождения и добыча углеводородов находятся в местах обитания многих редких и исчезающих видов животных и растений. Для сокращения протяженности маршрутов инфраструктурные проекты проходят по заповедным территориям, которые охраняются международным правом, но не всегда – российским законодательством. В частности, строительство южного направления газопровода

«Сила Сибири» затрагивает объект «Золотые горы Алтая», который находится под охраной ЮНЕСКО, что не помешало в 2012 г. местной власти Республики Алтай разрешить реализацию проекта на территории природного парка. Согласно Постановлению, *«на территории парка допускается строительство, эксплуатация, а также реконструкция и капитальный ремонт линейных объектов»*, к которым можно отнести и газопровод [10]. В 2018 г. ЮНЕСКО на 42-й сессии выразила озабоченность продолжающимися работами по газопроводу и намерена поместить объект «в список под угрозой» [11]. Сохранность природы Сибири становится в большей степени объектом внимания международных организаций, нежели местной власти и энергокомпаний в России.

Неблагоприятная экологическая ситуация отчасти объясняется высокой урбанизацией «просторной» Сибири: 84,8% населения мегарегиона проживает в городах, в отличие, например, от 30,9% и 49,2% масштабно использующих уголь Индии и Китая. Естественно, что жизнь в сибирских городах невозможна без мощных электростанций как источника электроэнергии и тепла для миллионов людей и крупной промышленности [12]. Сами по себе мощные электростанции более эффективны в борьбе с загрязнением воздуха: так, Китай, руководствуясь «Трехлетним планом действий для победы в войне за синее небо» (Three-Year Action Plan for Wining the Blue Sky War), сумел кардинально улучшить качество воздуха в 338 городах, преимущественно за счет перехода от децентрализованных индивидуальных котельных к строительству современных угольных и газовых электростанций для централизованного снабжения населения электроэнергией и теплом [13]. В Сибири же устаревшие и малоэффективные централизованные электростанции, сжигающие уголь, не позволяют снизить показатели эмиссии вредных веществ. Хотя существует другая точка зрения: *А. О. Кокорин и В. Ю. Поташиников* рассматривают страновую динамику выбросов и приходят к выводу, что *«проблем, связанных с загрязнением воздуха или устаревшими угольными станциями, в России несоизмеримо меньше, чем, например,*

в Китае, а для развития страны гораздо более актуально решение вопроса низкой энергоэффективности экономики» [14].

Другая причина сложившейся ситуации – низкие экологические нормативы и пассивная правоприменительная практика. Показательно, что, по данным Росприроднадзора, более 75% превышений лимитов вредных выбросов в России фиксируется именно в удаленной от федерального центра Сибири. При этом передовые технологии и отечественные разработки, которые могуткратно снизить выбросы, не применяются; как отмечают респонденты в нашем исследовании, *«легче заплатить штраф за нарушение, которое могут зафиксировать, а могут и нет, нежели инвестировать в дорогостоящее оборудование да еще постоянно его содержать, так как оно потребляет много электроэнергии и денег»*. Жадность побеждает в столкновении с принципом общего блага, а скромные экологические предписания часто не соблюдаются. Например, после инспекции порта Находка, где идет перевал угля на экспорт в АТР, министр юстиции РФ *К. А. Чуйченко* отметил: *«Проверяющие приехали – пушки по пылеподавлению работают. Проверяющие уехали – пушки перестали работать» [15]*. Так же можно описать ситуацию с промышленной безопасностью шахт и электростанций.

Если же удастся зафиксировать злоупотребление, то нарушитель облагается низкими экологическими штрафами. Например, в 2017 г., в связи с многочисленными обращениями граждан, Кемеровской ГРЭС был назначен штраф в размере 80 тыс. руб. за эмиссию вредных веществ без надлежащей очистки с превышением предельно допустимой нормы в 1,5 раза [16]. Но такой штраф составляет менее 1% годовой выручки АО «Кемеровская генерация» и несоизмерим с возможными последствиями для здоровья пятисоттысячного населения Кемерово.

Сибирские энергокомпании пытаются отчасти компенсировать экологические издержки за счет частных инициатив по восполнению биоразнообразия региона и восстановлению здоровья населения. Угольные компании Кузбасса участвуют

в программе «Чистый уголь = зеленый Кузбасс» и финансируют работы по восполнению поголовья рыбы в местных реках. Диверсифицируя бизнес, эти компании инвестируют в развитие курортного комплекса в Белокурихе (Алтай) и ежегодно предоставляют несколько сотен льготных путевок шахтерам и их семьям для планового лечения. Кроме того, компании исправно отчисляют обязательные платежи на охрану окружающей среды: в 2017 г. – 151 млрд руб. (0,9% ВВП мегарегиона); но эти отчисления одни из самых низких в мире (рис. 2).



Рис. 2. Поступления экологических платежей по отраслям в странах мира, 2018 г. (в % к ВВП)

Источник: OECD, 2020.

Однако все эти экологические налоги, благотворительные акции в итоге легитимизируют загрязнение окружающей среды энергокомпаниями и придают им статус социально ответственных предприятий, хотя воздух и вода не становятся чище ни в мире, ни в Сибири. Лауреат Нобелевской премии по экономике *Ж. Тироль* подчеркивает, что «установление платы за пользование таких общественных благ, как окружающая сре-

да, CO₂, вода, воздух, приватизирует их использование за счет предоставления частным компаниям эксклюзивного доступа к ним на время, пока они платят за это» [17]. В действительности издержки общества намного превышают частные компенсации: по оценкам ОЭСР, ущерб, нанесенный российской экономике в 2015 г. в результате высокого уровня смертности из-за загрязнения воздуха, составляет 447 658 млн долл. или 12,5% ВВП (табл. 1). Хотя отечественные экономисты в 2010 г. считали, что «такой ущерб от загрязнения воздуха вредными веществами составил в мире в целом 5% мирового ВВП, России – 6%» [18].

Научное сообщество накопило крупные массивы данных об устойчивой корреляции выбросов вредных веществ и состояния здоровья населения. Хорошо известно, что электростанции, сжигающие ископаемое топливо, производят значительную эмиссию вредных веществ, являющихся источниками сердечнососудистых и респираторных заболеваний. Этих «невидимых убийц» Г. Фуллер назвал ответственными за «наибольшее число трагедий в мирное время», что сподвигнуло Великобританию еще в 1956 г., после лондонского Великого смога (London Great Smog, декабрь 1952), резко ограничить сжигание углеводородов; в 1970 г. США ввели запрет на эмиссию шести главных элементов: взвешенных частиц, озона, оксида углерода, диоксида серы (SO₂), оксида азота (NO₂), свинца [19]. За последние пятьдесят лет, согласно данным Г. Фуллера, угроза просто стала менее видимой и превращается в норму: 91% населения в мире живет в местах с уровнем загрязнения воздуха, превышающим нормы ВОЗ.

В научном дискурсе имеются многочисленные квазиэксперименты, которые показывают трагические последствия сжигания ископаемого топлива. Т. Смедли в своей книге описывает один из таких впечатляющих экспериментов в Китае (с 1950 по 1980 г.), в ходе которого население, живущее на более холодном северном берегу реки Хуайхэ (Huai River), обеспечивалось углем за счет государства, а население теплого южного берега было лишено этих субсидий [20]. Исследовате-

ли из Чикагского университета проанализировали уровень смертности в 90 городах в русле Хуайхэ и получили шокирующие результаты, которые перепроверяли несколько раз: из-за выбросов мелкодисперсной пыли, объем которых на 55% превосходил уровень эмиссии на южном берегу реки, жители северного берега прожили в среднем на 5,5 лет меньше вследствие «кардиоваскулярной смертности». По подсчетам исследователей, благотворительная помощь углем отобрала у населения этого региона 2,5 млн лет жизни. После детального анализа других кейсов *Т. Смедли* завершает свою книгу непреложным выводом в целях улучшения экологии: «*Электрифицируйте все самое важное!*».

Таблица 1

Издержки в результате загрязнения как причины преждевременных смертей для экономик стран БРИСК и ОЭСР, 2015 г.

| Страны | В долларах США (цены 2015 г.), млн | В процентах к ВВП |
|---------------------|---------------------------------------|----------------------|
| <i>Страны БРИСК</i> | | |
| Бразилия | 98 551 | 3,1 |
| Китай | 1 507 189 | 7,9 |
| Индия | 803 538 | 10,6 |
| Индонезия | 96 415 | 3,5 |
| Россия | 447 658 | 12,5 |
| ЮАР | 37 314 | 5,2 |
| <i>Страны ОЭСР</i> | | |
| Канада | 29 277 | 1,8 |
| Дания | 8 872 | 3,3 |
| Франция | 75 533 | 2,9 |
| Германия | 178 558 | 4,6 |
| Япония | 207 795 | 4,4 |
| Великобритания | 106 594 | 3,9 |
| США | 431 598 | 2,4 |

Источник: [12].

В России, несмотря на наметившуюся положительную динамику, загрязнение воздуха входит в топ-10 рисков преждевременной смерти (рис. 3) и, по данным независимого международного Института определения и оценки медико-санитар-

ных показателей (Institute for Metrics and Evaluation, ИМЕ), каждые 100 тыс. населения нашей страны ежегодно утрачивает 1500 лет здоровой жизни в связи с загрязнением воздуха. Для измерения динамики используется показатель DALYs (Disability-Adjusted Life Years)², оценивающий суммарное «бремя болезни» и считающийся более репрезентативным показателем, нежели смертность, так как показывает не просто факт избегания смерти, а потенциал утраченных лет полноценной здоровой жизни (рис. 4). По этому показателю Россия опережает Польшу, хотя последняя превосходит нашу страну по уровню выбросов мелкодисперсной пыли. По-видимому, эффективная работа здравоохранения помогает отчасти нивелировать экологические издержки.

В Сибири, согласно российской статистике, ежегодно регистрируется 18–20% от общестрановой совокупности новообразований, заболеваний органов дыхания, системы кровообращения. С учетом того, что в мегарегионе проживает 21% населения, такая пропорция не выглядит аномальной, но здесь выше среднероссийского число хронических профессиональных заболеваний и инвалидности вследствие профессиональных заболеваний: на их долю приходится 46% и 34% от общероссийского уровня. Угледобывающие регионы Сибири отмечены высоким риском сердечно-сосудистых заболеваний, согласно атласу «Здоровье России», составленному под руководством профессора-кардиохирурга *Л. А. Бокерии* [21]. Добыча и транспортировка углеводородов представляют прямую опасность для жизни шахтеров; водителей цистерн, перевозящих дизельное топливо; рабочих, обслуживающих газовые трубо-

² Один DALY равен утрате одного года полноценной здоровой жизни. Если исходить из предпосылки, что любой человек – богатый или бедный, молодой или старый – может, ничем не боля, достичь максимальной среднестатистической ожидаемой продолжительности жизни 76 лет (как в России), тогда для пятилетнего ребенка, внезапно умершего от заболевания легких, этот показатель составит 71 DALYs, а для 75-летнего человека, всю жизнь отличавшегося отменным здоровьем, он будет равен 1 DALY. Болезни, которые ухудшают качество жизни, но не укорачивают ее (хронические заболевания легких, астма), увеличивают суммарный показатель DALYs.

провода и ЛЭП. О «человеческой» стоимости традиционной энергии свидетельствуют крупные аварии на угольных шахтах «Северная» в Воркуте в 2016 г. (36 погибших) и «Распадская» в Междуреченске (91 погибший) в 2010 г.



Рис. 3. Топ-10 рисков, в наибольшей степени сокращающих потенциальные годы жизни (DALYs), утраченные из-за нетрудоспособности или преждевременной смерти в России

Источник: Institute for Health Metrics and Evaluation, 2020.

Ученые Сибирского отделения РАН постоянно изучают экологическую обстановку в регионе, в результате чего уже сформирован валидный массив исследований, в которых дана экономическая оценка смога в Красноярске [22], рассчитаны экологические эффекты работы угольных электростанций [23; 24], проанализированы социальные издержки «черного» снега в Кемерове [25], спрогнозированы негативные последствия загрязнения водных и атмосферных ресурсов [26].

Возобновляемая энергетика также имеет ряд недостатков, влияющих на состояние здоровья и экологии. Как было отмечено выше, в результате производства энергоемкого оборудования для ВИЭ-генерации происходит небольшая эмиссия вредных веществ.

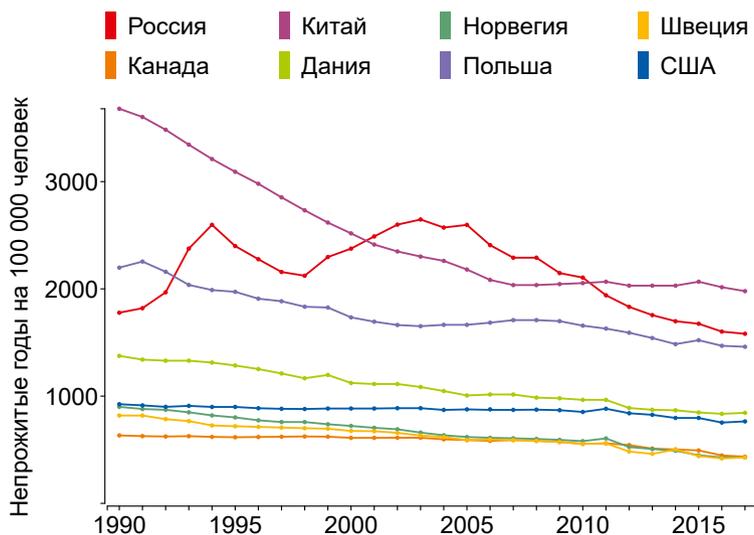


Рис. 4. Годы утраченной здоровой полноценной жизни в связи с заболеваниями, возникшими из-за загрязнения воздуха в отдельных странах (DALYs на 100 тыс. населения)

Источник: Institute for Health Metrics and Evaluation, 2020.

Однако имеется другой, более существенный, экологический ущерб: ежегодно ветровые станции убивают тысячи птиц, попадающих во вращающиеся лопасти генератора. Американская компания Duke Energy в 2013 г. выплатила 1 млн долл. штрафа за уничтожение в штате Вайоминг более 150 перелетных птиц, в том числе редких видов [27]. Также ветрогенераторы издают назойливый мелкочастотный звук, который вызывает дискомфорт у населения, проживающего вблизи станций [28]. Промышленные установки солнечных панелей в дикой местности Алтая изменяют привычную среду обитания животных и насекомых.

Значимые издержки видятся в необходимости специальных условий для утилизации содержащих тяжелые металлы деталей конструкций солнечных станций. Такие условия в Сибири пока не созданы, что только добавляет проблем в непростую ситуацию с утилизацией твердых отходов в мегарегионе.

СИБИРЬ КАК АГЕНТ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Эмиссия парниковых газов³ считается главным антропогенным фактором глобального потепления, а традиционная энергетика, производя 73% ежегодной глобальной эмиссии, является главным их эмитентом. Неоспоримым преимуществом возобновляемой энергии перед традиционной является кардинальное снижение эмиссии парниковых газов, прежде всего, двуокиси углерода. Для сравнения: угольные электростанции образуют 1210 г CO_{2-экв}⁴ на 1 кВт ч (из них 50 г связа-

³ Парниковые газы (ПГ, GHG) – это диоксид углерода (CO₂), метан (CH₄), озон (O₃) и закись азота (N₂O), сажа (черный углерод), водяной пар, которые нагревают поверхность Земли, мешая выделению инфракрасной (тепловой) энергии в космос. Выбросы CO₂ от сжигания ископаемого топлива остаются основным источником ПГ.

⁴ Концентрация эквивалента диоксида углерода (CO₂-экв) представляет собой такое количество CO₂ применительно к количеству определенного парникового газа, которое потенциально способно привести за данный период к такому же уровню потепления. Например, для одной и той же массы разных видов ПГ глобальный потенциал потепления различается: для метана за

ны с добычей угля); газовые – 760 (180), дизельные – 880 (100); возобновляемая энергетика – 28 г $\text{CO}_2\text{-экв}$ на 1 кВт ч из-за использования энергоемкого оборудования¹. Если перейти полностью на ВИЭ, то, по расчетам *Дж. Метсона*, мировая солнечная энергетика достигнет нынешнего уровня эмиссии двуокиси углерода (36 млрд т) уже через 7 лет, а при использовании ветроустановок это произойдет через 12 лет [29]. Но если сжечь все запасы (технологически и экономически доступные) и ресурсы (потенциально имеющиеся) угля, газа и нефти в мире, то, по оценкам *А. Отто*, произойдет эмиссия 50 трлн т двуокиси углерода, что в *1000 раз* больше нынешнего уровня [30]. Таким образом, ВИЭ остается меньшим из зол.

Будучи энергетической державой, Россия занимает четвертое место в мире по выбросам парниковых газов (4,9% глобальных выбросов), из которых 62% приходится на энергетический сектор, преимущественно на сжигание ископаемого топлива [31]. Если соотнести объемы эмиссии энергетики с ВВП страны, то по этому показателю Россия стабильно лидирует: 1600 т $\text{CO}_2\text{-экв}$ на 1 млн долл. ВВП, опережая немного Иран с 1650 т $\text{CO}_2\text{-экв}$ на 1 млн долл. ВВП (рис. 5). Для сравнения: Канада, Саудовская Аравия, даже Китай, который еще в 2011 г. находился на втором месте после нашей страны, – все они намного меньше зависят от эмиссии энергетики, хотя интенсивно используют углеводороды в своем энергобалансе.

Это означает, что высокая углеродоемкость российской экономики зависит от эмиссии традиционной энергетики и указывает на «окно возможностей» кардинального снижения выбросов, открывающееся только за счет преобразований в одной отрасли. Однако экономисты дают такой зависимости полярные оценки. Превалирует точка зрения, что реализация эффективной климатической политики и введение соответствующего налога на углерод будут стимулировать экономический рост в нашей стране.

100-летний период он равен 25, а для закиси азота – 298. Это означает, что выброс 1 т метана и закиси азота вызовет такое же потепление, что и эмиссия 25 и 298 т диоксида углерода.

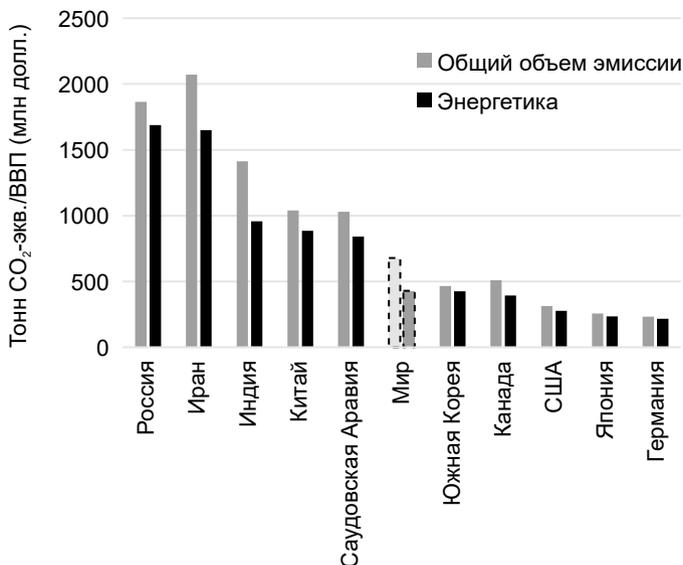


Рис. 5. Топ-10 стран – эмитентов парниковых газов в энергетике, 2016 г.
 Источник: World Resources Institute, 2020.

Необходимость введения налога на углерод в России отмечает известный отечественный экономист *Б. Н. Порфирьев*; он подчеркивает, что экологически дружелюбные технологии не снижают экономический рост, а наоборот, за счет инноваций и ресурсосбережения, способствуют ему [32]. Теоретические положения подкрепляются эмпирическими расчетами: введение налога на углерод или соответствующее увеличение привычного НДС (налога с продаж), по расчетам МФ, снизит потребительский спрос на топливо и обеспечит дополнительные доходы для государств; в частности для России введение налога на CO₂ увеличит ВВП на 6,8% [33]. Налог на углерод в России, согласно оценкам коллектива исследователей под руководством *И. А. Башмакова*, следует ввести начиная от 20 долл. за 1 т CO₂-экв в 2020 г. и довести до уровня 100 долл. за 1 т CO₂-экв к 2050 г., что может принести дополнительные 50–100 трлн руб. (в текущих ценах) за 2016–2050 гг. [34, с.130]. Известный российский экономист *С. Н. Бобылев* отмечает, что

для нашей страны тренды экономического роста и экологического устойчивого развития совпадают и «*имеются огромные резервы получения экологических эффектов <...> в ближайшие десятилетия важным принципом должна стать политика “двойного выигрыша” (экология плюс климат)*» [35].

Другие специалисты утверждают, что климатические инициативы могут оказаться весьма болезненными для национальной экономики, ВВП которой столь зависим от эмиссии парниковых газов энергетического сектора. Согласно модельным расчетам *А. А. Широ́ва* и *А. Ю. Колпакова*, «*при темпах роста ВВП, сопоставимых с темпами роста мировой экономики, объем выбросов в России в период до 2030 г. существенно повышается <...> и принятие обязательств по их (антропогенных выбросов) сокращению могут формировать дополнительные ограничения для реализации сценария ускоренной модернизации российской экономики*» [36]. Отсутствие в России предпосылок экономического роста за счет климатической повестки отмечают экономисты авторитетного аналитического центра *The Economist Intelligence Unit*; согласно их модельным расчетам российская экономика к 2050 г. станет на 3,3% (по ВВП) меньше [37].

Некоторые исследователи утверждают, что «зеленый рост» – это иллюзия. Современные модельные расчеты делают акцент на достижении экономической эффективности и установлении цены на углерод как «некоего арбитра», который способен уравновесить выгоды и издержки последствий климатических изменений. В действительности, подсчитанные монетарные эффекты могут при неуправляемых аномальных погодных явлениях вообще не осуществиться. Поэтому снижение парниковой эмиссии должно восприниматься не как альтернатива возможности «подзаработать», а как единственный способ сохранить экономику. Согласно *Institute for New Economic Thinking*, представившему сверхоптимистичный сценарий до 2050 г., экономический рост мировой экономики будет близок к нулю, а в углеводородных регионах, вероятно, будет отрицательным [38].

Мегарегион Сибирь, будучи основным поставщиком углеводородов в стране, выступает важным *агентом глобального изменения климата*. В конфронтации с уходящей энергетической парадигмой возобновляемая энергетика имеет неоспоримое преимущество, но это недооценивается из-за неоднозначного отношения к происходящим изменениям климата в стране, которые часто рассматриваются как контрапункт проблемам экологии: последние считаются более приоритетными, нежели элиминация угроз глобального потепления. Так, академик *Б. Н. Порфирьев* говорит о приоритете *«не климатической, но экологической и экономической мотивации при энергетическом переходе; собственно климатический фактор используется и будет востребован как инструмент политико-экономического торга и прессинга»* [39]. *С. Н. Бобылев*, делая обзор концепций устойчивого развития, также подчеркивает, что *«экологические аргументы и сейчас продолжают оставаться весомыми»* для обоснования перехода к «зеленой» экономике [40].

В действительности причины изменения климата и деградации окружающей среды тесно взаимосвязаны: в процессах потепления и загрязнения участвуют практически те же самые химические элементы. В работе *World Resources Institute* показано, что вещества с коротким периодом распада, такие как метан, черный углерод, гидрофторуглерод, озон, выступают мощным катализатором изменения температуры и многие из этих элементов наносят существенный урон окружающей среде и здоровью человека (табл. 2). Например, метан воздействует на глобальный климат в 86 раз сильнее, чем долгосрочная, в течение 20 лет, эмиссия CO₂. При этом метан является главной причиной образования околосемного озонового слоя и основным компонентом смога как источника легочных заболеваний, уносящих ежегодно 1 млн жизней. Черный углерод также входит в состав парниковых газов и является элементом вредных для здоровья мелкодисперсных частиц.

Таблица 2

Кратковременные вредные выбросы как причины изменения климата и загрязнения окружающей среды

| Вид эмиссии | Источник эмиссии | Уровень воздействия |
|----------------------------|---|---------------------------|
| Черный углерод | <u>Уголь, дизель, биомасса</u> | Локальный Региональный |
| Метан | <u>Природный газ</u> , захоронения | Глобальный |
| Тропосферный озоновый слой | Метан (CH ₄), <u>оксид углерода (CO), оксид азота (NO), летучие органические вещества</u> | Локальный Региональный |
| Гидрофторуглероды | Кондиционеры и холодильные камеры | Глобальный |

Примечание. Подчеркиванием выделены источники эмиссии, напрямую связанные с выработкой электроэнергии.

Источник: составлено автором на основе [41].

При выработке электроэнергии вредные для здоровья вещества поступают в атмосферу совместно с элементами, усиливающими изменение климата. При сжигании угля одновременно происходит выброс летучих частиц (например, ртути) и образование парниковых газов, таких как углекислый газ, метан и оксид азота. Конечно, способы снижения экологических рисков отличаются от методов борьбы с глобальным потеплением. Если при загрязнении воздуха важна площадь распространения выбросов и численность жителей в загрязненном регионе, то при анализе изменения климата делается акцент на концентрации вредных веществ вне зависимости от плотности населения. Рассмотрение только экологического параметра «грязных» источников энергии, а интерпретация климатических угроз как сугубо политико-экономического инструмента ведут к недооценке комплексности самой проблемы глобального потепления и противоречивости ее проявления.

Для оценки взаимосвязи изменения климата и здоровья в 2015 г. была создана Международная комиссия «Ланцет» по здоровью и изменению климата (Lancet Commission on Health and Climate Change), которая ежегодно публикует подробные

углубленные исследования. Комиссия отмечает, что *усиление изменения климата* с соответствующими волнами жары и экстремальными значениями температуры воздуха, помимо прямого воздействия на здоровье населения, приводит к массовой *миграции населения* в результате потери жилья из-за пожаров и наводнений [42].

Эта взаимосвязь ярко проявляется в Сибири в условиях резко континентального климата. Регрессионная модель *Б. А. Ревича* и *Д. А. Шапошникова* показала, что за 1999–2014 гг. в шести сибирских городах – Барнауле, Братске, Иркутске, Кемерове, Красноярске и Чите – зарегистрировано 73 волны жары и холода и для большинства изученных показателей (гипертонической болезни, инсульта и др.) получены статистически достоверные оценки прироста смертности [43].

Искусственное противопоставление климатических изменений и экологических трансформаций, естественно, объясняется определенной парадигмальной или корпоративной зависимостью участников энергетических процессов. Субъективизм и ангажированность ведут к распространению в обществе скепсиса по отношению к объективным данным. Экономисты-историки *Н. Орескес* и *Э. Конвей* указывают, что высказывание сомнений является главной целью целого ряда исследований, сделанных по заказу ведущих энергетических компаний, которые переняли опыт табачных компаний США [44], организовавших в 1969 г. массированную атаку против запрета рекламы табачных изделий и для борьбы с опубликованной в 1953 г. в медицинских статьях информацией о строгой корреляции курения и онкологических заболеваний. Кроме этого, табачная индустрия создала корпоративный исследовательский фонд для финансирования научных проектов, которые на основе точечных фрагментарных данных и необъясненных или аномальных закономерностей делали вывод о неподтвержденности и ненадежности связи между курением и онкологией: *«они возводят потемкинские деревни всего на нескольких кейсах с участием реальных ученых»*. Как утверждалось в памятной записке для совета директоров одной табачной фирмы, *«Сомнение – это наш продукт ... это наилучший способ спра-*

виться с массивом фактов, которые существуют в умах общественности. Это также средство создания противоречий и полемики» [44].

Энергокомпаниям стали использовать недоверие как инструмент конкурентной борьбы с массивом нежелательных для них фактов и сведений. Например, энергокомпания *Exxon* начиная с 1970-х гг. выдавала щедрые гранты и финансировала научные исследования, экспедиции в Арктику и Антарктику с целью доказать высокую степень неопределенности и наличие множества неучтенных факторов при прогнозировании процессов изменения климата и загрязнения окружающей среды. Было проведено масштабное изучение корреляции источников финансирования научных проектов и результатов этих исследований в сфере изменения климата в США, которое показало, что *«поляризация позиций является эффективной стратегией для создания противоречий и откладывания политических реформ, особенно в отношении проблем окружающей среды, в этом важную роль играют частные исследовательские фонды, ориентированные на формирование идеологического содержания транслируемой научной информации» [45].* Сомнения и стереотипное мышление размывают восприятие обществом экологических и климатических угроз, позволяют энергокомпаниям добиваться нужного им общественного мнения, вследствие чего девальвируется факт превосходства возобновляемой энергии над традиционными углеводородами.

Аналитические выводы подтверждаются социологическими опросами. В 2016 г., по данным британской маркетинговой компании *Ipsos-MORI*, 49% из более 17 000 респондентов в 23 странах считали наблюдаемые изменения погоды естественным природным феноменом, который проявляется время от времени, независимо от человеческой деятельности (рис. 6). При этом даже в таких странах-адептах «зеленых» технологий, как Великобритания, Германия, Южная Корея и Япония, выражается явное сомнение в отношении проблем климатических изменений.

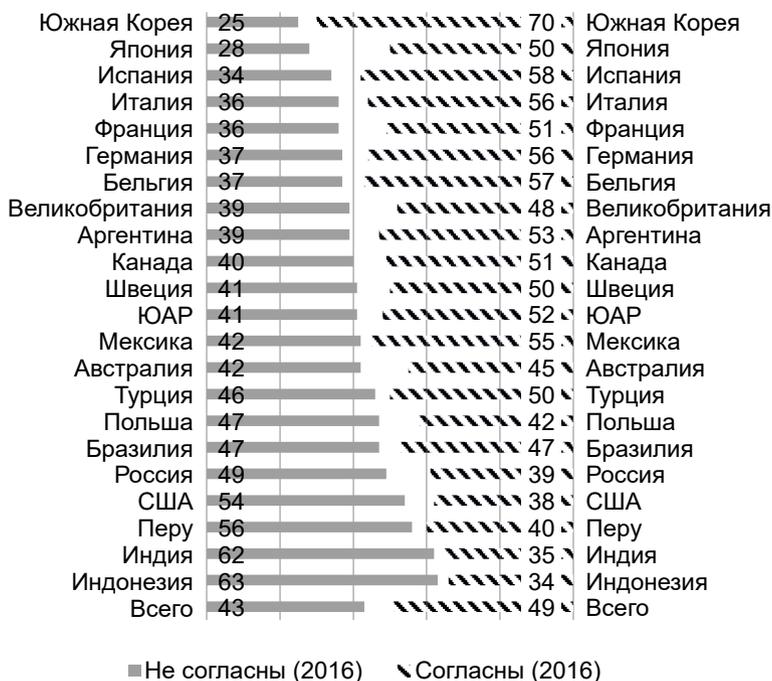


Рис. 6. Количество согласных и не согласных с утверждением «Изменение климата – это сугубо природный феномен, который случается время от времени», в %

Источник: составлено автором на основе [46].

Научное сообщество, согласно опросу *Council on Foreign Relations* в 2011 г., также разделилось поровну [47]: в 8 из 16 стран большинство исследователей отметили высокую значимость проблем изменения климата и деградации биосферы и наличие знаний, достаточных для проверки научных гипотез о происходящих процессах. Во всех 16 странах 51% респондентов подчеркнули остроту и необходимость безотлагательного решения проблем и только 16% ответили, что эти проблемы не актуальны.

Суждения видных академиков РАН, региональных властей и энергокомпаний Сибири демонстрируют неоднозначные

оценки причин изменения климата. Так, академик *О. Н. Фаворский* утверждает, что «климат связан с парами воды (до 60% лучистого теплообмена “Космос – Земля”), а не углекислого газа (всего 4%)», и «...говорить о том, что человек влияет на климат через CO_2 – это обман» [48]. Напротив, академик *Р. И. Нигматулин* отмечает: «то, что океан оказывает важнейшее влияние на климат, бесспорно. Но это не отменяет влияние антропогенного фактора, связанного с ростом концентрации CO_2 » [49].

В Сибири власти некоторых территорий оценивают потепление морозного мегарегиона как позитивное явление. Так, глава Республики Саха (Якутии), в которой происходит таяние вечной мерзлоты, *А. Николаев* считает, что «глобальное потепление в том виде, как оно происходит сегодня, делает нашу территорию доступнее для многих проектов... Так что у глобального потепления есть минусы и плюсы, которые уравниваются» [50]. Естественно, энергетические компании поддерживают «волну» сомнений относительно связи климата и выбросов диоксида углерода: так, топ-менеджер Сибирской генерирующей компании *К. Кушнир* полагает, что «если говорить о выбросах углекислого газа, никакого отношения к экологии это не имеет <...> это инструмент экологического давления, борьбы с теми странами, которые не согласны с Европейским союзом» [51]. Отсутствие общественного консенсуса отражается в социологических опросах ВЦИОМ, по данным которого только 55% считают, что «изменение климата скорее результат деятельности человека», а 39% – что это «раздутая, надуманная проблема» [52].

В условиях скептического отношения к выбросам CO_2 выгоды ВИЭ-генерации Сибири могут быть полностью девальвированы, если природный газ, благодаря проекту «Сила Сибири», станет более доступным источником энергии и полноценной заменой угля в мегарегионе. В этом случае из альтернативы углю «экология плюс климат» возобновляемая энергетика может превратиться, по сравнению с газом, в чисто климатическую повестку, к которой у россиян весьма неоднозначное отношение.

СИБИРЬ КАК РЕЦИПИЕНТ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Несмотря на определенное скептическое отношение к проблемам изменения климата, его последствия все чаще стали проявляться в Сибири, неразрывно связанной с Арктикой, которая нагревается в два раза быстрее, чем остальной мир. Площадь Сибири включает больше суши, чем воды, которая является хорошим природным термостатиком, поэтому мегарегион более чувствителен к экстремальным погодным явлениям.

Богатая водными ресурсами Сибирь испытывает масштабные наводнения в результате экстремальных осадков; при этом растет площадь затопления, количество погибших и потерявших жилье: если в 2010 г. в мегарегионе произошло 6 крупных наводнений и в результате потеряло жилье более 8 тыс. человек, то в 2018 г. – 8 наводнений и более 21 тыс. человек. В июне 2019 г. произошло самое крупное за историю наблюдений наводнение в Сибири (Тулун, Иркутская область), в результате которого было подтоплено более 10 тыс. домов, без жилья осталось 38 тыс. человек и финансовые издержки оцениваются в 40 млрд руб. (0,3% ВВП мегарегиона) [53]. Из-за повреждения линий электропередач и подтопления трансформаторов 24 400 человек оставалось без электричества, были отключены несколько ГЭС, промышленных предприятий; суммарная мощность отключенных потребителей составила 70 МВт [54].

Другое природное бедствие связано с экстремальными значениями температуры воздуха, которые провоцируют пожары во всем мире, но в Сибири эти последствия особо разрушительны. Динамика пожаров в Сибири нарастает: если даже в нестабильный 1997 г. огнем было охвачено всего 31,3 тыс. га леса [55], то в «устойчивый», управляемый 2018 г. горело уже 8,5 млн га; ежегодный экономический ущерб составил более 20 млрд руб. [56]. Аномальная жара в 2019 г. спровоцировала экстремальный пожар в Сибири, который развивался стремительно: 15 июля горело 285 тысяч га, через две недели практи-

ческого бездействия огнем было охвачено почти 1 млн га. *«За последние недели мы ощутили на себе огромное количество эмиссии углерода в атмосферу. Можем получить даже больше 200 млн т выхлопов, это своеобразный антирекорд»*, отмечал ученый-лесовед *Е. Пономарев* из Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (Красноярск) [57]. Целесообразность бездействия в тушении пожара оправдывалась существующим в тот момент законодательным актом, разрешающим *«прекращение, приостановление работ по тушению в зонах контроля лесных пожаров при отсутствии угрозы населенным пунктам или объектам экономики в случаях, когда прогнозируемые затраты на тушение лесного пожара превышают прогнозируемый вред, который может быть им причинен»* [58]. Красноярская комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных происшествий посчитала использование авиации слишком дорогим мероприятием, прагматичнее казалось потерять тайгу: ожидаемые потери от сожженного леса были оценены в 750 тыс. руб. против 23,6 млн руб. расходов, необходимых для тушения первоначально горящих 56 га [59]. Однако пожар приобрел колоссальные размеры, и казавшийся прагматичным подход монетизации затрат привел к невозвратным миллиардным экономическим издержкам. Реальная стоимость бездействия в 200 раз превысила ожидаемый ущерб от пожара, и в итоге на борьбу с бедствием было потрачено 6 млрд руб. [60]. Помимо финансовых потерь, возникли и значительные качественные издержки, с которыми столкнутся будущие поколения, так как, согласно оценкам экологов, срок восстановления сгоревшей тайги оценивается в 100 лет, а *«за пожарами последуют и другие проблемы: наводнение, таяние снега, ведь барьера в виде леса [сибирской тайги] теперь нет»* [61].

Пожары на земле возобновляются от скрытого пожара под землей – тления насыщенного углеродом торфа, который обычно находится в воде. Россия занимает первое место в мире по запасам торфа, более 80% из которых находится в Сибири. Тление торфа значительно усиливает негативный эффект от пожаров, так как *«смог вызывает ухудшение качества воздуха»*,

нарушение движения транспорта, снижение видимости и значительные экономические потери. Также тление торфа ведет к негативным эффектам для здоровья, преимущественно для респираторной и сердечно-сосудистой системы» [62]. Представляется, что эта ситуация недооценена в докладе Межправительственной комиссии по климату, где сделан акцент на таянии вечной мерзлоты в полярных регионах и соответствующем значительном выбросе парниковых газов. Если пожары в мегарегионе станут обычным явлением, то тление торфа может стать более значимым фактором эмиссии парниковых газов, нежели таяние вечной мерзлоты в Сибири.

Тем не менее таяние вечной мерзлоты в Сибири не только усиливает изменение климата, но и угрожает потерей жилья для населения. В Надыме, Новом Уренгое, Норильске, Салехарде с морозами в 40–50 °С из-за прогревания грунтов прочность зданий и сооружений понижается: их несущая способность уже снизилась на 30% за последние 30–40 лет [63]. В этих городах усилилась миграция населения, его отток. Ландшафт месторождений углеводородов также меняется: например, Уренгойское нефтегазовое месторождение начинали осваивать в 1970-е гг. в условиях вечной мерзлоты, а сейчас в районе добычи вдруг появился небольшой лес из лиственниц, а граница мерзлоты переместилась на 40 км к северу. В условиях быстрых природных изменений востребованы новое понимание и новые стратегии освоения месторождений.

ПОДВОДЯ БАЛАНС ВЫГОД И ИЗДЕРЖЕК

Параметр экологичности энергетических процессов имеет не только противоречивый, но и сложный для оценки характер, так как происходит сочетание количественных и качественных данных и ценностных суждений, без определения наиболее значимых из них. Так, загрязнение воздуха воспринимается как приемлемое явление, а изменение климата – как отдаленное последствие. Поэтому текущие выгоды от использования де-

шевых углеводородов ценятся выше, чем потенциальные выгоды от снижения вредной эмиссии, благодаря внедрению ВИЭ.

В Сибири угольная генерация является главным источником выбросов вредных веществ, которые кратно превышают пределы, допустимые в развитых странах. Высокая урбанизация, недостатки экологического законодательства и парадигмальные ценностные предпочтения усиливают негативные последствия эмиссий для сибиряков, которые чаще других россиян страдают хроническими заболеваниями и ежегодно теряют в сумме около 450 млн лет жизни (по оценкам ИНМЕ для России).

Помимо существенного ущерба для экологии и здоровья, традиционная энергетика Сибири приносит и кардинальные изменения в климат, хотя некоторые представители энергобизнеса, государства, а также экспертного сообщества со скепсисом относятся к проблемам глобального потепления. Эмиссия CO₂ в качестве причины изменения климата подвергается сомнению и, следовательно, сжигание углеводородов не представляется фактором воздействия на устойчивость экосистемы.

Однако в Сибири наблюдается целый ряд опасных погодных явлений и последствия изменения климата уже не кажутся столь отдаленными. Согласно прогнозу Росгидромета, *«к середине XXI в. экстремальность осадков в летний период в Сибири и на Дальнем Востоке может увеличиться и риск пожаров может возрасти в три раза»* [64]. Пожары и наводнения стали происходить регулярно, а значительный прямой ущерб от затопления земель и сгорания «экологических бастионов» – вековой сибирской тайги – усиливается вторичными эффектами: тлением торфа и таянием вечной мерзлоты в мегарегионе. Если прямые издержки можно в определенной степени экономически компенсировать за счет финансовых выплат, посадки новых лесов, строительства более высоких дамб, то вторичные эффекты трудно поддаются исправлению, так как они более латентны, масштабны и долговременны. В сумме все эти негативные факторы способствуют увеличению миграции в поис-

ках более благоприятной и здоровой социоэкономической, природной и климатической среды.

Трансформация энергетики Сибири может стать эффективным способом улучшения экологии и усиления борьбы с изменением климата. В сравнительном анализе преимущества ВИЭ-генерации становятся очевидными. Возобновляемая энергетика считается «чистым» источником электроэнергии, так как производство электроэнергии не связано с эмиссией вредных веществ и парниковых газов. Использование возобновляемых источников энергии представляется выигрышной стратегией: улучшится экологическая обстановка – это локальные выгоды, и снизится эмиссия парниковых газов – это выгоды глобальные. Но для мегарегиона Сибирь глобальные и локальные эффекты сопряжены, так как здесь происходит самое быстрое в мире потепление.

ГЛАВА 6

ИННОВАЦИИ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Энергетическая отрасль, будучи высокотехнологической индустрией, является важной составляющей экономики инновационного типа, но баланс традиционных и возобновляемых источников энергии в инновационных процессах не очевиден, так как их роль не определена окончательно. Противоречия между двумя типами энергии проявляются в том, что энергетика, основанная на традиционных источниках, выступает реципиентом инноваций, а основанная на возобновляемых источниках – агентом инноваций. Это принципиальное различие, по мнению *М. Скилтона* и *Ф. Ховсепяна*, проявляется в том, что возобновляемая энергетика представляет изобретения, которые *«изменяют энергетическую парадигму»*, в то время как традиционная энергетика *«изменяет контекст энергетики»*, как это сделали высокоэффективные газовые турбины в 1990-е гг. или сланцевая революция в 2000-е гг. [1].

Концепция инноваций не является нейтральной теорией; по словам *М. Маццукато*, *«они [инновации] могут быть использованы для разных целей – подобно молотку, который может помочь построить дом или быть оружием»* [2], и инновационные процессы в традиционной и возобновляемой энергетике могут приносить обществу как выгоды, так и издержки. Благодаря инновациям, традиционная энергетика получает возможность «исправить свою карму»: увеличить доста-

точность истощимых углеводородов, снизить их стоимость и минимизировать экологические выбросы. За счет фундаментальных открытий и постоянных инноваций использование ВИЭ помогает преодолеть высокие издержки, сетевые ограничения и адаптировать энергорынок к «прерывистой» природе своей генерации. В перспективе это должно дать обществу долгосрочные выгоды. Однако, как отмечают *Р. К. Лестер* и *Д. М. Харт*, энергетика – «в высокой степени оптимизированная система, которая принадлежит и управляется финансово состоятельными, утвердившимися и политически влиятельными компаниями, которые формировались и укрепились в течение ста лет для предложения этого сырья [электроэнергии]. Это труднейшая среда для инноваций» [3]. В отличие от хайтека, биотехнологий и других современных разработок, изменения в энергетике происходят намного медленнее, отраслевые субъекты намного сильнее взаимосвязаны, а требования к издержкам и надежности для новых разработок значительно выше. Для того чтобы компенсировать капиталоемкие долгосрочные инвестиции, инновационные процессы в энергетике часто монополизируются и засекречиваются. На это противоречие указывает *Б. К. Совакул* с соавторами: «Зарождающиеся технологии в энергетике могут принести большие выгоды от открытости и вовлеченности разных стейкхолдеров, но на самом деле коммерциализация этих технологий происходит в закрытом режиме», и инновации остаются конфликтным, разобщенным и беспорядочным процессом [4]. Это порождает феномены технологической блокировки перспективных технологий, технонационализм, дефляцию инженерных специальностей, пристрастность научного сообщества и в итоге приводит к значимым издержкам.

Процесс адаптации российской экономики к трендам новой индустриализации и цифровизации стимулирует инновационное развитие энергетической отрасли. Для этого вектора развития и реализации перспективных разработок Сибирь обладает не только энергетическим, промышленным, но и крупнейшим научно-исследовательским потенциалом [5]. Поэтому

важным параметром сравнения сибирских традиционных и возобновляемых источников энергии является *инновационность* как способность создавать новые энергетические процессы, благодаря научным открытиям, исследованиям и разработкам, подготовке высококвалифицированных кадров, формированию сети исследовательских центров, внепарадигмально мыслящим ученым. Но прежде чем перейти к рассмотрению контекста мегарегиона Сибирь, следует обсудить перспективность двух типов энергии в условиях новой промышленной революции и цифровой экономики. Соответствие этим глобальным трендам и степень инновационности определяют роль традиционных и возобновляемых источников энергии в будущем.

ИННОВАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ И НОВАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Новая промышленная революция и цифровая экономика могут кардинально изменить соотношение традиционных и возобновляемых источников генерации. Взаимосвязь энергетических и инновационных процессов убедительно показал *В. Смил*, сопоставив виды топлива и волны деловых циклов *Й. Шумпетера* и инновационные кластеры *Г. Менша*: «*эти теории безошибочно показали корреляцию между, с одной стороны, новыми источниками энергии и двигателями, а с другой стороны, ускорением инвестиций в инновации*» [6, с. 410]. Внедрение новых источников и двигателей энергии образует кластеры постепенных усовершенствований и фундаментальных технологических инноваций (рис. 1).

Новая индустриализация¹ в научном дискурсе имеет разные интерпретации: новая промышленная революция, пятая по

¹ Речь идет о развитии именно промышленного сектора, а не всех индустрий, то есть отраслей экономики, как следует из буквального перевода на русский язык слова *industrial*. Возрождение исследовательского интереса к промышленности связано с новой промышленной революцией (*New Industrial Revolution*) нач. XXI в., которая названа так по аналогии с первой промышленной революцией (*First Industrial Revolution*) к. XVIII в. Поэтому

счету, по *П. Маршу* (2012) и *К. Андерсону* (2014); третья индустриальная революция по *Дж. Рифкину* (2013); четвертая индустриальная революция по *Г. Роузу* (2015) и *К. Швабу* (2016).

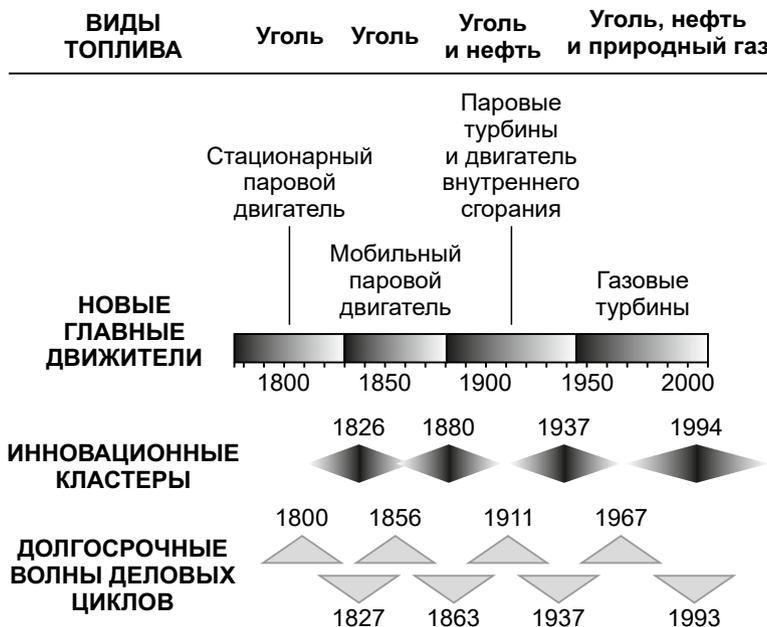


Рис. 1. Новые виды энергии и двигатели в динамике деловых циклов и инновационных кластеров

Источник: адаптировано автором на основе [6, с. 412].

Несмотря на различия в классификации, эксперты едины в понимании необходимости возврата именно к промышленному производству на основе использования новых материалов, прорывных технологий и выпуска совершенно новой продукции, что отразится и на энергетике [7; 8; 9; 10]. *Новые материалы*, например нанотрубки или графен, который в 200 раз

прикладательное industrial отождествляется, прежде всего, с промышленным производством товаров, а не с технологическим развитием всех отраслей экономики, как это говорится в некоторых отечественных публикациях по проблематике новой индустриализации России.

прочнее, чем сталь, и лучше проводит электроэнергию, чем медь, и другие композитные материалы позволяют снизить материалоемкость конструкций, увеличить сверхпроводимость для строительства ультравысоковольтных линий электропередач. *Новые аддитивные технологии* используются в дизайне и производстве энергооборудования. *Новые продукты* – электромобили, низкоэмиссионные продукты, неорганические перовскитные солнечные батареи взамен кремниевых, промышленные аккумуляторы большой емкости, крупные дата-центры – нуждаются в дополнительной электроэнергии.

Эксперты по-разному расставляют приоритеты инновационного развития энергетики. По мнению *П. Марша*, выгоды традиционной энергетики связаны с внедрением небольших тепловых станций, которые вырабатывают одновременно тепло и электроэнергию на основе нового типа генератора Стирлинга и могут быть автономно размещены в пределах одного или нескольких жилых домов [11]. Перспективными возобновляемыми источниками автор считает энергию волн и солнца; технические характеристики производств такого вида энергии должны в ближайшем будущем кардинально улучшиться. По *К. Швабу*, будущее энергетики – за когенерацией (тепло из электроэнергии) и тригенерацией (тепло, электроэнергия, охлаждение), а также распределительными сетями и возобновляемой энергией, которая будет вырабатываться на местном уровне, что *«сыграет революционную роль для цепочек поставок и поддержит возможности трехмерной печати деталей по требованию даже в отдельной местности»* [12, с. 69]. Четыре столпа будущей энергетики назвал *Дж. Рифкин*: 1) возобновляемые источники (ветер и солнце), 2) превращение зданий в электростанции, 3) частичное накопление энергии за счет водорода и 4) энергетический интернет [13]. Последний ассоциируется с так называемой цифровой экономикой, которая зародилась в русле новой индустриализации, но затем выделилась в самостоятельный тренд. Как известно, данные в форме цифры используются не один десяток лет, но масштабное и интенсивное применение цифровых технологий способствовало по-

явлению нового типа экономики – цифровой [14; 15]. Цифровая экономика базируется на концепции интернета вещей (Internet of Things, IoT), впервые представленной в 1994 г., суть которой заключалась в прикреплении датчиков и сенсоров к обычным объектам для управления ими удаленно. К 2010 г. усовершенствование информационных технологий позволило применить идею интернета вещей к промышленному оборудованию – так возник индустриальный интернет (Industrial Internet, ИИ), который открыл возможности для оптимизации деятельности во многих секторах экономики, в том числе в энергетике [16; 17].

Различия между традиционными и возобновляемыми источниками энергии проявляются по двум определяющим параметрам инновационной деятельности: расходам на исследования и разработки (ИР) и уровню патентования.

Расходы на исследования и разработки, как убедительно показано в работах по инновационной экономике [18; 19], выступают важным индикатором инновационного характера отрасли и играют ключевую роль в обеспечении конкурентоспособности источников энергии. Динамика расходов на ИР в сфере мировой энергетики демонстрирует интересную ситуацию. *Во-первых*, в зрелую топливную энергетику направляется в 2,5 раза больше средств на ИР в абсолютном выражении, чем в возобновляемую, и, *во-вторых*, исследовательский интерес к традиционной энергетике проявляет не государство, а частный сектор, причем по тематикам с предсказуемой рентабельностью: нефтегазовому сектору, трансмиссионному бизнесу и тепловым электростанциям (рис. 2). Разработки же по ВИЭ наполовину зависят от финансирования со стороны государства.

Несмотря на лидерство по объемам расходов, традиционная энергетика остается сектором с низкой интенсивностью ИР. Генерирующие и добывающие энергокомпании вкладывают в исследовательские программы с высокой капиталоемкостью около 0,4 % своих доходов. Инновационным флагманом традиционной энергетики остается *энергетическое машиностроение*, которое вкладывает в исследования и разработки 3,5% доходов.

Абсолютным мировым лидером является General Electric (GE)² с бюджетом ИР 4536 млн евро в 2017 г., что составило 3,9% чистой выручки компании (табл. 1). Для сравнения: ее ближайший конкурент в России – компания «Силловые машины» – в 2017 г. потратила на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) 64 млн руб., или 0,12% выручки.

Главным бенефициаром инноваций в традиционной энергетике стала *газовая генерация*. Радикальные технологические усовершенствования газотурбин в 1990-е гг. сделали газ наиболее гибким и многоцелевым топливом. После нескольких лет конкуренции ABB и Westinghouse – две из четырех крупнейших энергомашиностроительных компаний – покинули отрасль. Причиной успеха оставшихся GE и Siemens стали высокие расходы на ИР, концентрация на прорывных газотурбинных технологиях, а также надежное и быстрое устранение неполадок, возникающих при эксплуатации новых установок [20]. Именно последний фактор доказывает эффективность инновационных технологий в традиционной энергетике, особенно чувствительной к простоям и сбоям в работе энергоблоков. Сланцевая революция 2000-х гг. стала гарантом еще одного достоинства газовой генерации – относительно низких цен на газ, что особенно важно для газовой выработки, где затраты на топливо составляют до 60% в общей структуре операционных затрат.

Все это дало газу фору перед *угольной генерацией*, которая также имеет прорывные разработки [21; 22]. Либерализация электроэнергетики в 1990-е гг. во многих развитых странах привела к тому, что угольная генерация стала для бизнеса менее привлекательной, несмотря на радикальные технические усовершенствования, которые сложнее и дольше внедрять, чем

² Компания General Electric имеет диверсифицированный портфель заказов, связанный не только с традиционной, но и с возобновляемой энергетикой. Однако, согласно классификации EU Industrial R&D Investment Scoreboard, компания относится к категории энергомашиностроительных компаний, а не к представителям возобновляемой энергетике, по-видимому, за счет преобладания в структуре бизнеса традиционных активов.

Таблица 1

Топ-5 энергетических компаний, входящих в рейтинг 2500 компаний с наибольшими в мире расходами на ИР за 2017 г.

| Компания | Страна | Расходы ИР, млн евро | Интенсивность, ИР* % | Рентабельность **, % | Капиталоемкость ***, % | Количество работников, тыс. чел. |
|---------------------------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|
| Возобновляемая энергетика | | | | | | |
| Vestas wind systems | Дания | 198,0 | 1,9 | 13,9 | 2,8 | 21,8 |
| First solar | США | 118,4 | 4,2 | 10,7 | 7,8 | 5,4 |
| Nordex | Германия | 77,6 | 2,3 | 4,9 | 3,1 | 5,1 |
| Sma solar technology | Германия | 70,6 | 7,5 | 6,7 | 1,6 | 3,9 |
| Hanergy solar | Китай | 69,4 | 12,7 | 16,0 | 4,3 | 3,2 |
| Senvion | Люксембург | 68,3 | 3,1 | -1,3 | 2,6 | 4,6 |
| Традиционная электроэнергетика | | | | | | |
| Electricite de france | Франция | 659,0 | 0,9 | 11,2 | 18,6 | 154,8 |
| Korea electric power | Юж.Корея | 595,1 | 1,3 | 19,9 | 20,2 | 43,7 |
| China energy engineering | Китай | 387,1 | 1,3 | 5,1 | 2,2 | 133,6 |
| Iberdrola | Испания | 211,4 | 0,7 | 16,3 | 16,2 | 28,4 |
| Tokyo electric power | Япония | 140,1 | 0,3 | 4,8 | 10,5 | 42,1 |
| Добывающие компании | | | | | | |
| Petrochina | Китай | 1532,5 | 0,7 | 4,2 | 11,2 | 508,8 |
| Exxon mobil | США | 1003,7 | 0,5 | 0,4 | 7,4 | 71,1 |
| Total | Франция | 996,1 | 0,8 | 4,3 | 14,2 | 102,2 |
| Royal dutch shell | Великобритания | 962,0 | 0,4 | 2,4 | 9,5 | 92,0 |
| China petroleum & chemicals | Китай | 811,0 | 0,3 | 4,2 | 3,5 | 451,6 |
| Энергомашиностроение | | | | | | |
| General electric | США | 4536,6 | 3,9 | 5,8 | 8,3 | 295,0 |
| Toshiba | Япония | 2399,8 | 6,1 | 3,3 | 5,9 | 153,5 |
| Honeywell | США | 2033,0 | 5,5 | 2,8 | 16,7 | 131,0 |
| Philips | Нидерланды | 2008,0 | 7,7 | 1,7 | 8,4 | 114,7 |
| 3M | США | 1162,1 | 4,1 | 4,7 | 24,0 | 91,6 |

Примечание. * Интенсивность ИР рассчитывается как отношение расходов на ИР к чистой выручке компании.

** Рентабельность показывает отношение операционной прибыли к чистой выручке компании.

*** Капиталоемкость вычисляется как отношение инвестиций в основной капитал (капвложения, CAPEX) к чистой выручке компании.

Источник: составлено автором на основе The 2017 EU Industrial R&D Investment Scoreboard.

в газовой генерации, а возрастающие технологические риски и невозвратные издержки в условиях усиливающейся межтопливной конкуренции труднее перекладывать на потребителей. Очевидно, что, будучи самым распространенным источником энергии в мире, угольная генерация обладает высоким потенциалом для развертывания «эффекта масштаба» при технологическом перевооружении существующих станций. Отрасль испытывает хроническое недофинансирование со стороны государств при создании новейших прототипов небольшой мощности и пилотных промышленных образцов. Для восполнения недостатка финансирования Международное энергетическое агентство (МЭА, IEA) поддерживает две межправительственные инициативы по инновационной тематике: 1) разработку сверхмощных угольных энергоблоков с высокой эффективностью и экологическими стандартами (пилотный образец The Taizhou Power Plant мощностью 700 МВт запущен в китайском городе Тайчжоу) [23]; 2) создание маневренных, работающих в спорадическом режиме небольших энергоблоков (исследования ведутся по программе «STEP» в американской лаборатории NETL) [24].

Проигрывая в абсолютных значениях по расходам на исследования, возобновляемая энергетика превосходит традиционную по интенсивности вложений в ИР (табл. 1). Самые крупные исследовательские бюджеты принадлежат датской Vestas (в 2017 г. 198 млн евро, или 1,9% дохода) и американской First Solar (118 / 4,2%), что превышает затраты на ИР многих средних нефтегазовых компаний, таких как китайская CNOOC или венесуэльская Petroleos. Показательна история First Solar, которая в 2016 г. была на грани банкротства из-за активности китайских производителей кремниевых солнечных панелей, но, в отличие от разорившейся компании Solyndra, совершила инновационный рывок: благодаря автоматизации и роботизации количество персонала сокращено в 10 раз, роботы выполняют более 100 операций и вместо трех дней создают панель за 3,5 часа. При этом завод в штате Огайо в три раза увеличил выпуск перовскитных фотоэлементов больших размеров с наи-

лучшим полупроводником в настоящее время, *cadtel*, толщиной всего 3 мкм теллурида кадмия черного цвета и дешевле китайского аналога на 30%. Компания планирует в 2019–2020 гг. инвестировать 1,4 млрд долл. для строительства во Вьетнаме и в Малайзии двух новых полностью автоматизированных заводов.

Более того, возобновляемая энергетика, привлекая для выполнения работ квалифицированные кадры, обеспечивает высокие показатели объема ИР на одного занятого: 15–20 тыс. евро против 7–10 тыс. евро в генерирующих и добывающих компаниях.

Патентная активность – второй индикатор оценки инновационной активности предприятий, отраслей, стран. Стоит отметить, что к анализу результатов патентной статистики в электроэнергетике следует подходить с осторожностью. *Во-первых*, не все инновационные решения патентуются, например ключевые технологии по очистке газа являются ноу-хау конкретных энергетических и машиностроительных компаний и не подлежат патентованию. *Во-вторых*, не всегда уровень патентования является индикатором инновационности, так как, помимо функции «исключительности», когда фиксируется изобретение как «первое» и «уникальное», патент может выступать просто инструментом защиты интеллектуальной собственности, что особенно характерно для солнечной энергетики и распространено на китайском рынке.

Энергетика входит в топ-5 самых патентуемых секторов экономики в мире и, по данным Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС, WIPO), находясь на втором месте после хайтека, дает 7% общего количества зарегистрированных патентов (рис. 3).

Из всех секторов электроэнергетики самые высокие темпы патентной активности имеют ВИЭ: в 2005–2015 гг. ежегодный средний темп роста числа патентов составлял 8%. Солнечная энергетика дает в год больше половины из 50 тыс. патентов по ВИЭ (рис. 4).

Для оценки патентной активности нами, на основе данных авторитетной патентной статистики The Thomson Derwent database за 1966–2016 гг., был проведен анализ уровня патентования в мире в сфере *угольной генерации*. Стратегия патентного поиска состояла в следующем:

- сначала использовался поисковый термин «coal» в главной классификационной группе X11 «Power generation and high power machines» в базе данных The Thomson Derwent за 1966–2016 гг.;
- затем по смежным классификационным группам E11, J01, L02, D04, в которых фиксируются разработки по отдельным важным процессам подготовки топлива, очистки газов и воды, применялся поиск по термину «coal power plant», чтобы определить заявки, относящиеся к угольной генерации;
- в результате перекрестного поиска было отобрано 3840 патентных заявок;
- по каждому периоду (787 заявок 1995–2005 гг. и 2211 заявок 2006–2016 гг.) определена частота записей в отобранных патентах по каждой предметной дисциплине.

Стоит отметить, что один и тот же патент может иметь несколько записей по разным предметным областям. Всего было просмотрено 14 предметных областей, но только 8 дисциплин имели частоту упоминания более 1% и в последующем были включены в структурный анализ (рис. 5, 6).

В *традиционной энергетике* оценить патентную активность достаточно сложно, так как статистика в открытом доступе (например, OECD.Stat) фиксирует только отдельные кластеры технологий, например технологии улавливания и хранения двуокиси углерода (УХУ), которые отражают только часть инновационных решений в данном секторе.

Результаты анализа показали, что, *во-первых*, в середине 2010-х гг. произошел скачкообразный, почти трехкратный, рост числа патентных заявок по коду классификации «угольные электростанции» (рис. 5). *Во-вторых*, в этот переломный момент произошло наибольшее приращение числа патентных записей по узким, нишевым областям знаний (рис. 6).



Рис. 3. Динамика патентования в топ-5 ведущих технологических областей
 Источник: WIPO, 2019.

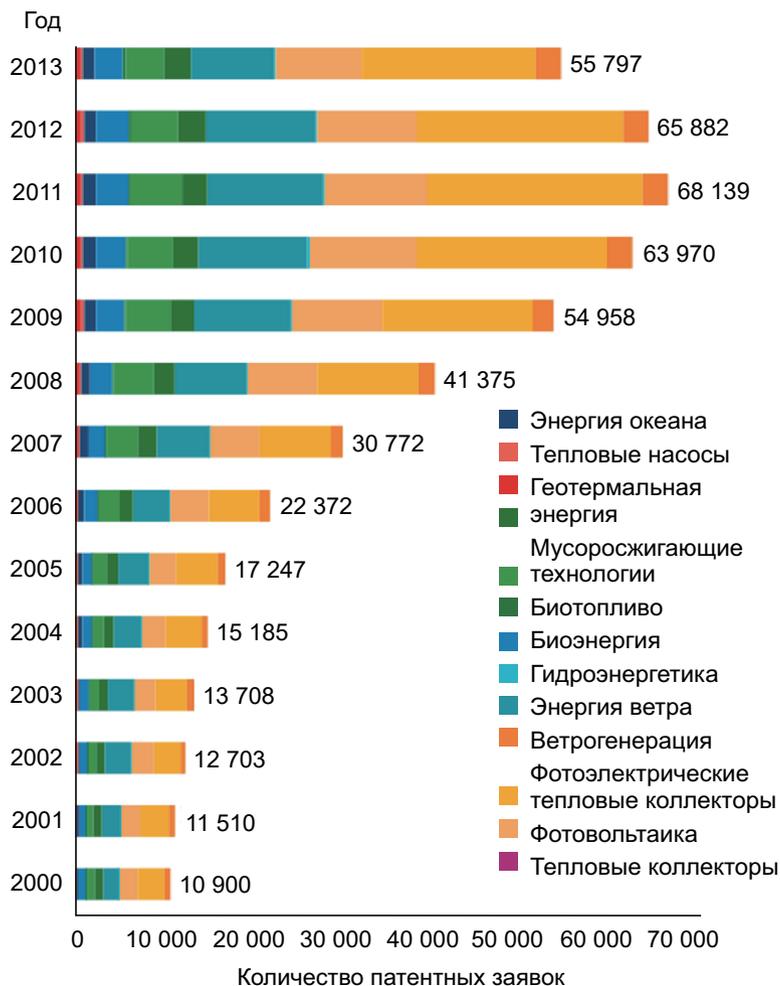


Рис. 4. Патентная активность в сфере возобновляемой энергетики
 Источник: IRENA, 2019.

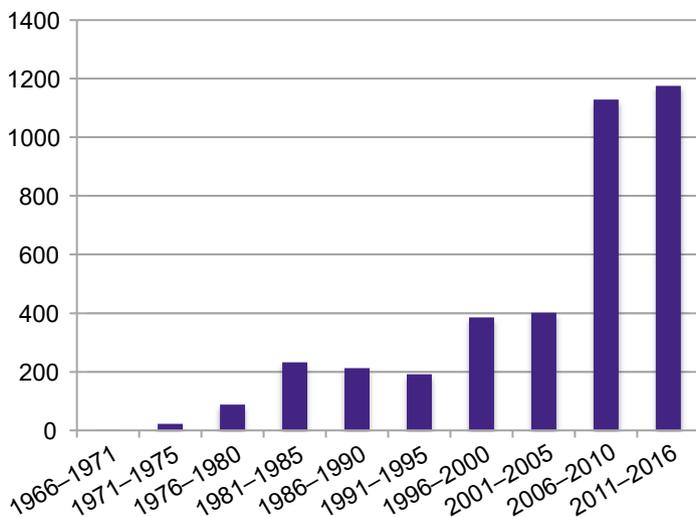


Рис. 5. Динамика числа патентных заявок в мире по коду классификации «угольные электростанции» за 1966–2016 гг.

Источник: расчеты автора на основе базы данных Thomson Derwent World Patent Index®.

Флагманом патентования остаются инженерные науки: 90% всех патентов имеют записи по этому домену знаний. Но кардинальный рост наблюдается в *полимерных науках*, по которым имеются записи только у 10% патентов от общего числа заявок, однако за 2006–2016 гг. число этих записей увеличилось в 11 раз по сравнению с 1995–2005 гг. По компьютерным технологиям как предвестнику цифровизации энергетики ситуация аналогична: к ним «приписаны» 8% патентов и в 8 раз возросло число записей. Плюс к этому появилась *новая область знаний – водные ресурсы*, по которой до 2000 г. вообще не велись патентные записи в сфере угольных электростанций.

Показательно, что уже зрелая традиционная отрасль – угольная генерация – формирует «инновационный имидж», который, как и в прошлом, базируется на инженерных науках, но все чаще коррелирует со смежными дисциплинами для разработки небольшого числа передовых технологий: технологии циркулирующего кипящего слоя, технологии сжигания угля

в ультрасуперкритических параметрах пара и температуры, технологии улавливания и хранения углекислого газа.

Если сравнивать, то технологический профиль возобновляемой энергетики выглядит более диверсифицированным, нежели комбинация из 3–5 передовых разработок в области

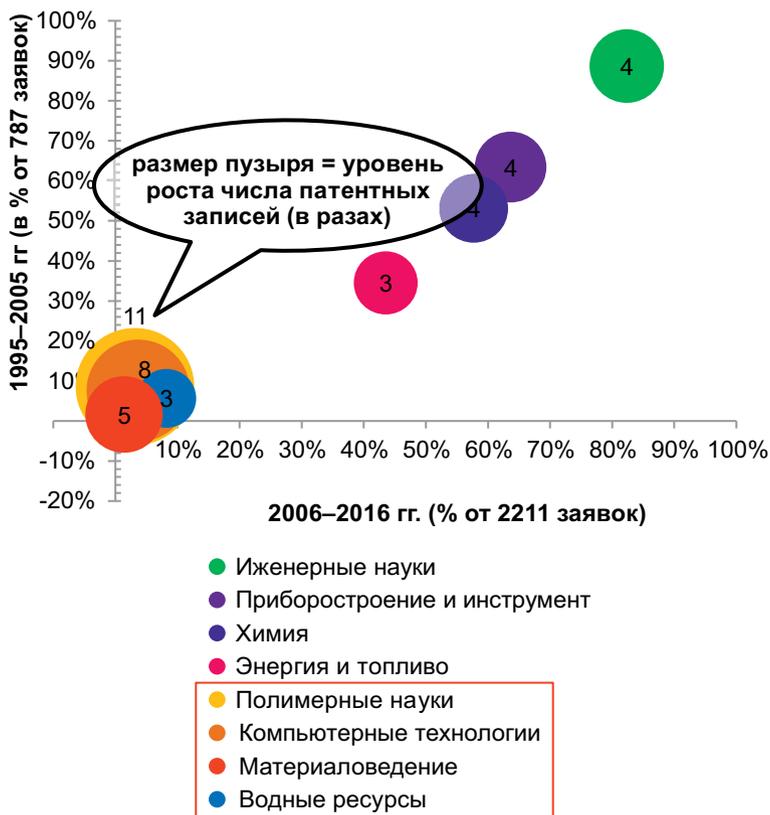


Рис. 6. Структура и рост числа патентных записей по областям знаний за 2006–2016 гг. по сравнению с 1995–2005 гг.

Источник: расчеты автора на основе базы данных Thomson Derwent World Patent Index®.

традиционной электроэнергетики. Директор всемирно известной лаборатории NREL Калифорнийского университета *Д. М. Каммен* уже в течение 20 лет ежегодно обновляет траектории научного поиска в сфере ВИЭ. В этом сегменте в начале 2018 г. насчитывалось более 17 самостоятельных технологических треков. При этом в сфере ВИЭ при меньших, чем в топливной энергетике, затратах, но благодаря высокой конкуренции, достигнуты заметные результаты как в патентной активности, так и в масштабах внедрения опытных разработок.

Итак, сравнительный анализ показал важность *принципа инновационности* для сохранения конкурентоспособности двух типов энергетики в условиях новой индустриализации и цифровизации экономики. Каждый из двух типов энергии имеет очевидные достоинства в инновационной деятельности: традиционная энергетика – в расходах на ИР, возобновляемая – в патентной активности. Вместе с тем, каждая из них в разной степени использует преимущества новой индустриализации и цифровизации экономики. Передовые производственные технологии помогли совершить сланцевую революцию в традиционной энергетике и радикально снизить стоимость солнечных и ветровых установок, но, как отмечает *Г. Серновитц*, экономические последствия «*прорывных технологий для производства энергооборудования для ВИЭ, с одной стороны, и добычи ископаемого топлива, с другой стороны, фундаментально отличаются*» [25]. Причина в том, что автоматизация и роботизация позволяют организовать дешевое производство миллиона практически идентичных компонентов и тем самым радикально снизить стоимость ВИЭ. Но это недоступно для традиционной электроэнергетики, которая зависит от себестоимости добычи ископаемого топлива.

ИННОВАЦИИ В ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ СИБИРИ

В Сибири с весьма скромными расходами на ИР³ – всего 0,55% ВВП мегарегиона в 2017 г. (для сравнения: в России 1,1% ВВП страны) – традиционная энергетика является главным агентом инновационной активности и обеспечивает больше половины инновационной продукции. Лидерами выступают крупные нефтегазовые компании, вкладывающие в ИР на уровне зарубежных компаний, например нефтегазовая компания «Роснефть» с главными активами в Сибири – 32,1 млрд руб. в 2018 г., что в расчете на одного занятого – 137,67 тыс. руб. (примерно 4 тыс. евро по валютному курсу рубля по ППС в 2018 г.). Такие, самые крупные в стране, расходы соотносимы с расходами китайских лидеров отрасли, но в несколько раз меньше американских и европейских [26].

Генерирующие компании Сибири ориентированы прежде всего на надежность производства электроэнергии и тепла и направляют денежные средства на текущий ремонт старого оборудования. Их инновационные программы весьма скромны: 0,1–0,2% выручки, что явно недостаточно для внедрения новейших разработок, требующих долгосрочных вложений, высоких капзатрат и страхования риска вынужденных сбоев в работе пилотных энергоблоков [22].

Выгоды от инновационных разработок значимы для Сибири, так как инновации позволяют обновить старые мощности без потери экономического роста. Многие эксперты видят в инновациях спасение и окончание «крестового похода» против угольной генерации [27; 28]. Но пока новые разработки сопровождаются неудачами. Единственный в Сибири экспериментальный энергоблок, работавший на угле на сверхкрити-

³ Расходы на ИР в мегарегионе (4 522 млн долл. по ППС) сопоставимы в абсолютном выражении с ежегодным исследовательским бюджетом только General Electric (4 536 млн евро) или в относительном выражении – с Латвией и Румынией, которые направляют на ИР около 0,5% ВВП страны.

ческих параметрах пара, в 2016 г. сгорел из-за технических неполадок на Березовской ГРЭС (компания «Юнипром»). Важные для Сибири прорывные исследования: технологии улавливания и хранения CO₂ (CCS); технологии, связанные с суперсверхкритическими параметрами пара, маневренными угольными установками, – практически не ведутся [29]. В области газовой генерации для разработки пилотного образца газовой турбины большой мощности планируется в 2020 г. начать строительство одной ТЭС мощностью 1,4 ГВт в Каширском районе Московской области с инвестициями около 100 млрд руб. После отработки инновационных решений возможными объектами для внедрения могут выступить сибирские электростанции, но наши респонденты отмечают, что пока не видят привлекательности в этом проекте, так как *«инновационным его назвать сложно, есть уже сильные мировые конкуренты, это скорее импортозамещение. Да и в случае послабления санкций при сотрудничестве с немецкой Siemens или американской GE можно спокойно произвести надежный аналог»*.

Образование и наука могли бы помочь в обновлении традиционной энергетики. Ежегодно в 68 из 242 вузов Сибири обучаются 172 тыс. студентов по энергетической специальности, причем, согласно данным Рособнадзора, 78–81% выпускников-энергетиков трудоустроены в Сибири. В крупных добывающих регионах сформирована сеть исследовательских центров с сильными научными школами по энергетике, в которых работает 75 тыс. исследователей: Центр угля и углекислоты в Кемерове, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета в Красноярске. Для разработки инноваций в сфере нефтепромышленности в Тюменской области (включая Югру и Ямал) планируется создать научно-образовательный центр мирового уровня [30]. Некоторые научные центры Сибири вовлечены в инновационные программы крупных энергокомпаний: Институт теплофизики СО РАН (Новосибирск) сотрудничает с энергомашиностроительной компанией «Силовые машины»; Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО

РАН (Иркутск) – с сетевой компанией «МРСК Сибири». Все указывает на то, что развитие науки и образования в Сибири неразрывно связано с традиционной энергетикой. Исследовательские центры и вузы, которые десятилетиями создавались для нужд топливного сектора, получали и получают выгоды за счет реализации совместных научных разработок, подготовки квалифицированных специалистов.

Перспективы целого ряда исследовательских коллективов, образовательных программ, профессиональной карьеры молодых специалистов зависят от состояния дел в углеводородной отрасли, и их научный поиск, планы, личные стратегии питает интерес к традиционной энергетике в Сибири. Согласно данным ЦИТиС, в мегарегионе финансирование НИОКР в сфере энергетики (по коду классификации 44.00.00 ГРНТИ) осуществляется преимущественно по направлению «Топливные энергетические ресурсы».

Ведущие научные деятели выступают посредниками между энергокомпаниями и правительственными структурами в определении стратегических приоритетов развития энергетической отрасли. Диалог между исследователями и политиками приобретает особую важность в России, где 70% ИР финансируется за счет государства. Академик *В. Е. Форт* утверждает, что *«одно дело – убедить в этом всё такого же ученого, а другое – договориться с чиновником, имеющим совсем другую ментальность, другие цели»* [31]. Взаимодействие авторитетных ученых и влиятельных политиков при продвижении новых идей и инновационных проектов подчеркивают и зарубежные аналитики *Д. М. Харт* и *Д. Г. Виктор*: *«Изменения в научной стратегии происходят преимущественно вне научных событий, под воздействием управленческих и политических “потоков”, нежели благодаря научным открытиям... Научная элита может играть ключевую роль в формировании политических возможностей и расширении влияния определенных перспективных технологий»* [32]. Это особо актуально для энергетики, как во многом инерционной, капиталоемкой и закрытой области исследований; в этой ситуации позиция

отдельных ведущих ученых приобретает весомость при определении приоритетных направлений. Показательно, что в Совет при Президенте Российской Федерации по науке и образованию входят 40 влиятельных экспертов, из них четыре ученых-энергетика из атомной и углеродородной сферы и только один специалист по ВИЭ.

Подготовка рабочей силы и непрерывное повышение квалификации становятся важными факторами успешной инновационной деятельности в условиях новой индустриализации. Направляя 40% расходов на повышение квалификации рабочей силы в мегарегионе, традиционная энергетика Сибири является отраслевым лидером в сфере непрерывного образования, так как ни один другой сектор промышленности не направляет столь значимых инвестиций в человеческий капитал. На эти цели сибирские энергокомпании ежегодно тратят свыше 1832 млн руб., и удельные расходы на одного занятого в шесть раз превышают средний уровень в экономике Сибири: 1900 руб. в энергетике против 300 руб. в среднем по мегарегиону (рис. 7).

Считается, что выгоды от повышения квалификации и непрерывного образования получают не только непосредственно ведущие специалисты и энергокомпании, но и общество в целом: за счет «эффектов перелива» повышается общий уровень образования и просвещения в мегарегионе. Расходы энергокомпаний на переподготовку следует поощрять, так как рост знаний и образованности способствует достижению общего блага.

Но, несмотря на положительную динамику, расходов традиционной энергетике явно недостаточно, чтобы соответствовать трендам новой индустриализации и цифровизации экономики. Российская экономика значительно отстает по уровню переподготовки рабочей силы: в 2017 г. только 24% занятых прошли курсы повышения квалификации. Для сравнения: в ресурсной экономике Канады этот показатель составил 62%, а в стране-адепте ВИЭ и хайтека – Швеции – до 69% (рис. 8).

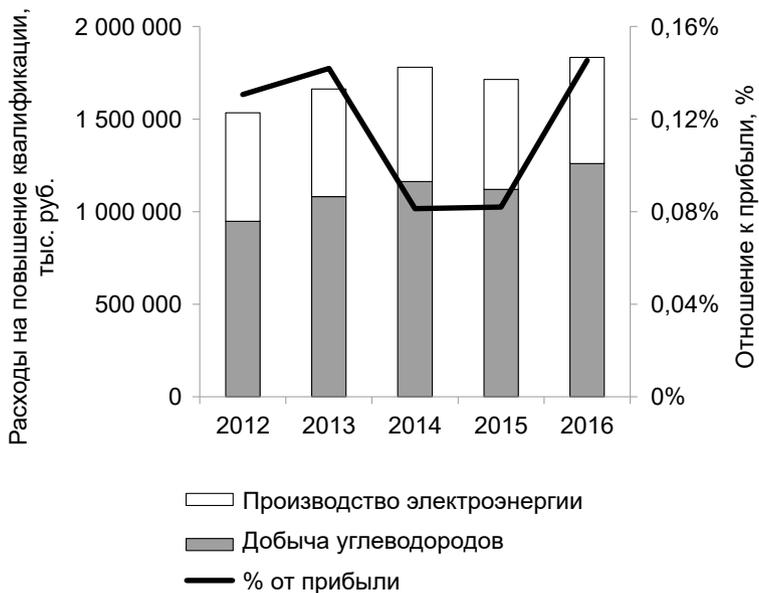


Рис. 7. Расходы на повышение квалификации персонала в энергетике Сибири
 Источник: составлено автором по данным ЕМИСС.

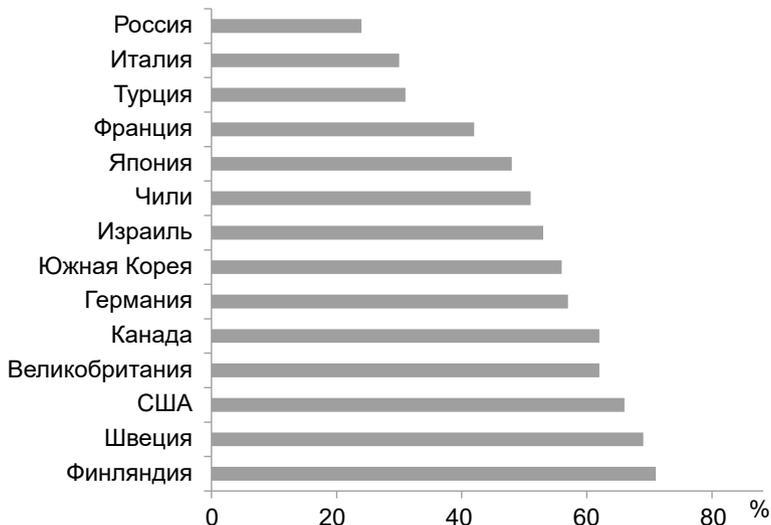


Рис. 8. Доля занятых, прошедших ежегодные курсы переобучения и повышения квалификации в странах мира в 2017 г.
 Источник: ОЭСР, 2019.

Таким образом, традиционная энергетика выступает в роли регионального лидера инновационной деятельности в Сибири, но уступает по важным позициям мировым лидерам в расходах на перспективные ИР и подготовку высококвалифицированных кадров. Минэнерго России признает, что *«в наименьшей степени ТЭК России готов к сценарию энергетической революции, требующей кардинальных инноваций и перехода к возобновляемой энергетике»* [33].

ИННОВАЦИИ В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ СИБИРИ

Возобновляемая энергетика представляет собой самостоятельный инновационный сектор, от которого ожидаются значительные положительные эффекты для общества: высокие расходы на ИР, научные открытия, подготовка высококвалифицированных кадров и открытие новых рынков. Как показывает опыт Сибири, эти выгоды не всегда очевидны и сопряжены с существенными издержками.

Исследовательские бюджеты энергокомпаний в сфере ВИЭ пока скромны и не оказывают влияние на уклад сибирской экономики. Компания «Хевел», крупнейший российский инвестор в солнечную энергетику, в 2017 г. потратила на ИР 4% выручки (200 млн руб. или 8,7 млн долл. по валютному курсу рубля по ППС в 2017 г.), что в разы меньше ее главного конкурента – американской SunPower, которая в 2017 г. затратила на ИР 11% доходов (или 116 млн долл.).

Трудно ожидать крупных расходов на ИР от второй по значимости компании «Солар Системс» с учредителем Amur Sirius Power Equipment, который находится в Китае. Инвестируя в ВИЭ больше всех в мире (45% глобальных инвестиций), Китай заинтересован не в проведении совместных научных исследований, а в расширении рынков сбыта для своих готовых разработок. Эту точку зрения разделяет В. Сиварам, который более десяти лет занимался международным бизнесом в сфере ВИЭ; он отмечает, что создание исследовательских коллабора-

ций с китайскими компаниями приводит к весьма поверхностным, незначительным улучшениям существующих технологий, а «*“креативная деструкция” не вдохновляет большинство китайских фирм. Скорее, они предпочитают улучшать рыночную позицию за счет вертикальной и горизонтальной консолидации*» [34].

Скромные расходы на ИР компаний солнечной энергетики могут привести к *монополизации и технологической блокировке* прорывных направлений. Согласно популярной теории «кривых обучения», рост расходов на ИР ведет к снижению стоимости передовых технологий за счет получения дополнительных знаний и производственного опыта, который необходим для усовершенствования технологии при дальнейшем ее масштабировании [35; 36]. Считается, что эффект обучения во многом объясняет успех солнечной и ветровой генерации с начала инвестиционного бума середины 2010-х гг. Но этот эффект ограничен в силу ряда причин. *Во-первых*, не учитывается вклад смежных направлений, например вложения в сектор полупроводников и космические исследования, которые обеспечили фундаментальные открытия в сфере ВИЭ в 1970-е гг. *Во-вторых*, по мере роста инвестиций и производства возникает другой эффект: «экономии на масштабе», когда на единицу дополнительной продукции приходится все меньше постоянных издержек.

Разграничения между двумя эффектами – *обучения и экономии на масштабе* – весьма условны, но их последствия существенны с экономической точки зрения. Если в случае «эффекта обучения» господдержка стимулирует научный поиск и коммерческую заинтересованность в передовых технологиях, то вследствие «эффекта масштаба» происходят монополизация рынка со стороны доминирующих разработок и блокировка фундаментальных исследований, даже если они радикально превосходят существующие аналоги. Так, согласно исследованию *Тань-Жу Чен*, промышленная политика Китая привела к значительному удешевлению производства солнечных панелей, до 80% которых идут на экспорт [37]. В настоящий мо-

мент потенциал от «эффекта масштаба» исчерпан, наблюдаются монополизация рынка ВИЭ и перепроизводство кремниевых панелей, когда несколько крупных частных компаний тесно аффилированы с местной властью и получают значительные дотации от правительства. «Эффект масштаба» в Китае начинает блокировать конкуренцию и сдерживать рост эффективности технологий солнечной генерации.

Подобная ситуация может возникнуть и в солнечной энергетике Сибири, где малая емкость внутреннего рынка и скромные расходы на ИР со стороны небольшого числа компаний ведут к монополизации отрасли. Сегмент солнечных установок в России фактически поделен между «Хевел» (рынок Сибири) и «Солар Системс» (рынок европейской части России). Эти компании производят кремниевые солнечные установки, которые дают низкую маржу вследствие агрессивной конкуренции со стороны Китая. Тем самым в России создаются предпосылки технологической блокировки перспективных разработок из-за монополизации отечественного рынка ВИЭ компаниями, доминирующими в производстве кремниевых солнечных панелей, и блокировки фундаментальных исследований, даже значительно превосходящих современные технологии. На признаки такой технологической блокировки указывает *В. Сиварам*: «Если добиться 30% доли солнечной генерации в мировом энергобалансе, необходимо, чтобы затраты строительства сетевой крупной солнечной электростанции должны быть не более 25 центов за один Ватт мощности, что экономически невозможно сделать с учетом издержек производства главного компонента – кремния» [34]. Необходимы фундаментальные исследования и разработки перспективных технологий, например неорганических перовскитных солнечных панелей. Но текущая низкая добавленная стоимость в отрасли не привлекает инновационные фирмы, а российское государство именно фундаментальные исследования в сфере ВИЭ поддерживает незначительно.

Показательно, что современные СЭС в Сибири начинают существенно уступать по техническим и стоимостным харак-

теристикам, например энергообъектам с неорганическими перовскитными солнечными панелями компании First Solar, которая добилась толщины ячейки всего 3 мкм. Ведь на самой передовой в России Майминской СЭС, запущенной в апреле 2019 г. в Республике Алтай, установлены гетероструктурные ячейки толщиной 90 мкм.

Таким образом, имея незначительные расходы на ИР зрелых кремниевых технологий, отечественная индустрия может превратить строительство солнечных электростанций в Сибири в «обычный бизнес» без инновационной составляющей.

Выгоды от развития ВИЭ для исследовательской и образовательной среды Сибири также пока не очевидны. Авторитетные научные школы: Национальный исследовательский университет «МЭИ», Объединенный институт высоких температур РАН (Москва) и Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе (Санкт-Петербург) – сконцентрированы в европейской части России. Владелец крупных электростанций в Сибири компания «РусГидро» создала в 2018 г. корпоративный исследовательский центр по ВИЭ при НИУ «МЭИ» (Москва), но основная программа исследований центра направлена, прежде всего, на развитие в стране уже привычной гидроэнергетики.

Вузы Сибири неохотно открывают специальности по ВИЭ из-за низкого набора студентов и недостаточного финансирования научной деятельности в этом направлении, что влияет на рейтинги и господдержку образовательных учреждений. Например, в ведущем университете Сибири – Новосибирском государственном техническом университете – четыре года действовала образовательная программа в сфере ВИЭ, но после выпуска 2008 г. она была закрыта. Трудоустройство выпускников по тематике ВИЭ ограничено, так как потенциальные работодатели – отечественные производители солнечной и ветровой энергетики – сосредоточены в европейской части России (завод компании «Хевел» в Новочебоксарске и завод «Солар Кремниевые Технологии» в Подольске).

Повышения уровня занятости и качества рабочей силы не наблюдается. При строительстве СЭС привлекалось до 550 временных работников на 4–5 месяцев, а для последующего обслуживания требуется лишь 5–6 штатных сотрудников с неполным рабочим графиком. Повышение квалификации проводится раз в три года на трехмесячных курсах в специально созданном для этого центре в Алтайском государственном техническом университете им. И. И. Ползунова (Барнаул). Цифровая информация о работе станций поступает онлайн в столичный офис для обработки ИТ-специалистами, а в случае серьезных аварий может быть задействована мобильная группа реагирования.

Инновационное развитие ВИЭ в Сибири могло бы способствовать получению существенных дополнительных выгод для промышленности, так как создается новая, с высокой добавленной стоимостью и экспортным потенциалом, индустрия. Сибирь еще сохранила «историческую память» об индустриальном прошлом, что трудно актуализировать, пока промышленное производство энергооборудования для СЭС размещено только в европейской части страны («Хевел» и «Солар Кремниевые Технологии»).

Внешнеэкономические выгоды от экспорта российского оборудования по ВИЭ ограничены при выходе на соседствующие с Сибирью растущие рынки Азии. Компании-лидеры в сфере ВИЭ защищают свои рынки от потенциальных конкурентов, реализуя политику технационализма. Впервые термин «технационализм» ввели в 1995 г. *Р. Нельсон* и *С. Остри* для описания технологической конкуренции между Германией, США, Францией и Японией, когда исследования и новые технологии превратились в важные факторы экономического роста [38]. Спустя 20 лет к этой группе присоединился Китай, который стал лидером во многих высокотехнологических областях, в том числе и возобновляемой энергетике. Недавнее исследование *Д. Г. Оквела* и его коллег доказывает, что «многие компании-лидеры в сфере низкоуглеродной энергетики, устанавливая контакты с партнерами из развивающихся стран,

имеют корыстные интересы в удержании своей рыночной ниши и конкурентных преимуществ перед этими развивающимися странами» [39].

Политика технонационализма применяется и в отношении российских компаний ВИЭ-индустрии. Крупные производства оборудования для ВИЭ, прежде всего в ветроиндустрии, созданы в рамках совместных предприятий с ведущими зарубежными партнерами («Энел России» – с Siemens Gamesa, «Ветро-ОГК» – с нидерландской Lagerwey и финской Fortum, «Роснано» – с датской Vestas) для достижения уровня локализации по солнечным электростанциям до 70%, по ветроустановкам – до 65% и доведения в перспективе до 100%. Но, согласно условиям договоров, реэкспорт российского оборудования в страны дальнего зарубежья запрещен; остается только возможность трансфера технологий в страны СНГ [40]. Такие ограничения экспорта сокращают «эффект масштаба», который важен для снижения стоимости и повышения доступности ВИЭ в Сибири.

Тем не менее, в отличие от ветроиндустрии, солнечная энергетика на 100% укомплектована отечественными разработками, а крупнейший в Сибири инвестор в ВИЭ – компания «Хевел» – уже реализует экспортные проекты в Казахстане и Венгрии. Это пока точечные проекты, но в условиях малого внутреннего рынка они помогут отработать навыки и компетенции, а заработанную прибыль направить на фундаментальные прорывные исследования. Как произошло, например, с ветроиндустрией Дании, когда в 1980-е гг. становление новой отрасли во многом поддержал спрос на качественные датские ветроустановки, возникший в Калифорнии. В этом отношении экспортные проекты строительства СЭС в других странах могут увеличить доступность и повысить степень инновационности солнечной генерации в Сибири.

ПОДВОДЯ БАЛАНС ВЫГОД И ИЗДЕРЖЕК

Новая промышленная революция сопровождается инновациями в мировой экономике, в том числе в сфере энергетики. Научные открытия и прорывные технологии становятся особо востребованы для производства электроэнергии, и от степени инновационности источников энергии зависит их роль в структуре электроэнергетики будущего.

Традиционная и возобновляемая энергетика демонстрируют разные модели инновационной деятельности. Традиционная энергетика остается безусловным лидером по объему расходов на ИР и аккумулирует усилия на собственные корпоративные вложения в небольшое число капиталоемких разработок. При этом главным бенефициаром разработок становится газовая генерация, которая в 1990-е гг. смогла создать высокоэффективные газотурбинные технологии, а в 2000-х в результате сланцевой революции получила еще одно преимущество – дешевое топливо. Возобновляемая энергетика имеет самые высокие темпы роста патентной активности, числа патентов и диверсифицированный пакет разработок; при этом больше половины патентных заявок обеспечивает солнечная энергетика. Затраты самых передовых компаний, датской Vestas и американской First Solar, превышают расходы многих средних нефтегазовых компаний. Ожидается, что инновационная активность существенно возрастет с появлением новых участников инновационного процесса – хайтека и стартапов, которые превращают электроэнергетику в динамичный инновационный сектор.

В условиях низких расходов на ИР в Сибири традиционная энергетика выглядит инновационным лидером, создавая инновационной продукции больше других отраслей и больше всех расходуя средства на повышение квалификации рабочей силы в мегарегионе. Поддержку отрасли оказывают научные и образовательные центры, чьи интересы во многом связаны с деятельностью добывающих и генерирующих компаний. Все это позволяет осуществлять «поддерживающие инновации»

для модернизации устаревших энергообъектов. Однако инновационная активность сибирских энергокомпаний уступает мировым лидерами, инновации носят модернизационный характер, а перспективные исследования практически не ведутся, что создает издержки для долгосрочного развития отрасли.

ВИЭ обладают высоким уровнем инновационной активности в мировой энергетике. Однако в Сибири компании солнечной энергетики с их скромными расходами на ИР могут превратить установку солнечных электростанций в «обычный бизнес» без инновационной составляющей. В условиях малой емкости внутреннего рынка и риска монополизации отрасли перспективным видится наращивание экспертного потенциала отечественных установок ВИЭ-генерации. Этот потенциал ограничен в ветроиндустрии из-за проблем реэкспорта и технонационализма зарубежных партнеров. В этой ситуации «стоцентная» отечественная солнечная энергетика имеет больше шансов на успех в экспорте технологий и наращивании внешнеэкономических выгод.

По параметру *инновационности* пока рано подводить баланс выгод и издержек, так как в Сибири инновационная деятельность энергокомпаний носит скорее улучшающий модернизационный характер, что противоречит динамике новой индустриализации и цифровизации, требующих перспективных исследований прорывного характера. Очевидно, что в условиях нарастания конкуренции в электроэнергетике важность приобретают инновации, способные кардинально изменить соотношение выгод и издержек между традиционными и возобновляемыми источниками энергии. Оба источника энергии выигрывают от внедрения инноваций, автоматизации и роботизации, но в ВИЭ эти выгоды представляются более существенными, чем в традиционной энергетике, которая остается зависимой от себестоимости добычи топлива, необходимого для выработки электроэнергии.

ГЛАВА 7

УПРАВЛЯЕМОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Фактор управляемости является наиболее сложным параметром для оценки сравнительных преимуществ перспективных источников энергии. При анализе выгод и издержек мы оперируем понятиями «управление» и «управляемость»¹, под которыми понимается деятельность стратегического характера агрегированных акторов (правительственных структур, бизнеса, неправительственных и некоммерческих организаций), определяющих перспективные направления развития энергетики. Выгоды и издержки в управлении определяются как объективными характеристиками источников энергии, так и деятельностью разнообразных субъектов; эти две стороны процесса производства энергии находятся во взаимодействии и требуют комплексного анализа. Согласно экономической теории организации, эффективная организация и рациональное управление влекут за собой дополнительные выгоды. *О. И. Уильямсон* утверждает, что «экономика управления представляет собой теорию по изучению хорошего порядка и действенных догово-

¹ С нашей точки зрения, категории «управление» и «управляемость» (*governance* или *governing*) относятся к стратегическому домену исследования крупных долгосрочных проблем и комплексных решений. В то же время категория менеджмента (*management*) рассматривается в тактической плоскости, то есть как руководство корпорацией, учреждением или организацией посредством установления норм и регуляций, направленных на повышение эффективности процессов в краткосрочном периоде.

ренностей», пролонгация использования которых хозяйствующими субъектами служит «источником создания стоимости» в экономике [1].

В этом отношении показателен опыт функционирования углеводородной генерации, для нужд которой в течение более ста лет формировалась типичная для индустриального общества иерархическая, достаточно многоуровневая система организации и управления. Необходимость добычи ископаемого топлива, его хранения и бесперебойной доставки до электростанции, утилизации вредных выбросов – все это потребовало создания вертикально интегрированных иерархических структур, централизации управления, дирижистского стиля руководства, экологического регулирования для слаженного и эффективного управления потоками энергии, вредной эмиссией, деньгами и человеческими ресурсами. Эти принципы организации позволяли и позволяют получать существенные выгоды в области углеводородной энергетики. Как утверждает *И. Моррис*, «в тех ситуациях, когда ярко выраженная иерархия обеспечивала эффективную организацию, двигавшиеся в этом направлении оказывались вознаграждены» [2, с. 338].

В отличие от углеводородов, солнечная и ветровая энергия – принципиально *новый источник* энергии в энергобалансе, не требующий добычи и доставки ископаемого топлива, имеющий высокий уровень *инновационности* и *экологичности*. Это требует иных, во многом отличных от традиционной энергетики, форм организации и управления: диверсифицированных, сетевых, партнерских, – применение которых усиливает роли новых участников энергосистемы и приводит к лучшей управляемости энергетическими процессами и соответствующим экономическим выгодам для общества. Известный экономист-историк *Н. Фергюсон* утверждает, что в наш «век сетей» для продвижения всего нового и прогрессивного исключительно важны горизонтальные формы, так как, *во-первых*, они укрепляют начинания – «птицы сбиваются в стаи»; *во-вторых*, «слабые связи» усиливаются, благодаря подключению к другим кооперациям даже посредством слабых каналов;

в-третьих, «сети никогда не спят», потому что они находятся в динамике, постоянно развиваясь и адаптируясь к новым условиям социально-экономического контекста [3].

Но, помимо объективных характеристик, управляемость потоков энергии зависит от стратегических целей и деятельности таких субъектов энергетической системы, как государственные структуры, частные энергокомпании, представители третьего сектора экономики (некоммерческие организации (НКО) и филантропы), международные организации, которые оказывают прямое или опосредованное влияние на принятие решений в сфере энергетики и реализуют собственные политические, экономические или ценностные устремления. Как отмечает А. Мазур, *«в сферу энергетики оказалось вовлечено слишком много корпораций, правительственных структур, университетов, исследовательских центров, профессиональных сообществ, чьи финансовые, властные, образовательные, корпоративные интересы привели в действие многие процессы в прошлом и до сих пор остаются “движущими силами” увеличения производства электроэнергии» [4].*

Главным критерием оценки управляемости энергетических процессов выступает их способность быстро реагировать на руководящие действия государственных, корпоративных и некоммерческих структур, чтобы достичь наибольших чистых выгод в количественном и качественном отношениях. Синтез количественных, чисто монетарных, измерений и качественных оценок происходит на основе их соотнесения с целями долгосрочных действий разных экономических субъектов. Вертикальная интеграция и иерархия могут хорошо соответствовать задачам бизнеса по максимизации прибыли и помогать государству консолидированно и слаженно управлять, но ограничивают достижение целей более высокого порядка, значимых для всего общества, например получение достоверной неискаженной информации, быстроту принятия решений, действенность социальных лифтов. В нашем понимании рациональное управление энергетикой должно быть направлено на достижение общего блага. Руководствуясь принципом дивер-

сификации, рациональное управление усиливает защищенность общества от волатильности сырьевой конъюнктуры и внешних угроз, а проактивная политика в сфере экологии и климата создает возможности гармоничного взаимодействия людей и природы. Сетевые формы управления и развитие третьего сектора экономики помогают транслировать важные для общества ценности и устремления, связанные с энергетическим выбором.

Таким образом, управление традиционной и возобновляемой энергетикой и ее современная организация – это взаимосвязанный и многофакторный процесс, который представлен разнообразными, часто конкурирующими научными концепциями, бизнес-моделями и государственными стратегиями. Предметное поле главы сформировано в рамках исследовательской области управления и в традициях современной российской и зарубежной аналитики [5; 6; 7; 8]. Акцент сделан на четырех, во многом отличных друг от друга, кластерах выгод и издержек, возникающих при управлении использованием традиционных и возобновляемых источников энергии в Сибири: 1) преимуществах для национальной экономики, 2) выгодах для энергобизнеса, 3) сетевых формах с участием филантропов и НКО, 4) международных партнерствах и геополитике.

ПРЕИМУЩЕСТВА ДЛЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Национальная экономика и благосостояние населения во многих странах и регионах зависят от эффективного управления углеводородными активами. По оценкам ООН, в 1995–2014 гг. углеводородные активы стран росли более высокими темпами, нежели остальные активы, такие как человеческий капитал, производственный капитал, возобновляемый природный капитал (леса и сельхозугодья) [9]. На рисунке 1 показано: чем выше доля ископаемых в совокупных активах страны, тем сильнее госдоходы зависят от их налогообложения. Ресурсная рента дает уникальный шанс для ее реинвестирования в развитие, чем и воспользовались многие богатые углеводородами страны (например, Канада, Норвегия, США) и что позволило им перейти на более высокую траекторию экономического роста. Но грамотно реализовать этот потенциал смогли не все: 12 из 24 бедных стран в мире признаны ресурсно изобильными экономиками, однако отсутствие сильных институтов управления и рациональной политики не позволяют им вложить сверхдоходы, прежде всего, в человеческий капитал, который составляет 70% богатства высокоразвитых стран мира.

Энергетические державы различаются по степени эффективности управления углеводородами. Согласно международному рейтингу эффективности управления природными ресурсами (*The Resources Governance Index-RGI*), только Великобритания, Норвегия и США обладают удовлетворительными стандартами управления, а 95% углеводородных держав не имеют прозрачной законодательной базы, доступной информации об углеводородных сделках, аудита государственных финансов, должного надзора над процессами заключения контрактов и лицензий, а также общей благоприятной среды для эффективного управления [10]. По композитному индексу Россия в 2017 г. находилась на 45 месте из 89 за счет, как отмечается в докладе, высокой восприимчивости нацио-

нальной экономики к падению цен на нефть, экономическим санкциям и растущим расходам на оборону².

В мегарегионе Сибирь в период становления и расцвета индустриального типа экономики, когда основными источниками энергии выступали сначала уголь, а затем гидроэнергетика, нефть и газ, сложилась и типичная для индустриального общества иерархическая, многоуровневая система управления [11]. Выстроенные за десятилетия взаимоотношения в сфере традиционной энергетики надежно обеспечивают электроэнергией население Сибири, хотя уровень ее потребления в два раза ниже таких северных регионов, как Скандинавия и Канада (табл.1). Столь низкое энергопотребление считается индикатором энергетической бедности в связи с недопотреблением энергоемких благ цивилизации.

Таблица 1

Топ-10 стран с самым высоким потреблением
электроэнергии на душу населения

| Место | Страна | кВт ч на душу населения |
|-------|------------|----------------------------|
| 1 | Исландия | 53 832 |
| 2 | Норвегия | 23 000 |
| 3 | Бахрейн | 19 597 |
| 4 | Кувейт | 15 591 |
| 5 | Канада | 15 588 |
| 6 | Финляндия | 15 250 |
| 7 | Катар | 14 782 |
| 8 | Люксембург | 13 915 |
| 9 | Швеция | 13 480 |
| 10 | США | 12 994 |
| ... | | |
| 28 | Россия | 6 603 |
| | Сибирь* | 4 828 |

Примечание: * расчеты автора

Источник: World Bank, 2020.

² Resource Governance Index 2017. URL: <https://resourcegovernance.org>.

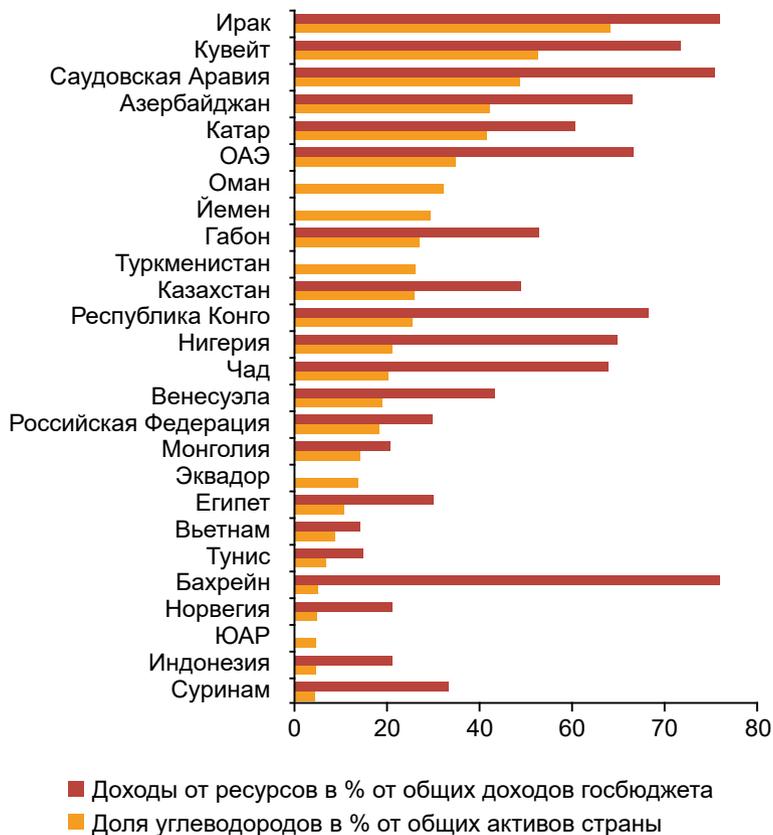


Рис. 1. Углеводородные активы и доходы госбюджета по отдельным странам, 2010–2014 гг.

Источник: Wealth of Nations, 2018.

Важное достоинство управляемости традиционной энергетики Сибири состоит в скорости реагирования на проблемные ситуации, высокой предсказуемости и надежности организации со стороны государства и энергокомпаний. Даже в случае серьезной аварии, как на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г., когда из энергосистемы Сибири за несколько секунд выпало 4 ГВт мощности, коллапса не произошло и население практически не ощутило на себе последствий, так как сохранилась работа других генерирующих мощностей. Традиционная энер-

гетика пока демонстрирует устойчивость и к внешним шокам: финансовому кризису 2009 г., антироссийским санкциям 2014 г. В этих условиях были достигнуты рекордные объемы добычи: в 2018 г. пиковый объем добычи природного газа и угля составили 725 млрд м³ и 440 млн т.

Иерархическая система управления традиционной энергетикой Сибири демонстрирует свою жизнеспособность в острых ситуациях, благодаря взаимодополняемости и взаимосвязанности энергообъектов. Как справедливо отмечает *В. А. Крюков*, «нефть и газ – это не только энергоресурсы страны, но и важные факторы ее пространственного развития, в определенном смысле – скрепы ее территориального каркаса» [12]. Консолидация деятельности небольшого числа крупных компаний в силу их аффилированности с госструктурами позволяет быстро переориентировать курс на решение стратегических задач и действовать скоординированно с государственными структурами, как это произошло при форсированной реализации проекта «Сила Сибири», эксплуатации новых месторождений газа на Ямале и угля в Якутии, разработке проекта энергокольца с Японией и Китаем.

Централизация управления формирует значимые выгоды для экономики регионов Сибири в виде дополнительных поступлений налогов: от 25 до 40% доходов регионального бюджета формируется за счет отчислений углеводородного бизнеса. Эти фискальные доходы дают региональным властям возможность перераспределять ресурсную ренту на выполнение социальных обязательств, инициатив в сфере образования и здравоохранения; финансировать местные экономические программы. Согласно рейтингу инклюзивного развития ресурсных регионов, разработанному *А. Е. Севастьяновой*, *А. Н. Токаревым* и *В. В. Шматом* [13], четыре региона Сибири входят в топ-5 субъектов РФ по индексу инклюзивности³:

³ Индекс инклюзивности социально-экономического развития ресурсных регионов рассчитывается как среднеарифметическое по четырем группам показателей: 1) доходы и неравенство, 2) доступ к услугам здравоохранения, 3) жилищные условия, 4) доступ к инфраструктуре.

Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа, Магаданская область, Чукотский край, благоприятная ситуация в которых связана с высокой долей минерально-сырьевого комплекса в структуре ВВП, системой «северных» гарантий и компенсаций. А к отстающим отнесены Иркутская область и Республика Саха (Якутия): их показатели ниже среднероссийского уровня. Исследователи отмечают, что богатство ресурсов не гарантирует высокого социально-экономического развития, но все же ресурсные регионы Сибири *«тяготеют к первой половине рейтинга»*.

Возобновляемая энергетика, напротив, стремится к децентрализации и диверсификации. Стоит отметить, что диверсификация является основным принципом развития и углеводородной генерации, которая проектируется на резервном топливе (уголь или мазут) и создает запасы угля на электростанциях на 30–45 суток. Но в отношении ВИЭ принцип диверсификации действует масштабнее и приносит более существенные экономические выгоды. Солнечная и ветровая генерации, будучи *принципиально новым источником* в энергобалансе, считаются более доступными для большего числа стран, их выработка локализована и может быть легко организована в самых бедных регионах мира [14]. Помимо диверсификации энергобаланса, использование ВИЭ позволяет разнообразить уклад экономики в целом, так как создается новая, с высокой добавленной стоимостью и экспортным потенциалом, индустрия.

Диверсификация как принцип современной организации и управления является одним из главных мировых трендов в расширении использования ВИЭ для обеспечения энергетической стабильности многих стран и регионов. ВИЭ востребованы, прежде всего, в странах, зависимых от импорта углеводородов: например, ситуация в Индии и Японии показывает, что солнечная и ветровая генерации способны снизить зависимость внутренних цен на электроэнергию от колебаний конъюнктуры глобальных рынков сырья. Принцип диверсификации энергобаланса за счет ВИЭ реализуется и в богатых углеводо-

родами регионах. Показательно, что штаб-квартира Международного агентства по ВИЭ размещается в ОАЭ, госбюджет которых на 57% зависит от доходов нефтегазового сектора; но страна стремится диверсифицировать свою энергетику и достичь к 2020 г. выработки 71% электроэнергии за счет газа, 12% – за счет атома, 12% – угля, 5% – солнца.

Регионы Сибири также демонстрируют выгоды диверсификации на основе ВИЭ. До появления солнечных электростанций Республика Алтай не имела собственной генерации и импортировала электроэнергию из Алтайского края. Приобретая энергетическую независимость, республика стремится превратиться из бедного региона⁴ Сибири с дорогой электроэнергией (8 руб. за кВт ч для промышленности и 5 руб. за кВт ч для населения) в регион с высокими темпами роста промышленности за счет производства электроэнергии⁵ и заработной платы: эти показатели планируется увеличить к 2035 г. в 6 и 2,7 раза соответственно⁶. Тем не менее предпосылки для получения дополнительных выгод в результате основательной диверсификации экономического уклада в Сибири не представляются весомыми, так как промышленное производство энергооборудования для СЭС сосредоточено в европейской части России (завод компании «Хевел» в Новочебоксарске и завод «Солар Кремниевые Технологии» в Подольске) [15].

Важные выгоды в управлении потоками энергии связаны с реализацией политических решений. По словам *Т. Митчелла*, «постоянно увеличивающиеся поставки энергии изменили человеческие отношения в пространстве и во времени, что обусловило новые формы политики...» [16]. Разведка, добыча и транспортировка углеводородов, их превращение в электро-

⁴ Республика Алтай находится на втором месте в Сибири после Тывы по уровню бедности, который в 2018 г. составил 24%.

⁵ Республика Алтай, благодаря вводу новых СЭС в регионе и производству электроэнергии, в 2016 г. достигла самого высокого в стране индекса промышленного производства (140,4%).

⁶ Стратегия социальноэкономического развития Республики Алтай на период до 2035 г. Правительство Республики Алтай, утв. 13 марта 2018 г.

энергию заставляют искать способы конвертации единовременных доходов от этих процессов в более долгосрочные дивиденды, способы оборота и управления этими денежными потоками, в том числе с помощью политических механизмов, с привлечением властных структур федерального и регионального уровней. В сибирских регионах высокая концентрация добычи угля, нефти и газа требует жесткой системы управления, которая корреспондирует с характером управления политического. Так, несмотря на стопроцентную частную собственность, угольный Кузбасс бесконфликтно сосуществует с предельно устойчивой политической властью, о чем свидетельствует двадцатилетнее бессменное пребывание на посту губернатора А. Г. Тулеева. За это время добыча угля увеличилась со 100 млн т в 1999 г. до 241 млн т в 2017 г. и не было ни крупных социальных протестов, ни массовых забастовок. Предсказуемость управления энергетическими процессами в регионе стала гарантом политической и социальной стабильности.

Возобновляемая энергетика, напротив, пока не рассматривается сибирскими управленцами как инструмент эффективной политики. Губернаторы регионов, где уже установлены объекты ВИЭ, с осторожностью продвигают развитие солнечной и ветровой генераций, а эти проекты упоминаются в СМИ, прежде всего, с целью создания образа инновационного региона. В региональной повестке ВИЭ не находятся в конфронтации с традиционной энергетикой, которая доминирует в политическом пространстве; для них определяются «медвежьи углы», где нет электросетей и куда трудно доставить топливо. В новых схемах развития электроэнергетики сибирских регионов до 2024 г. планы, касающиеся новых объектов ВИЭ, занимают скромное место. Однако, как показывает опыт стран-адептов ВИЭ, именно региональная политика играет решающую роль в запуске новых энергетических инициатив. Важность локальной «политизации» процессов распространения технологий ВИЭ убедительно показана в работе *М. Анклина* и *Д. Урпелайнена* на примере Калифорнии, которая, находясь

ром по ветрогенерации: «*Не энергия ветра выбрала Калифорнию в качестве своего прибежища, а Калифорния выбрала ветрогенерацию для своего развития*» [17]. Без амбициозной региональной стратегии в Сибири трудно получить значимые выгоды от внедрения ВИЭ.

Однако наряду со значимыми выгодами управляемость потоками энергии означает для национальной экономики и значительные издержки.

Сплоченность и скоординированность управления углеводородным бизнесом, по данным *Transparency International*, продуцирует высокие коррупционные риски и рост теневого бизнеса. Крупные энергокомпании Сибири имеют одни из самых низких индексов прозрачности ведения бизнеса в России: например, индексы группы «Сибирская угольная энергетическая компания» (СУЭК) и входящего в нее энергетического холдинга «Сибирская генерирующая компания» (СГК) – 1,3 и 0,9 соответственно по 10-балльной шкале [18].

Иерархичность управления, множество посредников и правовых положений усложняют мониторинг движения топлива и денежных средств к конечному потребителю. Согласно данным Следственного комитета РФ, наибольшее количество взяток (ст. 290 УК РФ) в Сибири зафиксировано в углеводородных регионах: Забайкальском крае, Тюменской области и Ямало-Ненецком автономном округе, где ежегодно на 100 тысяч населения фиксируется 10 подобных преступлений, а наименьший показатель – 0,95 – наблюдается в солнечной Республике Алтай. Для сравнения: в столице России этот показатель равен 2,5.

Издержки рабочих связей государства и топливного бизнеса возникают также из-за политики «вращающихся дверей», которая позволяет топ-менеджерам и местным чиновникам менять вид деятельности и должность вслед за простой сменой кабинета [19]. Чиновники в одночасье становятся топ-менеджерами энергокомпаний: например, в мае 2018 г. бывший начальник департамента энергетики, жилищного и коммунального хозяйства мэрии Новосибирска А. В. Колмаков был назна-

чен директором Новосибирского филиала СГК во время перехода ТЭЦ-5 на бурый уголь. Директора энергокомпаний, в свою очередь, получают должности в системе госслужбы: например, в марте 2019 г. заместителем губернатора Кемеровской области по экономическому развитию был назначен К. Г. Венгер, бывший топ-менеджер угольной компании «Стройсервис». Проанализировав правительственные структуры 24 регионов и 24 административных центров Сибири, карьерный рост топ-менеджеров крупных сибирских энергокомпаний⁷, мы выявили 141 активного бюрократа – «выходца» из энергетической сферы, то есть треть сибирского истеблишмента (вице-губернаторы, министры и их заместители) – это бывшие сотрудники энергобизнеса. Из чиновников в энергобизнес перешли только 40 топ-менеджеров. Таким образом, политика «вращающихся дверей» помогает принимать выгодные для энергокомпаний законы, контролировать общественные слушания, разрабатывать экологические стандарты.

Подобные недостатки свойственны также и сибирской возобновляемой энергетике, отдельные проекты которой сопровождались коррупционными скандалами [20]. Но здесь, в силу малого масштаба индустрии, такие инциденты пока единичны, а издержки – незначительны.

⁷ Выборка крупнейших энергокомпаний была сформирована на основе рейтинга «Эксперта РА» по выручке. Из них были отобраны те компании, которые имеют активы в Сибири, хотя, как правило, юридический адрес и штаб-квартиры компаний локализованы в Москве.

ВЫГОДЫ ДЛЯ ЭНЕРГОБИЗНЕСА

Участие в управлении энергетикой приносит корпоративному сектору значительные выгоды. К 2020 г. российская электроэнергетика представлена 20 крупными генерирующими и электросетевыми компаниями, добычу нефти и газа осуществляют 295 организаций, из которых 107 являются структурными единицами 11 вертикально интегрированных нефтяных компаний, а добычу угля ведут 166 угольных предприятий. Такая бизнес-структура позволяет беспрепятственно перенаправлять денежные потоки между разными уровнями и подразделениями корпораций, осуществлять внутрикорпоративные займы с использованием дочерних обществ, и в итоге неплохо зарабатывать: среднегодовая рентабельность энергокомпаний в мегарегионе Сибирь – 20–30%.

Компании, работающие в Сибири с ВИЭ, применяют уже апробированные в традиционной энергетике иерархические формы организации и управления. Так, «Хевел» и «ЕвроСиб-Энерго» представляют собой *вертикально интегрированные структуры*, которые сконцентрировали промышленное производство сырья (кремния) и энергооборудования, а также строительство, эксплуатацию и сервисное обслуживание солнечных электростанций в Сибири. Другой стандартный механизм – долгосрочный договор на поставку мощности (ДПМ) – используется для модернизации угольных и газовых электростанций и для строительства крупных сетевых солнечной и ветровой генераций. Такая консервативная практика хозяйствования обеспечивает высокую рентабельность предприятий по производству электроэнергии за счет ВИЭ: на Алтае, в Бурятии и Хакасии этот показатель в 2017 г. достиг 369%, 344% и 75% соответственно.

Высокая рентабельность ВИЭ привлекала внимание традиционных генерирующих компаний. Гендиректор ПАО «Т плюс» А. А. Вагнер задает риторический вопрос: «Почему бы не получать энергию от солнца и не трансформировать ее в электричество, если оно просто есть?» [21]. Вместе с тем,

202

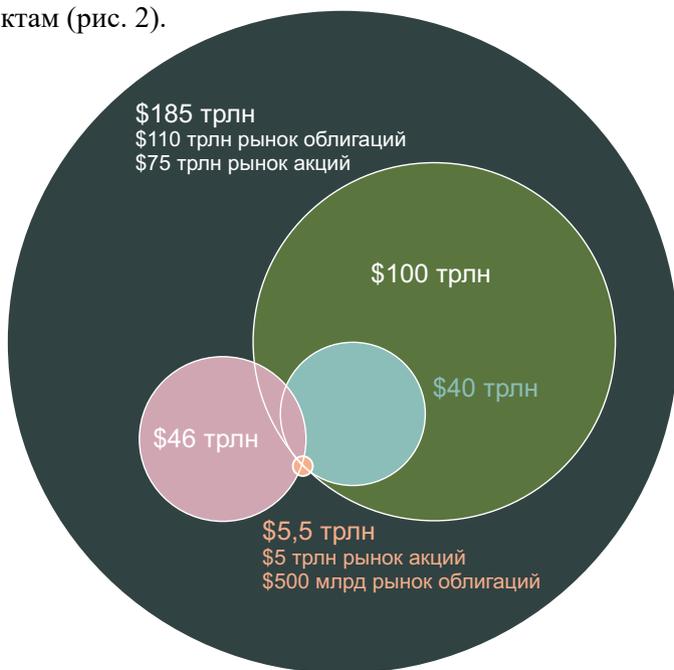
ВИЭ-генерация рассматривается не как конкурент, а скорее как диверсификация основного бизнеса с гарантированной высокой отдачей; главное, как подчеркивает гендиректор ПОА «РусГидро» *Н. Г. Шульгинов*, «не идти в некупаемые проекты» [22]. Но все-таки модель углеводородного бизнеса с круглосуточными непрерывными поставками топлива остается намного прибыльнее, нежели единовременная, хоть и высокомаржинальная, деятельность по инсталляции солнечных и ветровых установок.

Обеспечивая выгоды для компаний, высокая интеграция энергобизнеса в Сибири порождает издержки для общества вследствие распространения «приятельского капитализма» (crony capitalism)⁸, в который вовлечены определенные энергокомпании, банки, местные и федеральные чиновники, преследующие собственные интересы и игнорирующие приоритеты развития страны и мегарегиона. Такие интегрированные группы, ведомые собственными интересами, по мнению *В. Смита*, представляют «макропаразитизм в энергетике», когда, «формируя энергетическую политику и устанавливая цены посредством вето или затрудняя деятельность правительства, эти группы работают против оптимального использования всех ресурсов, и неизбежно они оказывают заметное влияние на разработку источников энергии и эффективное их использование» [23].

«Приятельский капитализм» вовлекает представителей влиятельных финансовых институтов, ликвидность которых во многом зависит от состояния дел в углеводородном секторе. Согласно оценкам InfluenceMap, капитализация 300 крупнейших публичных акционерных компаний, контролирующих

⁸ Согласно глоссарию *The Economist*, термин «приятельский капитализм» обозначает подход к ведению бизнеса с привлечением структур, находящихся с собственником компании в родственных или дружеских отношениях. Такой стиль характерен для азиатских компаний и правительств, которые часто заключают сделки с друзьями или членами семьи. «Приятельский капитализм» рассматривается как вид коррупции с последующим проявлением экономической неэффективности.

большую часть запасов и добычи углеводородов в мире, связана с финансовыми активами 4000 крупнейших частных инвесторов, 4000 инвестиционных управляющих компаний и почти 60000 биржевых инвестиционных фондов [24]. Этот альянс делает углеводородный бизнес *«слишком большим, чтобы упасть»* и не оправдать ожидания не только собственников энергобизнеса, но и финансовых институтов, основательно подпитывающих свою ликвидность, благодаря энергетическим проектам (рис. 2).



- Глобальный рынок капитала (по оценкам МВФ)
- 4000 крупнейших инвестиционных компаний
- 4000 крупнейших частных владельцев активов
- 15 крупнейших инвестиционных групп компаний
- 300 крупнейших добывающих ископаемое топливо компаний

Рис. 2. Взаимосвязь капитализации крупнейших энергокомпаний и инвестиционных фондов на глобальном рынке капитала

Источник: InfluenceMap, 2018.

Российские банки активно поддерживают традиционный энергобизнес в Сибири: для модернизации электростанций и открытия новых месторождений энергокомпаниям нужны крупные долгосрочные кредиты. В России в 2017 г. генерирующие компании привлекли более 400 млрд руб. кредитов, и медианный показатель долговой нагрузки в отрасли составляет 1,7⁹, то есть долг превышает операционную прибыль в 1,7 раза. В 2015 г. долговая нагрузка была 3,6 и ее удалось снизить за счет рефинансирования зарубежных кредитов со стороны российских госбанков: ВТБ, Газпромбанка и Сбербанка [25]. При этом принятие решений о выдаче кредитов превращается из процедуры оценки финансовой эффективности в процесс оценки политической целесообразности. Госбанки не заинтересованы в банкротстве сибирских энергокомпаний, чтобы избежать списания крупных долгов, которые могут принести процентные доходы в будущем, при росте спроса на энергоносители.

«Приятельский капитализм» не миновал и возобновляемую энергетику: ряд знаковых компаний основан при поддержке крупных государственных и частных компаний, руководители которых тесно связаны [26]. Но в работе *А. Баута* и *А. Жихарева* [27] отмечается положительный аспект такого тесного сотрудничества: в российских условиях сильной зависимости от нефти и газа субъективные интересы некоторых бизнес- и госструктур помогли в определенной степени преодолеть первоначальное неприятие ВИЭ.

⁹ Долговая нагрузка рассчитана как отношение размера долга к прибыли до выплаты процентов, налогов и амортизации (EBITDA).

СЕТЕВЫЕ ФОРМЫ И НЕКОММЕРЧЕСКИЙ СЕКТОР ЭКОНОМИКИ

Помимо государственного и частного секторов, в управлении энергетическими процессами стали все чаще участвовать представители так называемого третьего сектора экономики: НКО, неправительственные фонды, филантропы, волонтерские движения, экологические ассоциации, отраслевые общественные организации. Будучи *«аватарами общего блага и стоящие за завесой собственных интересов»* [28], они способствуют большей открытости, прозрачности энергетических процессов, обеспечивают общество достоверной информацией о подлинных выгодах и издержках использования традиционных и возобновляемых источников энергии.

С этой точки зрения сетевые формы организации с привлечением третьего сектора экономики и гражданского общества оказываются наиболее действенными для развития ВИЭ. Функция НКО в энергетике – это не только некая просветительская миссия в виде популяризации «зеленых» идей, лоббирования природоохранного законодательства и укрепления системы экологического правосудия [29]. За последние десять лет усилилась роль НКО в инновационной сфере: с 1995 по 2015 г. объем их вложений в ИР вырос в 1,8 раза (рис. 3); в 2015 г. частные НКО обеспечили 2,4% глобальных расходов на ИР.

Согласно проведенному нами анализу международных данных, НКО активно поддерживают исследовательские проекты в сфере ВИЭ, что позволяет компенсировать недостаток финансирования ИР со стороны бизнеса и государства. Помимо прямого финансирования инновационных проектов и выполнения исследовательских программ, НКО реализуют гуманитарные и общественные инициативы по формированию в обществе позитивного восприятия ВИЭ.

Таблица 2

Крупнейшие фонды и филантропы, предоставившие более 50 млн долл. НКО для развития возобновляемой энергетики и смежных направлений с 2000 по 2017 г.

| | Фонды и филантропы | Организация-реципиент | Бюджет одного проекта, млн долл. | Цель |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 1 | Bill&Melinda Gates Foundation | Более 65 НКО | 500 | Поддержка инновационных проектов в сфере ВИЭ, защиты окружающей среды и здоровья населения |
| 2 | William and Flora Hewlett Foundation | ClimateWorks Foundation | 461 | Запуск международной программы по борьбе с изменением климата и для поддержки ВИЭ |
| 3 | Gordon and Betty Moore Foundation | Conservation International | 261 | Оценка качества окружающей среды и защита диверсификации биосферы, в том числе благодаря развитию ВИЭ по всему миру |
| 4 | Ted Turner | Nuclear Threat Initiative | 250 | Снижение опасности атомной энергетики, в том числе за счет развития ВИЭ. |
| 5 | Mary Joan Palevsky | California Community Foundation | 200 | Поддержка образовательных программ и технологической доступности ВИЭ для уязвимых групп населения |
| 6 | Robert E. and Dorothy King | Stanford University | 150 | Поддержка лидеров в сфере «зеленых» инициатив, в том числе в сфере ВИЭ |
| 7 | David Gundlach | Elkhart County Community Foundation | 125 | Развитие ВИЭ в Индии |
| 8 | William and Flora Hewlett Foundation | ClimateWorks Foundation | 100 | Поддержка деятельности по развитию ВИЭ и борьбе с изменением климата |
| 9 | George Soros | Fund for Policy Reform | 100 | Поддержка сторонников идей изменения климата и развития ВИЭ |

| | | | | |
|----|-------------------------------------|----------------------------------|----|---|
| 10 | Susan Thompson Buffett Foundation | Population Service International | 76 | Поддержка глобального здоровья населения, в том числе за счет «энергетического перехода» к ВИЭ |
| 11 | Rotary International | World Health Organization | 75 | Поддержка глобальных инициатив по профилактике (в том числе за счет развития ВИЭ) заболеваний органов дыхательных путей, вызванных загрязнением воздуха |
| 12 | Foundation for Deep Ecology | Conservation Land Trust | 70 | Поддержка деятельности по защите окружающей среды, в том числе за счет развития ВИЭ |
| 13 | Selly Reahard | Nature Conservancy | 70 | Защита плодородия почв и природной среды в Индии, в том числе за счет развития ВИЭ |
| 14 | David and Lucile Packard Foundation | ClimateWorks Foundation | 66 | Глобальное снижение эмиссии парниковых газов и предотвращение изменения климата, в том числе за счет развития ВИЭ |
| 15 | Willy Endowment, Inc. | United Way | 60 | Поддержка через специально созданный Capital Projects Fund образовательных программ для взрослых, курсов повышения квалификации в сфере ВИЭ. |

| | | | | |
|----|-------------------|---------------------------------|----|--|
| 16 | Michael Bloomberg | Sierra Club Foundation | 50 | Заккрытие как минимум одной трети угольных электростанций в США посредством инициатив с самых «низов» по развитию ВИЭ |
| 17 | Waren Buffet | Nuclear Threat Initiative | 50 | Создание международного банка топлива для атомных реакторов в целях использования этих «заготовок» на атомных электростанциях по всему миру вместо налаживания собственного обогащения урана и осуществление «энергетического перехода» на ВИЭ |
| 18 | Jay A. Precourt | Stanford University | 50 | Финансирование альтернативных энергетических исследований, прежде всего в сфере ВИЭ |
| 19 | Al Gore | Alliance for Climate Protection | 50 | Поддержка исследований в области изменения климата и «чистых» источников энергии (ВИЭ) |
| 20 | Tom Steyer | Energy Foundation | 50 | Поддержка инициатив США и Китая в целях формирования новой экономики в энергетике, базирующейся на чистых источниках энергии (ВИЭ) |
| 21 | Mark Tercek | Nature Conservancy | 50 | Продвижение ценностей защиты природы, земельных и водных ресурсов в целях перехода от традиционной (угольной) к возобновляемой энергетике (ВИЭ) |

Источник: составлено автором на основе рейтинга Indiana University's Million Dollar List, мониторинга The Chronicle of Philanthropy и ежегодных отчетов о финансовой и основной деятельности, представленных в открытом доступе на сайтах некоммерческих и неправительственных организаций.

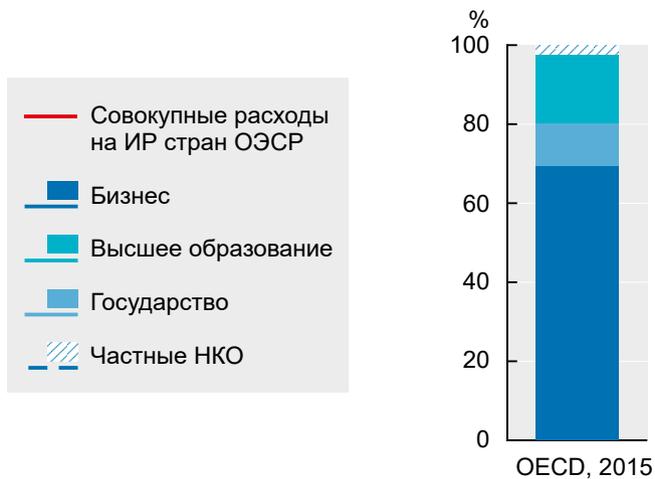
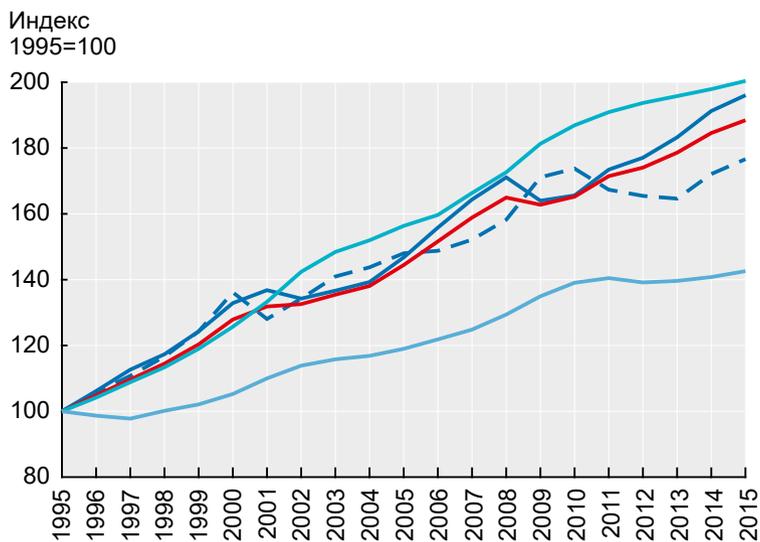


Рис. 3. Динамика расходов на ИР в странах ОЭСР за 1995–2015 гг.
Источник: OECD, 2017.

Нами были проанализированы направления вложений 66 самых крупных филантропов в мире и выявлены 21 фонд и 83 НКО, получившие гранты в размере более 50 млн долл. для развития возобновляемой энергетики и разработок по смежным проблемам: исследованиям изменения климата, окружающей среды и здоровья населения (табл. 2). Оказалось, что ни один проект по углеводородной тематике не поддержан ни одним из этих фондов или филантропов.

Новые формы организации поддержки ВИЭ обладают важными преимуществами. *Во-первых*, происходит диверсификация способов финансирования ВИЭ, и в случае отсутствия должных вложений в ИР со стороны государства и бизнеса филантропы и НКО поддерживают и «спасают» эту деятельность. *Во-вторых*, дотации НКО имеют высокую отдачу. На эти выгоды указывает М. О'Нил [30]: еще на этапе зарождения третьего сектора экономики в 1960-е гг. в США, где небольшие, но влиятельные профессиональные команды, такие как Brookings Institution, Rand Corporation и другие аналитические центры, при скромном исследовательском бюджете внесли значительный вклад в разработку многомиллиардных экономических госпрограмм и создание специальных госструктур. Например, современное Агентство по охране окружающей среды США образовано в результате консолидации деятельности экологически ориентированных НКО в 1970 г. *В-третьих*, филантропы и НКО, запуская образовательные программы и воплощая научные инициативы в крупных исследовательских центрах и университетах, выступают просветителями в сфере «чистой» энергетики и трансляторами экологических ценностей. Например, эндаумент-фонд Стэнфордского университета реализовывал программы в области ископаемых видов топлива, но с 2014 по 2016 г. прекратил их финансирование и запустил новые проекты уже по возобновляемой энергетике.

В нашей стране деятельность филантропов и НКО рассматривается пока как сугубо социальное инвестирование в образовательные, здравоохранительные, ветеранские проекты [31; 32; 33]. Этим в Сибири занимаются представители тра-

диционной энергетики, управляющие мощными денежными потоками. Сибирь аккумулирует 20% всех расходов на благотворительность в России, и до 40% этих затрат финансируются углеводородными компаниями за счет прибыли (рис. 4). Ни один другой сектор экономики в мегарегионе не ведет столь масштабную филантропическую деятельность, как компании традиционной энергетики. Более того, и в стране, согласно рейтингу «Доноры России», главным корпоративным благотворителем признана СУЭК – ключевой собственник угольных разрезв и электростанций в Сибири [34].

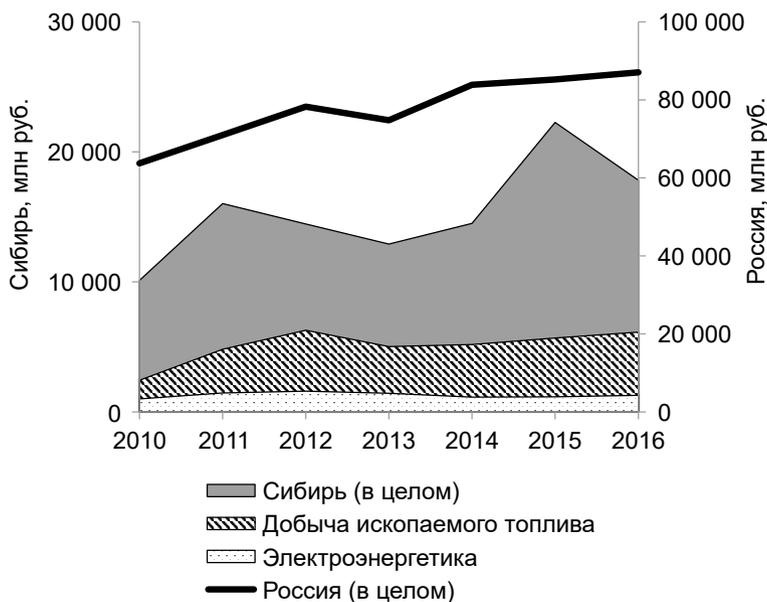


Рис. 4. Расходы на благотворительные цели за счет прибыли энергокомпаний в Сибири

Источник: расчеты автора на основе ЕМИСС, 2019.

Вместе с безусловными выгодами для общества благотворительность углеводородных компаний имеет и издержки. На это указывает исследование *А. Гириджарадаса*, который проанализи-

зировав инициативы «богатых и могущественных» филантропов, участвующих в эксклюзивных конференциях *Aspen Institute*. Декларируя благие намерения, «филантропы-капиталисты» маскируют крупные издержки для общества от своей деятельности, усиливая неравенство в обществе, так как *«когда помощь перемещается в частную сферу, безотносительно насколько эффективной эта мера является, контекст вспомоществования представляет неравные отношения: дающего и берущего, помогающего и нуждающегося, донора и реципиента»* [35]. Провозглашая себя защитниками граждан от некомфортной жизни, природы от деградации, животного мира от исчезновения, энергетики-филантропы продолжают извлекать значительные прибыли от углеводородного бизнеса и отдают на вспомоществование только незначительную часть своих доходов. Так, в Сибири филантропы от углеводородного бизнеса расходуют на благотворительные цели менее 1% совокупной прибыли отрасли, претендуя при этом на лояльное отношение населения к их деятельности.

Углеводородный бизнес в Сибири поддерживает также отраслевые общественные объединения для взаимодействия с госструктурами и проведения общественных слушаний, которые стали обязательной процедурой при реализации масштабных энергетических проектов, не лишенных, как правило, издержек, касающихся локальных сообществ [36]. Широкое вовлечение общественности посредством НКО теоретически обещает значимые выгоды в виде увеличения доверия между управленцами, экспертами и местным населением, минимизируя конфликты и элиминируя противоречия. Поэтому энергокомпании адаптировали новый инструмент управления – публичные слушания и встречи с общественностью, сделали их стандартной процедурой в целях получения доверия и одобрения населения, проживающего в районах, где реализуются энергетические проекты. Так, менеджеры «Газпрома» регулярно проводят встречи с представителями коренных народов Якутии и Республики Алтай для обсуждения газопровода «Сила Сибири». Мероприятия проводятся на площадках крупных форумов в формате круглых столов и на общественных слуша-

ниях в региональных заксобраниях [37]. В свою очередь различные НКО, профессиональные ассоциации и отраслевые объединения стали *«эксплуатировать эту прибыльную возможность, обеспечивая аналитической работой менеджеров энергокомпаний и экологических надзорных органов, нуждающихся в общественной экспертизе энергетических проектов»* [38].

Эффективность подобного формата управления с привлечением общественности хорошо демонстрирует история, связанная с СГК, при переходе в 2018 г. с каменного на бурый уголь одной из самых крупных в Сибири электростанций – новосибирской ТЭЦ-5 (1200 МВт). В целях открытости и прозрачности обсуждения этого перехода при мэрии города был организован и в течение полутора лет работал общественный совет из представителей государственных надзорных органов, местной власти, экспертного сообщества, экологических ассоциаций, НКО. Успешный переход станции на бурый уголь завершился 15 июня 2019 г. городским фестивалем «Мы согреваем», во время которого горожанам было предложено бесплатно посетить ТЭЦ-5. Однако такая открытость привела к курьезу: в Instagram появились впечатляющие фотографии-иллюстрации к посту «Мальдивское озеро», где речь шла о водоеме, голубой окрас которому придавали химические отходы ТЭЦ-5. На этот факт обратили внимание зарубежные СМИ, появилась публикация в The New York Times [39], и надзорные органы, ранее не видевшие никаких экологических издержек, вынуждены были начать проверку. Власти Новосибирской области отреагировали на международную известность и поставили задачу *«найти цивилизационный путь для посещения промышленной достопримечательности; возможно, стоит создать смотровую площадку...; ТЭЦ-5 имеет все перспективы стать объектом промышленного туризма, включающим не только золоотвал, но и котельный цех»* [40]. Но открытость СГК сменилась круглосуточной охраной территории электростанции. Этот кейс продемонстрировал, что без работы подлинно независимых аналитических центров формат публичных слушаний и встреч с общественностью превращается в декора-

214

тивный, формальный инструмент энергетической политики, а местному населению сложно оказывать влияние на энергетический выбор Сибири.

Возобновляемая энергетика в Сибири могла бы привлечь НКО, которые, будучи посредниками между государством, бизнесом и обществом, борются не только за дотации, но и за влияние в социуме посредством реализации значимых экологических и климатических инициатив. Согласно нашему анализу ежегодных отчетов НКО Сибири за 2017–2018 гг., доступных на сайте Минюста РФ, с энергетикой аффилированы 132 организации, но большинство из них занимаются углеводородной сферой: профсоюзами энергетиков, организацией досуга шахтеров и их детей, поддержкой ветеранов труда и пенсионеров отрасли (рис. 5).

Знаковые НКО в сфере ВИЭ расположены в Москве и Санкт-Петербурге, например такие, как *Российская ассоциация ветроиндустрии*, *«ЕВРОСОЛАР Россия»*, *Ассоциация солнечной энергетики России*. В Сибири адептами ВИЭ эпизодически выступают экологически ориентированные НКО [41]. Но вот в Иркутской области, лидере по числу зарегистрированных НКО в Сибири, нет ни одной организации, работающей в сфере ВИЭ. Множество экологических инициатив, в том числе международных, сконцентрированы только на теме «Озеро Байкал», которое для эко-НКО стало «озером раздора» из-за соперничества за дотации и доминирование [42].

Рассматривая деятельность НКО, аффилированных с международными партнерами, эксперты отмечают, что некоторые из них нацелены, прежде всего, на пиар-акции, повышение протестных настроений, критику экологической обстановки [43; 44]. Так, в наших социологических интервью респонденты отмечают, что *«эти НКО проявляют малую заинтересованность в систематических и реальных действиях, прежде всего, в поддержке инновационных проектов в сфере ВИЭ, создании продуктивного, нового, экологически чистого продукта в Сибири»*. Подобные «провалы» в деятельности НКО описаны в работе С. М. Бальбоа [45] как проявление «парадокса мас-

штаба», когда местные НКО успешны в решении единичных локальных проблем, но испытывают трудности в трансляции своих подходов для борьбы с глобальными проблемами, например с изменением климата при внедрении ВИЭ; в свою очередь, международные НКО, занятые глобальными инициативами в сфере экологии и климата, мало знакомы с местными особенностями, что затрудняет имплементацию их инициатив на региональном уровне.

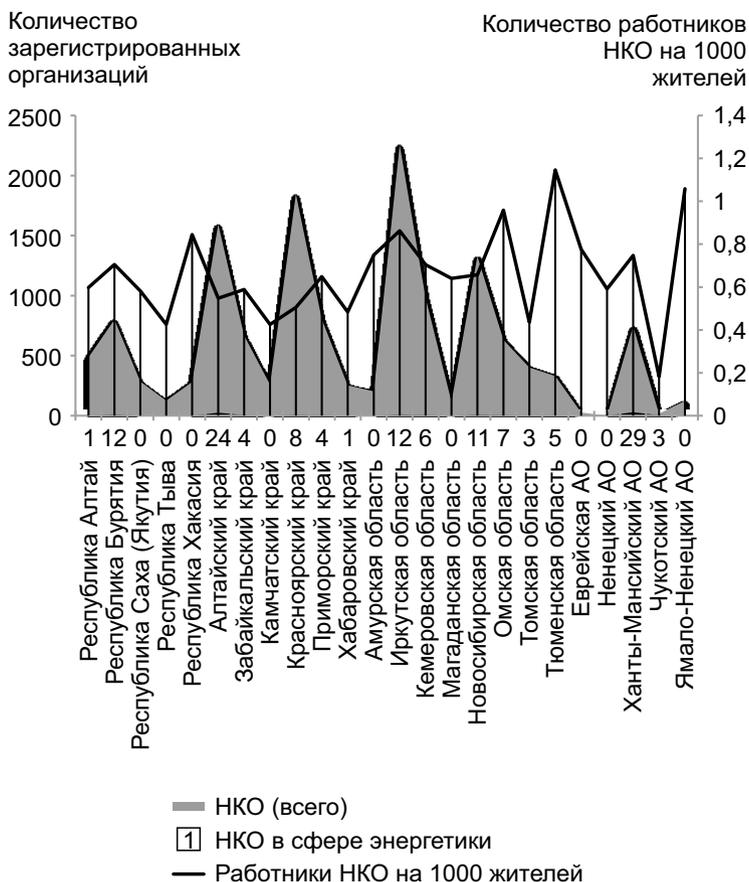


Рис. 5. Некоммерческий сектор экономики в Сибири

Источник: составлено автором на основе анализа отчетов и заявлений о продолжении деятельности НКО на сайте Минюста РФ за 2017–2018 гг.

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО И ГЕОПОЛИТИКА

Рациональное управление энергетическими процессами в Сибири, помимо внутривластных выгод, позволяет России реализовать свои геополитические интересы. Согласно принятой в мае 2019 г. новой Доктрине энергетической безопасности России, традиционная энергетика является важным фактором внешнеполитических отношений [46]. Уникальные запасы всех источников энергии в Сибири делают Россию гарантом мировой энергетической безопасности. Будучи чище угля, природный газ Сибири служит «мостом» для энергетического перехода от угля к «зеленой» энергетике в странах Европы и Азии, хотя, как показал энергетический кризис 2020 г., эти выгоды становится все сложнее получать в условиях изобилия энергоресурсов. Эксперт по геополитике *М. Л. О'Салливан* подчеркивает, что *«энергетика продолжит быть важным фактором в трансформации мирового порядка наряду с другими геополитическими событиями..., но изобилие, а не редкость станет характерной особенностью предстоящих десятилетий..., и смещение власти от производителя к потребителю будет сопровождать эти процессы»* [47].

Для удержания геополитических выгод приобретают значение гибкие формы взаимодействия партнеров в сфере управления энергетикой: международные исследовательские альянсы и профессиональные объединения. Учитывая наличие крупных научно-образовательных центров в Сибири, исследования в сфере энергетике, которые дают возможность получения выгод в результате взаимодействия на глобальных энергетических рынках, могут быть более привлекательны для международных коалиций и исследовательских консорциумов, нежели установление явного доминирования, часто ведущего к конфликтным ситуациям.

Непосредственная близость мегарегиона к Арктике требует проведения масштабных перспективных исследований. В этом направлении действует и ряд крупных компаний: так, «Роснефть» стремится привлечь ведущих ученых и специалистов в самом мегарегионе и за его пределами – например, в 2018 г. компания от-

крыла международный центр ИР в Катаре. «Газпром» также реализует инновационные программы международного уровня, одна из которых посвящена решению проблем эксплуатации газопровода «Сила Сибири» в экстремальных природно-климатических условиях. Участие в международных исследовательских коллаборациях позволяет не только развивать партнерские отношения, но и отстаивать свои приоритеты в научной политике, реализовывать коммерческие интересы в сфере интеллектуальной собственности и мировой торговли, и тем самым управлять энергетическими процессами.

При решении глобальных проблем деградации окружающей среды и изменения климата возобновляемая энергетика постепенно становится привлекательной для международных альянсов и коопераций на национальном и корпоративном уровнях [48]. Выгоды глобальных партнерств значимы по нескольким причинам. *Во-первых*, международная кооперация помогает преодолевать системные риски перехода к новой энергетической парадигме. Немногие правительства склонны к риску в энергетической политике, особенно в отношении использования новых источников энергии. Но в рамках международного сотрудничества успешные организационные и управленческие модели, разработанные странами-лидерами в области ВИЭ, воспринимаются остальными как свидетельство того, что внедрение солнечных и ветровых установок может принести значимые материальные и социальные выгоды. *Во-вторых*, страны, вступающие на этот путь, могут использовать наилучшие практики и подходы, уже апробированные в странах-адептах ВИЭ, как это сделали Индия и Китай. Однако кооперация важна не только для развивающихся, но и для развитых стран. Так, становление ветроиндустрии в Дании в 1980-е гг. во многом было обусловлено спросом, возникшим в Калифорнии на качественные датские ветроустановки. Развитие Китая фотовольтаики в начале 2000-х гг. помогло Германии увеличить за 2008–2010 гг. объем инсталляции солнечных панелей в 4 раза. *В-третьих*, международные партнерства способствуют распространению подражательства и копирования практик среди адептов ВИЭ в результате «изоморфизма» организационных структур и управленческих паттернов. Таким образом,

благодаря международным партнерствам, успех ВИЭ в одних странах увеличивает их экономическую конкурентоспособность в других региональных контекстах.

Нами были проанализированы шесть глобальных партнерств, считающих направление ВИЭ перспективным для объединения усилий. Как видно из таблицы 3, многие международные альянсы сосредоточены на проведении исследований и разработок, не только позволяющих решать глобальные проблемы экологии и изменения климата, но и дающих возможность отстаивать свои приоритеты в научной политике, реализовывать коммерческие интересы в сфере интеллектуальной собственности и мировой торговли.

Наблюдается бум сетевых форм поддержки ВИЭ, которые, в отличие от иерархического жестко структурированного углеродородного бизнеса, способствуют большей открытости и прозрачности энергетической политики. Несмотря на глобальный характер, международные альянсы направлены, прежде всего, на укрепление национальных приоритетов инвестирования в возобновляемую энергетику, которая важна для развития отечественной промышленности и имеет высокий экспортный потенциал. Открытость этих партнерств и рост числа участников (табл. 3) гарантируют, что экономическая рента, извлекаемая сейчас из доминирования конкретных игроков на рынке ВИЭ, будет в перспективе рассредоточена между многими странами и компаниями.

Сетевые методы управления ВИЭ укрепляются, благодаря созданию глобальных союзов по противодействию «грязным» технологиям в традиционной энергетике. Например, *The Powering Past Coal Alliance*, основанный в 2015 г. Великобританией и Канадой, сейчас объединяет 28 стран, 19 правительственных структур и 28 мультинациональных компаний, выступающих за запрет нового строительства и продления сроков службы угольных электростанций без применения технологии улавливания и хранения CO₂ в пределах юрисдикции альянса.

Сибирь обладает важными для всего мирового сообщества природными активами: огромной сибирской тайгой, впечатляющими запасами пресной воды, обширными территориями; плюс

к этому мегарегион граничит с Арктикой, где происходит самое быстрое в мире потепление [49]. Все это говорит о важной роли Сибири и необходимости ее участия в глобальных партнерствах по защите окружающей среды и борьбе (посредством развития ВИЭ) с изменением климата. Но региональные власти и компании пока лишь точечно участвуют в международных кооперациях в сфере экологии и климата, в знаковые глобальные партнерства вовлечены только Омск, Сургут, Улан-Удэ и Якутск (табл. 3). Неопределенность в понимании пользы глобальных партнерств для Сибири отчасти может быть связана с неоднозначной ролью ВИЭ в вопросе обеспечения геополитических интересов России.

С одной стороны, согласно Доктрине энергетической безопасности, возобновляемая энергетика отнесена к *«внешнеэкономическим вызовам энергетической безопасности»*, так как увеличение ее доли в мировой энергетике может снизить спрос на углеводороды, экспорт которых важен для России. На эти издержки указывает также международная организация IRENA, выпустившая в 2019 г. первый доклад о геополитике, которая до последнего времени связывалась с сугубо углеводородной тематикой [50]. Согласно этому докладу, при переходе к возобновляемой энергетике серьезные геополитические риски могут возникнуть у России как у одной из немногих стран, в *«наибольшей степени подверженной сокращению доходов от углеводородного бизнеса ... снижение экспортных доходов неблагоприятно скажется на перспективах экономического роста и национальном бюджете»*, что может привести к существенным деструктивным последствиям – дестабилизации социально-политической ситуации в обществе. С другой стороны, использование технологий ВИЭ рассматривается как возможность развития *«отечественного научно-технологического потенциала»* и обеспечения технологической независимости энергетики России.

Амбивалентность позиции девальвирует региональные инициативы по созданию международных альянсов в сфере экологии и климата по поддержке ВИЭ.

Таблица 3

Глобальные партнерства по возобновляемой энергетике

| Партнерство | Участники партнерства | Направления деятельности | Участие России |
|-------------------------------|--|---|----------------|
| Breakthrough Energy Coalition | Индивидуальные частные инвесторы, мультинациональные корпорации и финансовые институты Великобритании, Германии, Индии, Китая, Нигерии, Саудовской Аравии, США, Франции, ЮАР, Японии | Финансирование 12 прорывных технологий в электроэнергетике: 1) ультрадешевые ветровые установки; 2) ультрадешевые солнечные панели; 3) ультрадешевые накопители электроэнергии и др. | Не участвует |
| Mission Innovation | Правительственные структуры Австралии, Австрии, Бразилии, Великобритании, Германии, Дании, Индии, Индонезии, Италии, Канады, Китая, Мексики, Нидерландов, Норвегии, ОАЭ, | | Не участвует |

| | | | |
|---------------------------------|--|--|---|
| <p>Mission Innovation</p> | <p>Саудовской Аравии, США, Финляндии, Франции, Чили, Швеции, Южной Кореи, Японии</p> | <p>Финансирование удвоения расходов на исследования и разработку в области «чистой» энергетики ежегодно по 15 млрд долл. в течение пяти лет (2016–2021 гг.)</p> | <p>Не участвует</p> |
| <p>Clean Energy Ministerial</p> | <p>Австралия, Бразилия, Великобритания, Дания, Германия, Индия, Индонезия, Испания, Италия, Канада, Китай, Мексика, Нидерланды, Норвегия, ОАЭ, Россия,</p> | <p>Платформа для межправительственных встреч по продвижению политики и программ в сфере перспективных «чистых» технологий в энергетике, прежде всего в области ВИЭ</p> | <p>Минэнерго РФ курирует направление «Энергоэффективность и устойчивое развитие городов». Российские города, поддержавшие инициативу: Анапа, Астрахань, Владимир,</p> |

| | | | |
|--|--|--|--|
| <p>Clean Energy Ministerial</p> | <p>Саудовская Аравия, США, Финляндия, Франция, Чили, Швеция, ЮАР, Южная Корея, Япония</p> | | <p>Воронеж, Казань, Калуга, Кирсанов, Липецк, Магнитогорск, Москва, Набережные Челны, Нижний Тагил, Омск, Оренбург, Самара, Саратов, Sterlitaмак, Суздаль, Surgut, Тамбов, Улан-Удэ, Уфа, Якутск</p> |
| <p>C40 Cities Climate Leadership Group</p> | <p>96 городов Африки (10), Центральной Азии (12), Юго-Восточной Азии и Океании (12), Европы (18), Латинской Америки (12), Северной Америки (15), Юго-Западной Азии (8) и 9 городов со статусом «временно неактивных» (9)</p> | <p>Создана в 2005 г. для реализации городских инициатив по 8 направлениям, в том числе прямая поддержка проектов в сфере ВИЭ</p> | <p>Россия представлена Москвой, которая в 2010 г. была избрана в состав C40-группы, но в настоящий момент статус участника «временно неактивный»</p> |
| <p>Global Governat of Mayors</p> | <p>9174* города Африки (141), Восточной Азии (29), Европы (8259), Латинской Америки (219), Среднего Востока (46), Северной Америки (182), Океании (35),</p> | <p>Международный альянс городов и муниципальных властей по поддержке деятельности в борьбе с изменением климата и про-</p> | <p>Россия представлена Москвой и Ростовом-на-Дону, входящими в региональный</p> |

| | | | |
|----------------------|--|---|-----------------------------|
| | Южной Азии (16), Юго-Восточной Азии (63) | движению низкокомиссионной надежной энергетики в сфере ВИЭ | конвент европейских городов |
| Under 2 Coalition | 220 правительственных структур (федеральный и муниципальный уровни) в 43 странах | Финансирование проектов (в 2018 г. 197 тыс. долл.) для исследовательских и образовательных программ в сфере ВИЭ (50% средств) | Не участвует |

*Примечание: * по состоянию на 1 сентября 2019 г.*

Источник: составлено автором.

ПОДВОДЯ БАЛАНС ВЫГОД И ИЗДЕРЖЕК

Управляемость процессов использования традиционных и возобновляемых источников энергии проявляется в способности этих процессов адекватно реагировать на действия со стороны государства, бизнеса и НКО. Два типа энергии в Сибири демонстрируют разные, во многом отличные друг от друга, принципы организации и модели управления.

Консолидация усилий и централизация деятельности добывающих и генерирующих энергокомпаний позволяет слаженно, оперативно отвечать на внутренние и внешние вызовы, что, бесспорно, ценится в условиях высокой неопределенности мировой конъюнктуры. Угледородные активы генерируют значительные доходы для федерального и региональных бюджетов Сибири. Высокая интеграция энергобизнеса позволяет осуществлять внутрикорпоративные перетоки топлива, денег и человеческого капитала с меньшими трансакционными издержками, что гарантирует достойный уровень прибыльности. Помимо получения внутривнутриполитических выгод, наша страна реализует геополитические и экспортные цели, благодаря наращиванию в Сибири добычи углеводородов. Однако эти значимые выгоды сопровождаются серьезными издержками: кор-

рупционными рисками, политикой «вращающихся дверей» и «приятельским капитализмом», снижающими общественные выгоды использования углеводородов.

Возобновляемая энергетика как новый объект управления в энергетике делает акцент на децентрализации, диверсификации и сетевых формах организации, но в Сибири потенциал новых форм управления пока мало востребован. В мегарегионе экономический потенциал диверсификации ограничен отсутствием промышленного производства энергооборудования, а децентрализация и концентрация на выработке электроэнергии для «медвежьих углов» не позволяют получить «экономию масштаба», что важно для долгосрочного роста новой отрасли.

Новаторская направленность и «зеленая» ориентация привлекают лидеров-филантропов и эко-НКО, которые начинают играть все более значимую роль в сфере распространения ВИЭ в мире. Этот заметный в западных странах тренд неоднозначно проявляется в Сибири. Главными благотворителями в Сибири, по нашим данным, оказались традиционные энергокомпании, которые выступают в роли филантропов-капиталистов и пытаются маскировать социальным инвестированием значительные издержки для общества от главного источника своих доходов – углеводородного бизнеса. Местные НКО, аффилированные с энергетикой, также проявляют интерес преимущественно к социальным аспектам углеводородной тематики, а «провалы» эко-НКО связаны с их излишней локализованностью, сконцентрированностью на решении местных проблем и отсутствии у них интереса к глобальной проблематике и проектам в сфере ВИЭ.

Необходимо отметить, что опыта, полученного за трехлетний период реализации нескольких пилотных проектов ВИЭ, недостаточно для оценки управленческих и организационных подходов, требующих большего масштаба и времени, и для полноценного применения на примере Сибири методологии выгод и издержек. Сопоставление фрагментарных и точечных кейсов ВИЭ-генерации с устоявшейся практикой традиционной энергетики позволяет выявить лишь предпосылки

формирования выгод и издержек, которые могут проявиться при наращивании доли ВИЭ в энергетике Сибири.

В целом новые энергетические тренды не элиминируют получение выгод от углеводородной энергетики в Сибири, но такая моностратегия девальвирует долгосрочные выгоды, которые связаны, прежде всего, с технологическим *лидерством* в сфере перспективных источников энергии, *проактивной позицией* в повестке глобального изменения климата и *привлекательностью* страны и региона для сотрудничества и коопераций в энергетической сфере. В этом отношении проекты по внедрению ВИЭ становятся особо востребованы в Сибири, но экономический потенциал новых форм управления ВИЭ пока недооценен, а выгоды неоднозначны – они блокируются консервативными практиками ведения энергохозяйства. Так что пока рано подводить баланс выгод и издержек, но уже очевидно, что по параметру управляемости приобретают важность такие свойства энергосистемы, как *динамизм, открытость, гибкость*, для управления достаточно *инертной, закрытой и иерархичной* электроэнергетикой.

АЛЬТЕРНАТИВЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ В СИБИРИ

Энергетический выбор Сибири – обширное поле для исследователей, и в одной монографии сложно дать исчерпывающий сравнительный анализ использования традиционных и возобновляемых источников энергии в столь масштабном мегарегионе. В начале XXI в. Россия, как энергетическая держава, столкнулась с двумя глобальными вызовами: новой индустриальной революцией и цифровой экономикой, создающими как дополнительные возможности, так и новые риски в электроэнергетике, которая кардинальным образом изменяет энергетический ландшафт и мировую экономику. В силу фундаментальности этих вызовов сохраняется неопределенность энергетического развития в важном для России мегарегионе – Сибири, обладающей значительными запасами углеводородов и потенциалом возобновляемых источников энергии. Повестка изменения климата актуализирует для Сибири поиск баланса между ископаемым топливом как основной причиной глобального потепления и возобновляемой энергетикой как фактором стабилизации климата и драйвером новой индустриализации и цифровизации. В целях выработки эффективного ответа России на глобальные вызовы необходим междисциплинарный сравнительный анализ альтернатив энергетического выбора для Сибири.

Обращаясь к комплексу этих проблем, автор монографии ставил перед собой амбициозную, но все же реализуемую задачу – на основе количественных и качественных оценок определить текущие сравнительные преимущества главных традиционных источников (угольной и газовой генерации), и перспективных возобновляемых источников (солнечной и ветровой энергии) в мегарегионе Сибирь. Основные усилия были направлены на разработку нового аналитического конструкта по пяти параметрам сравнения: *достаточности, доступности, экологичности, инновационности и управляемости*, и на формирование оригинальной трехуровневой методологии анализа выгод и издержек, что позволит углубить понимание и уточнить оценки противоречивой динамики традиционной и возобновляемой энергетики в Сибири. Автора интересовало, прежде всего, соотношение простых метрических, монетизированных и качественных оценок эффектов использования того или иного источника энергии. Анализ выгод и издержек в формате таких оценок, а также применение монетизированного подхода к установлению полноценной стоимости производства электроэнергии в Сибири позволили сделать **пять важных выводов**.

1. Конкуренция между превалирующими сейчас углеводородными и быстро набирающими силу возобновляемыми источниками энергии нарастает, и при энергетическом выборе принимаются во внимание не только различия финансовых и технических показателей двух типов энергии (LCOE, КИУМ) и критерии финансовой и экономической эффективности, но и нарастающие экологические и климатические угрозы. В условиях диверсификации и инновационного развития экономики особое значение приобретают неметрические характеристики, которым сложно дать монетизированную оценку, но их требуется учитывать при осуществлении социально взвешенного энергетического выбора. В связи с этим в качестве критерия перспективности источника энергии предлагается использовать уровень достижения общего блага. Представление об общем

благе как умозрительной, достойной только философского осмысления, теории трансформируется в действенный принцип экономического анализа альтернатив развития энергетики.

2. 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. Разработанная нами методология позволяет высказать предположение о необходимости дальнейшего развития анализа выгод и издержек с применением ценностного подхода, что позволит в результате синтеза монетарных, простых метрических и качественных оценок сформировать агрегированное оценочное суждение в отношении энергетической дилеммы.

Можно выделить ряд методологических особенностей. Как показывают результаты апробации этой методологии по отношению к изучению энергетической ситуации в Сибири, *во-первых*, выгоды и издержки использования традиционной и возобновляемой энергии в значительной степени *зависят от социоэкономического контекста*, при этом энергетические процессы весьма динамичны и текущая оценка быстро *меняется внутри самого контекста*. Так, в Сибири исторически сложившиеся и считавшиеся константными выгоды в виде изобилия ископаемого топлива и развитой инфраструктуры сейчас переходят в свою противоположность – в издержки, связанные с истощением легкодоступного сырья и перепрофилированием транспортных коридоров с поставок для внутренних нужд на поставки топлива на экспорт.

Во-вторых, выгоды и издержки использования различных источников энергии имеют количественные и качественные измерения, которые *сложно соизмерить*, и их оценки часто *поляризованы* как внутри одного параметра, так и между различными параметрами. Например, в рамках одного параметра *достаточности* назревает ресурсный конфликт между исчерпаемым органическим топливом и истощаемыми природными ресурсами (пресная вода, плодородие почвы); оба ресурса востребованы, но увеличение добычи первого ведет к деградации второго. Другой пример, когда два параметра – *экологичность* и *доступность* – вступают в конфликт между собой: экстремальная дешевизна делает угольную генерацию в Сибири привлекательной, но сопровождается высокими экологическими издержками.

В-третьих, особое значение приобретают *ценностные установки и стратегические цели экономических субъектов в энергетике*. В Сибири наблюдается скептическое отношение со стороны некоторых представителей госуправления, энергокомпаний и экспертного сообщества к очевидной взаимосвязи энергетики и климата, что снижает вероятность ожидаемых выгод от возобновляемой энергетики. Заметная пассивность целеполагания энергокомпаний в инновационной сфере превращает энергетику из сектора с высокими потенциальными выгодами в отрасль с инкрементальными улучшениями и высокими издержками из-за монополизации и технологической блокировки перспективных технологий.

3. Методология анализа применена в отношении энергетики Сибири: по каждому из пяти параметров систематизированы текущие выгоды и издержки использования главных источников традиционной электроэнергетики и перспективных возобновляемых источников. Это позволило выработать общую сравнительную оценку двух типов энергии в контексте Сибири.

По параметру достаточности. Текущие выгоды ископаемого топлива (изобилие запасов, развитая доставка, высокая

занятость и зарплата) начинают сокращаться из-за роста себестоимости добычи, невозвратных издержек многомиллиардной инфраструктуры, роста неравенства зарплат в трудовых коллективах. Например, по нашим данным, 10% самых высокооплачиваемых сотрудников получают в 6–35 раз больше, чем 10% самых низкооплачиваемых работников традиционной энергетики Сибири (наибольший разрыв наблюдается на Сахалине). Другая проблема – рост стоимости незаменимых ресурсов (пресной воды и плодородной земли), которые агрессивно эксплуатируются топливной энергетикой Сибири. При этом в мегарегионе достаточно «бесплатной» и вездесущей энергии солнца и ветра, но ее использование сопровождается издержками перепроизводства электроэнергии, к прерывистому отпуску которой энергорынок Сибири пока не готов.

По параметру доступности. Угольные и газовые станции интегрированы в существующие энергосети Сибири и извлекают экономию при масштабном производстве дешевой электроэнергии, но «сетевые» выгоды существенно ограничены высокими потерями в сетях и износом энергооборудования. Так, угольная генерация имеет самые низкие удельные затраты, что позволяет компенсировать технологическую отсталость и оставаться самым доступным источником энергии для местного населения, 17% которого имеют ежемесячный доход в 9–11 тыс. руб. К сожалению, доступность электроэнергии для населения в Сибири в два раза меньше, чем, например, в Канаде со схожими природно-климатическими условиями и сопоставимыми ценами на электроэнергию (исходя из паритета покупательной способности). Потребляя 60% электроэнергии в мегарегионе, промышленные предприятия выигрывают от использования традиционной энергии, хотя и вынуждены оплачивать разнообразные внерыночные надбавки, достигающие 25% в цене электроэнергии.

Электросетевая доступность ВИЭ в Сибири реализуется в двух моделях: децентрализации и развитии высоковольтных магистральных линий электропередач. Децентрализация важна

для энергоснабжения отдаленных регионов Сибири, но выработка электроэнергии для «медвежьих углов» не дает возможности получить «эффект масштаба», что важно для долгосрочного развития новой отрасли. Проектирование глобальных энергомоств могло бы устранить перебои в поставках переменчивой по своей природе возобновляемой энергии, но при этом возникают новые риски, связанные с трудностями трансграничного взаимодействия и межрегиональными диспропорциями. Доступность ВИЭ-генерации по цене также достигается не вполне рыночным инструментом – применением ДПМ, которые не только покрывают затраты на строительство СЭС и ВЭС, но и обеспечивают инвесторам гарантированную доходность. Промышленные предприятия также получают господдержку при 100% локализации производства ветряков и солнечных модулей. Но, несмотря на субсидии, солнечная генерация остается самой дорогой в Сибири: 34–36 руб./кВт ч на оптовом энергорынке.

Дополнительно был проведен *монетизированный анализ* выгод и издержек *трех типов* электрогенерации в Сибири, который показал, что субсидии и теневые цены оказывают большее влияние на формирование полноценной стоимости электроэнергии, чем негативные экстерналии. Уголь в Сибири 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 убыткам и, по нашим расчетам, позволяет держаться близко к безубыточности. Если удастся кардинально снизить капзатраты, то при отсутствии

топливной составляющей СЭС смогут конкурировать с газовой генерацией, которая сейчас с избытком покрывает углеродный налог и разницу между внутренними и мировыми ценами и оказывается самой выгодной альтернативой выработки электроэнергии в Сибири.

По параметру экологичности. Кардинальные выгоды возобновляемой энергии по сравнению с угольной и газовой генерацией недооценены из-за слабых экологических регуляций в мегарегионе и предвзятого отношения к проблемам изменения климата. В то же время природные издержки в виде гигантских таежных пожаров и катастрофических наводнений заставляют перейти от монетизированных расчетов, которые за счет сложности могут быть манипулируемы и ненадежны, к объективным качественным данным и ценностным суждениям о сохранении сибирского здоровья, таежных бастионов и об адаптации к изменениям климата в Сибири, которая неразрывно связана с Арктикой, где происходит самое быстрое в мире потепление.

По параметру инновационности. В условиях низких расходов на исследования и разработки в Сибири (0,55% ВВП мегарегиона) традиционная энергетика, создавая больше других отраслей инновационной продукции и расходуя больше всех на повышение квалификации рабочей силы в мегарегионе, представляется инновационным лидером. Заинтересованность научных и образовательных центров, связанных с деятельностью добывающих и генерирующих компаний, позволяет осуществлять «поддерживающие инновации» для модернизации устаревших энергообъектов. Однако инновационная активность сибирских энергокомпаний значительно уступает мировым лидерам, инновации носят инкрементальный характер, а перспективные исследования практически не ведутся. В результате создаются издержки для долгосрочного развития отрасли. ВИЭ в Сибири с их скромными расходами на исследования и разработку могут превратить инсталляцию солнечных электростанций в обычный бизнес без инновационной состав-

ляющей. В условиях малой емкости внутреннего рынка и риска монополизации отрасли перспективным видится наращивание экспортного потенциала отечественных установок ВИЭ-генерации. Этот потенциал ограничен в ветроиндустрии из-за проблем реэкспорта и стратегии технонационализма зарубежных партнеров. В этой ситуации стопроцентная отечественная солнечная энергетика имеет больше шансов на успех в экспорте технологий и наращивании внешнеэкономических выгод.

По параметру управляемости. Выгоды традиционной энергетики весомы; надежность, высокая предсказуемость, слаженность работы энергообъектов дают возможность получать существенные выгоды: для государства – налоги, внутриполитическую стабильность и геополитическое влияние; для энергокомпаний – высокие прибыли; для НКО – взносы и гранты; для населения – приемлемый, хотя весьма средний по критериям высокоразвитых стран, уровень энергопотребления (4828 кВт ч на душу населения). Однако эти значимые выгоды сопровождаются и серьезными издержками: коррупционными рисками, политикой «вращающихся дверей» и «приятельским капитализмом», которые снижают общественные выгоды использования углеводородов. Возобновляемая энергетика как новый объект управления в энергетике делает акцент на децентрализации, диверсификации и сетевых формах организации, но в Сибири потенциал новых форм управления пока мало востребован, выгоды неоднозначны и блокируются консервативными практиками ведения энергохозяйства.

4. Представлены *три альтернативных оценочных вывода*, касающихся перспектив использования традиционных и возобновляемых источников энергии в Сибири. Итоговое оценочное суждение базируется на представлениях о конечной цели или предназначении использования источников энергии. Для мегарегиона предлагаются три альтернативные сравнительные оценки значимости использования энергетических ресурсов: реализация интересов государства, получение прибыли для энергобизнеса, внесение вклада в создание общего блага.

Первая альтернатива. Если в качестве критерия сравнительной оценки энергетики Сибири выступает значимость, прежде всего, интересов государства, то чистые выгоды использования традиционной энергетики, вероятно, сохранятся, но удержать их на прежнем уровне будет сложно. Огромные запасы требуют все больших инвестиций в их разработку и соответствующих налоговых преференций. По оценкам Минэнерго РФ, которые были сделаны до пандемии и разрыва сделки с ОПЕК в феврале 2020 г., более 70% месторождений в России придется предоставить налоговые льготы после 2030 г.; в результате соответствующие поступления в консолидированный госбюджет могут наполовину снизиться по сравнению с базовым 2018 годом [1].

Социальные выгоды в создании рабочих мест и трудоустройстве выпускников вузов все сложнее реализовать из-за автоматизации и роботизации энергетических процессов, так как, согласно прогнозу МОТ, энергетический сектор к 2030 г. будет иметь наименьший среди всех секторов мировой экономики чистый прирост рабочей силы – он будет близок нулю [2]. Внешние выгоды также имеют тенденцию к снижению. Экспортный потенциал, по прогнозам российских ученых, сохранится надолго [3], но реализовать его, вероятно, будет все сложнее, учитывая рост конкуренции на сырьевых рынках и возрастающую зависимость от покупателей. Одновременно в Сибири будут нарастать экологические и климатические издержки: фискальная нагрузка на региональный и федеральный бюджеты увеличится из-за необходимости тушить пожары, восстанавливать территории после крупных наводнений, устранять последствия пандемии COVID-19 [4].

Возобновляемая энергетика Сибири пока не может выступать полноценной заменой традиционным энергоносителям и приносить существенные выгоды государству: концентрация скромных ИП на устаревающих кремниевых технологиях, дороговизна выработки электроэнергии, использование старо-

модных управленческих практик не позволяют надеяться на массовое внедрение солнечных и ветровых станций в Сибири.

Вторая альтернатива. Если в качестве критерия сравнительной оценки сибирской энергетики выступает польза для бизнеса, то есть энергокомпаний, крупной промышленности, банков, то с этим неплохо могут справиться как традиционная, так и возобновляемая энергетика мегарегиона. Оба источника энергии получают значительные субсидии, и с учетом долгосрочного характера соглашений в энергетике вряд ли масштаб поддержки сократится, поэтому энергокомпании продолжают удерживать высокую рентабельность своего бизнеса. Несмотря на разного рода кризисы, лидеры крупных нефтегазовых и угольных компаний выражают уверенность в перспективности своей бизнес-модели, так как круглосуточная непрерывная поставка топлива для электростанций намного прибыльнее, нежели единовременная, хоть и высокомаржинальная, деятельность по инсталляции солнечных и ветровых установок. Дополнительно для традиционной генерации «мягкое» законодательство в сфере экологии и изменения климата позволяет избежать существенных затрат и обеспечить дешевой электроэнергией крупные энергоемкие предприятия, а расходы на ИР, хотя и скромны по мировым меркам, но достаточны для поддержания технологического обновления отрасли; к тому же заделы отечественной инженерной школы помогают продлевать срок службы устаревающего оборудования. Возобновляемая энергетика при индустриальной поддержке зарубежных компаний, вероятно, будет способна стопроцентно локализовать производство компонент солнечного и ветрового оборудования и хотя бы обозначить присутствие (но не экспансию) «зеленой» энергетики в Сибири посредством проникновения в «медвежьи углы».

Третья альтернатива. Если в качестве критерия сравнительной оценки энергетики Сибири выступает достижение общего блага, то ни один источник энергии не вносит существенный вклад в реализацию этой цели, так как издержки

превосходят выгоды. Традиционная энергетика дает существенные выгоды населению мегарегиона: самый дешевый и надежный источник электроэнергии и тепла, работу и приличный по региональным меркам заработок. Но за привязанность к ископаемому топливу населению мегарегиона приходится платить большие издержки в виде потери здоровья, неблагоприятной экологической и климатической среды обитания, которая разрушается под воздействием колоссальных объемов добычи сырья, идущего преимущественно на экспорт.

Возобновляемая энергетика не может пока обеспечить такой достаточности и доступности, но она способна предложить прогрессивные выгоды для будущих поколений: возможность генерации новых знаний, создание передовых промышленных производств и формирование новой «чистой» среды обитания. Но в Сибири предпосылки этих выгод пока не сформированы. Технологическая блокировка некремниевых технологий не внушает надежду на скорейшее внедрение прорывных разработок, скромные амбиции в один гигаватт мощности не дают развернуть масштабное передовое производство, а пассивность сетевых форм управления и некоммерческих организаций не позволяет трансформировать сложившуюся десятилетиями систему принятия решений в энергетической сфере.

5. Пожалуй, наиболее фундаментальный вывод состоит в том, что различия между традиционными и возобновляемыми источниками энергии нарастают, вызывая противоречивые оценки и создавая предпосылки для возможных конфликтных ситуаций не только в объективной реальности, но и в экспертном сообществе. В условиях неопределенности перспективы ни одного из источников энергии не могут быть точно оценены в качестве безусловно выигрышной для общества альтернативы. Методология анализа выгод и издержек демонстрирует коллекцию действенных методов для проведения взвешенных оценок перспектив разных источников энергии в целях поиска компромисса между субъектами в энергетической сфере.

Сибирь как мегарегион России представляет собой важный объект для энергетических исследований, будучи соткан из природных, энергетических, социальных и экономических противоречий, которые ярко демонстрируют достоинства и пороки сложившейся за десятилетия традиционной энергосистемы и перспективы зарождающейся новой энергетической парадигмы. Эта контрастность Сибири дает уникальный шанс сочетать, казалось бы, противоположные вещи, как, например, традиционная и возобновляемая энергия, в целях достижения общего блага и сохранения *«действительности Сибири как невообразимого сочетания красоты и пафоса»* [5].

ПРИЛОЖЕНИЕ А

МОНЕТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИБИРИ

В качестве апробации количественного анализа выгод и издержек предлагается монетизированная оценка трех альтернатив выработки электроэнергии в социоэкономическом контексте Сибири как крупного российского региона, обладающего значительными запасами углеводородов и высоким потенциалом ВИЭ.

Базовые технико-экономические параметры работы трех типов электростанций представлены в табл. 1. Основные эмпирические данные по угольной и газовой электростанциям получены в рамках выполнения научно-исследовательской работы совместно с проектной компанией ООО «КЭР-Инжиниринг». По возобновляемой энергетике построена финансовая модель СЭС на 10 МВт, прототипом которой выступает Майминская СЭС (Горно-Алтайск), данные по которой воссозданы в результате социологических интервью со специалистами группы компании «Хевел».

Финансовые модели построены по текущим ценам (с учетом прогноза инфляции Минэкономразвития) и с использованием стандартной техники проектного анализа трех действующих в Сибири электростанций: угольной ТЭС, газовой ТЭС и СЭС.

Таблица 1

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 | 75 000 | 68 000 | 110 000 |
| Себестоимость электроэнергии, руб./кВт ч | 1,13 | 1,2 | 0,95 |
| Количество работников, чел. | 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, собственные средства | ДПМ, кредит, собственные средства |

Источник: расчеты автора.

Прогнозные значения цен на электрическую энергию и мощность заданы в модели в соответствии с информацией Ассоциации «НП Совета рынка»¹ для субъектов РФ, в которых расположены действующие станции. На основе финансовой модели были рассчитаны чистые выгоды по формуле (1).

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

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

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

Монетизированный анализ выгод и издержек базируется на построении финансовой модели конкретного инвестиционного проекта на основе общепринятого разделения денежных потоков, полученных от инвестиционной, операционной и финансовой деятельности.

Традиционно разделяют *два этапа* монетизированного анализа выгод и издержек инвестиционного проекта. На *первом этапе* определяется финансовая (коммерческая) эффективность проекта в целом (далее – NPV^F проекта) на основе инвестиционных и операционных денежных потоков, а на *втором этапе* – экономическая (общественная) эффективность проекта (далее – NPV^E проекта) с учетом внешних эффектов (например, вредных выбросов и др.) и разнообразных внерыночных факторов (например, теневых цен и др.). *Финансовая эффективность* показывает возможность проекта генерировать чистые выгоды (выгода за минусом издержек) в конкретном налоговом режиме

¹ Прогнозные значения актуальны по состоянию на 01.11.2019.

и наблюдаемых рыночных условиях. Для ее расчета используются современные теории инвестиционного анализа [1; 2]. *Экономическая эффективность* демонстрирует возможности проекта обеспечить эффективную аллокацию ограниченных ресурсов, имеющихся у общества, то есть элиминирует налоговые искажения, учитывает опосредованное воздействие на окружающую среду и другие внерыночные эффекты (факторы, не входящие в рыночную стоимость элементов инвестиционного, операционного и финансового потоков). Именно второй этап является квинтэссенцией методологии анализа выгод и издержек, где полноценно раскрывается ее инструментарий [3; 4].

Хорошо разработанный двухэтапный подход мало информативен для анализа перераспределительных эффектов между участниками, число и степень неоднородности которых растут в современных энергетических проектах. Поэтому на каждом из двух этапов целесообразно проводить *оценку эффективности участия в проекте* для различных участников энергетических процессов. Данная оценка и соответствующее построение денежных потоков для каждого участника ценны тем, что возможно проследить взаимосвязь денежных потоков по референтным группам. Иными словами, исследовать, как происходит распределение чистых выгод энергетического проекта между отдельными его участниками.

Центральный момент данного подэтапа – определение ставки дисконтирования (r) для разных участников. Партнеры по-разному оценивают возможность использовать денежную единицу сейчас или потом. Поэтому одни и те же в абсолютном денежном эквиваленте выгоды и издержки будут иметь разную ценность для различных участников. В экономической литературе хорошо представлены методы определения ставки дисконтирования для частных участников (например, хорошо известная в финансовом менеджменте модель CAPM и др.) и для государства (так называемая социальная ставка дисконтирования (social discount rate, SDR). Общее правило гласит, что чем больше участник склонен к текущему, нежели будущему, потреблению, тем с большим «дисконтом» он готов «обменять» будущие

поступления денежных средств на текущие, следовательно, тем выше у него ставка дисконтирования, при которой происходит обесценивание ожидаемых выгод и издержек по проекту. Как правило, частные партнеры признаются более «невоздержанными» в текущем потреблении, чем государство, которое «играет в долгую», поэтому ставка дисконтирования для частного сектора выше, чем социальная ставка дисконтирования. Несмотря на простоту логики этих рассуждений, отсутствует унифицированная методика, общепринятая как среди теоретиков финансов, в парадигме которых возник концепт и развивается техника расчета ставки дисконтирования, так и среди методологов анализа выгод и издержек, которые активно работают со ставкой дисконтирования, и даже небольшое ее изменение может существенно исказить оценки долгосрочных эффектов. Однако эта интересная проблема требует отдельного исследования и детализированного обсуждения, возможно, в следующих наших работах; только отметим, что в данном исследовании рассматривается неизменная во времени безрисковая ставка дисконтирования, одинаковая для всех участников.

На первом этапе оценка эффективности для основных участников энергетических процессов (частные инвесторы и государственные структуры) вычисляется с учетом динамики денежного потока от финансовой деятельности на основе договорных обязательств (процентов по кредитам, условий ДПМ и др.). Если финансовая эффективность фиксирует потенциал проекта, то есть его способность генерировать положительные чистые выгоды ($NPV^F > 0$) независимо от схемы финансирования, то эффективность участия в проекте ($NPV_S^F > 0$) демонстрирует субъективную заинтересованность отдельных инвесторов участвовать в реализации проекта и зависит от сформированного финансового механизма.

Отметим, что напрямую суммированием NPV_S^F каждого из основных участников энергетического проекта не удастся получить NPV^F проекта по причине специфического важного участника проекта – государства, которое в силу фискальной своей

функции имманентно включено в денежные потоки от операционной деятельности, поэтому финансовая эффективность проекта в целом не разбивается на сумму NPV_S^F отдельных его участников. Интегральный эффект проекта (NPV^F) необходимо суммировать с дисконтированными налоговыми платежами (\tilde{T}_{ax}):

$$NPV^F + \sum_T \tilde{T}_{ax} = \sum_S NPV_S^F \quad (3),$$

$$NPV_{\bar{S}1}^F = \sum_T (\tilde{B}_t^{\bar{S}1} + \tilde{C}_t^{\bar{S}1}) \quad (4),$$

где \tilde{T}_{ax} – дисконтированные налоговые платежи, $NPV_{\bar{S}1}^F$ – финансовая эффективность участия в проекте для $\bar{S}1$ -го участника, $\tilde{B}_t^{\bar{S}1}$ – дисконтированные выгоды по проекту в момент времени (шаг расчета) t для $\bar{S}1$ -го участника, $\tilde{C}_t^{\bar{S}1}$ – дисконтированные издержки по проекту в момент времени (шаг расчета) t для $\bar{S}1$ -го участника, \bar{S} – количество основных участников энергетических процессов.

Легко убедиться, что налоговые платежи, включенные в качестве издержек (\tilde{C}_t) в денежный поток от операционной деятельности для оценки финансовой эффективности проекта (NPV^F), являются одновременно основными выгодами (\tilde{B}_t^G) для государства и учитываются в качестве притока денежных средств при оценке эффективности его участия в энергетическом проекте (NPV^G). Таким образом, финансовая эффективность проекта меньше суммы эффективностей его участников на объем дисконтированных налоговых платежей, поэтому последние прибавляются к NPV проекта для достижения сходимости денежных потоков в формуле (3).

Полноценной сходимости денежных потоков проекта и участников партнерства удастся достичь на втором этапе

оценки экономической эффективности проекта (см. ниже формулу (5)). Список основных субъектов, эффективность участия которых оценивается на первом этапе, дополняется референтными группами (местное население, работники электростанций и др.), чьи интересы значительно затрагивает реализация энергетического проекта.

$$NPV^E = \sum_{\hat{S}} NPV_{\hat{S}}^F + \sum_{\hat{S}} NPV_{\hat{S}}^F \quad (5),$$

где NPV^E – экономическая эффективность проекта, $NPV_{\hat{S}}^F$ – финансовая эффективность основных участников, $NPV_{\hat{S}}^F$ – экономическая эффективность референтных групп, \hat{S} – количество референтных групп.

Если число основных участников, как правило, четко задано благодаря определенной схеме финансового взаимодействия между ними, то количество референтных групп зависит от комплексности и масштабности энергетического проекта, поэтому сложно учесть всех представителей общества в рамках экономического анализа, который подразумевает измерение и оценку *всех* выгод и издержек *для всех* членов общества. При этом выделяют активных и пассивных реципиентов выгод и издержек проекта. Активные группы непосредственно вовлечены в механизм реализации проекта, например являются конечными потребителями электроэнергии. Пассивные группы на момент анализа проекта не являются активными реципиентами, но могут ими стать в определенный момент. Например, на данный момент местное население не является производителем электроэнергии, но может им стать вследствие внедрения распределительных сетей ВИЭ-генерации. Эти референтные группы имеют определенную опцию выгодоприобретения от развития децентрализованной возобновляемой энергетики. Более того, одни и те же участники могут одновременно представлять разные референтные группы, например, как бенефициары дешевой электроэнергии за счет угольной генерации и как реципиенты

вредных выбросов, связанных с этим производством. Также существует дискуссия о возможности вынесения за пределы экономического анализа некоторых маргинальных групп населения, например закоренелых преступников, злостных нарушителей закона и др.

В силу вышесказанного определить конечное количество и однозначную роль ключевых референтных групп в монетизированной оценке полноценной стоимости электроэнергии достаточно проблематично. Среди зарубежных экспертов принято говорить о «неполном» (incomplete) анализе выгод и издержек, если имеется хотя бы один немонетизированный эффект для одной или нескольких групп-участников энергетического проекта, и обозначать этот анализ как «всеохватный» (comprehensive), когда все эффекты для всех участников оценены в монетарном виде.

Таким образом, взаимосвязь денежных потоков проекта и его участников в рамках финансового (см. формулу (3)) и экономического анализа (см. формулу (5)) представляется важным свойством финансовой модели для монетизированной оценки полноценной стоимости производства электроэнергии. Это дает возможность дробления «общего пирога» проекта между всеми его участниками ($\sum_S NPV_S$) и соответствующего распределения суммарных выгод ($\sum_T \tilde{B}_t$) и издержек ($\sum_T \tilde{C}_t$), генерируемых проектом, между отдельными участниками энергетических процессов $\sum_T \tilde{B}_t^S$ и $\sum_T \tilde{C}_t^S$ соответственно.

На втором этапе денежные потоки для оценки финансовой эффективности скорректированы на величину трех видов эффектов:

- *экологические издержки.* Использовались исходные данные по четырем видам вредных выбросов (SO_2 , NO_x , PM_{10} , CO_2) согласно исследованию [5], в котором даны технические характеристики работы сибирских угольных и газовых электростанций. Использование технической воды изначально включено в финансовую модель. Монетизированные оценки внешних эффектов выполнены на основе международных данных, которые инфлировались по отношению к базовому

2019 г., затем конвертировались в рубли по курсу национальной валюты по ППС согласно данным МВФ (IMF comparator);

- *теневая стоимость расходов на топливо.* Мировые цены каменного угля и природного газа с учетом транспортной составляющей представлены в энергетическом бюллетене Аналитического центра при Правительстве РФ;
- *трансферы в виде налогов и субсидий.* Четыре вида налогов (НДС, налоги на прибыль, на имущество, 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 (согласно формуле (3)). Субсидии определяются в виде разницы от продажи мощности по ДМП и конкурентному отбору мощности (КОМ). Значения КОМ заданы в соответствии с информацией Ассоциации «НП Совета рынка», а расчеты составляющих цен на мощность по ДПМ выполнены в соответствии с утвержденными Правилами правительства РФ.

Для достижения сопоставимости разновременных проектов используется техника эквивалентных выплат с помощью формулы аннуитета:

$$EANB = \frac{NPV_{project}}{a_r^T} \quad (6),$$

$$a_r^T = \frac{1 - (1 + r)^{-T}}{r} \quad (7),$$

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 чистые 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, то есть 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. 1).

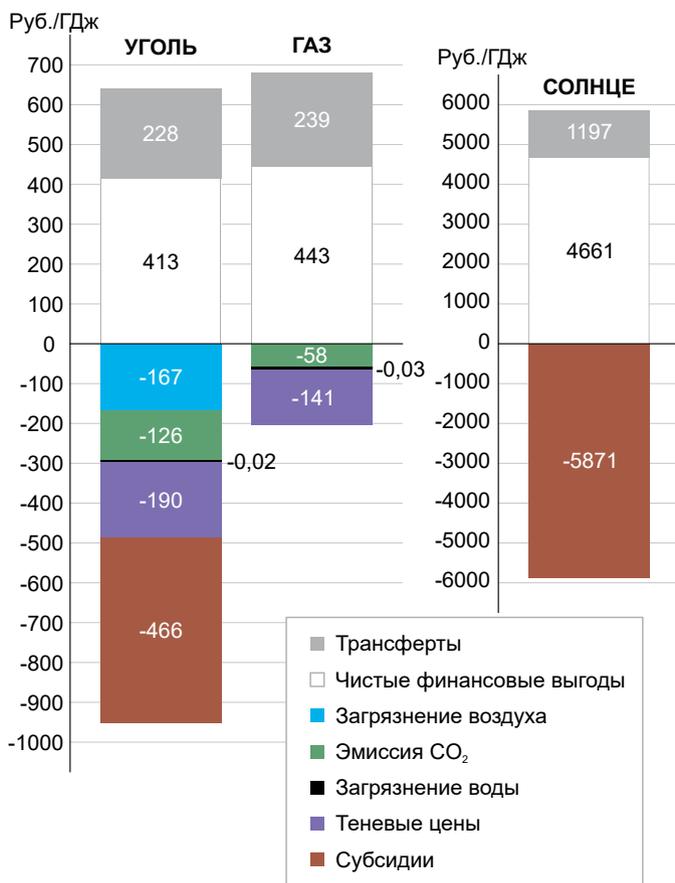


Рис. 1. Экономические выгоды и издержки производства электроэнергии на угольной, газовой и солнечной электростанциях в Сибири, оценки (в ценах 2019 г., $r = 3.5\%$)

Источник: расчеты автора.

Видно, что все три альтернативы рентабельны, при этом самые высокие удельные чистые финансовые выгоды оказались у СЭС, чего изначально и следовало ожидать, так как NPV соотносится с небольшим объемом выработанной электроэнергии. Но для инвестора угольная электростанция остается самым прибыльным предприятием, дающим экономию при масштабном производстве электроэнергии и тепла. Полученные нами финансовые оценки корреспондируют с макроданными деятельности объектов энергетической отрасли. Так, в 2017 г. рентабельность предприятий по производству электроэнергии за счет возобновляемой энергии на Алтае, в Бурятии и Хакасии достигла 369%, 344% и 75%. Для традиционной генерации Сибири этот показатель составил 25% [6].

Если включить монетизированные внерыночные эффекты в полноценную стоимость выработки электроэнергии, то 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 издержек. 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.

В отличие от угольной генерации, солнечная электростанция без субсидий удерживается в зоне, близкой к безубыточности (-13 руб./ГДж). Если удастся кардинально снизить капитальные затраты и повысить КИУМ, то при низких операционных затратах СЭС смогут конкурировать с традиционными источниками энергии в Сибири.

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.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ТИП ЭНЕРГЕТИКИ И БЛАГОСОСТОЯНИЕ РЕГИОНОВ РОССИИ¹

Цель исследования состоит в определении степени дифференциации благосостояния населения регионов России в зависимости от преобладающего источника выработки электроэнергии.

Предполагается, что разный уровень развития энергетики и энергетический статус регионов может оказывать различное воздействие на параметры жизни социума: уровень и качество жизни. Соответственно, можно говорить о различных общественных «выгодах» и «издержках» использования традиционных и возобновляемых источников энергии для производства электроэнергии.

Проверка этой гипотезы и решение поставленной задачи требовали комплексного подхода и проходили в *четыре этапа*.

На первом этапе проводился факторный анализ 17 различных показателей благосостояния регионов России для снижения их размерности и объединения в более однородные группы. Этот метод активно используется в экономических и социальных науках и позволяет выявлять латентные характеристики исследуемого феномена. Механизм действия факторного анализа заключается в выявлении связей между показателями и объединении

¹ Исследование выполнено совместно со студенткой 4-го курса ЭФ НГУ Щербаковой Д. М., которая самостоятельно провела сбор данных и все основные расчеты.

связанных признаков в факторы, выделение которых осуществляется с применением метода главных компонент, то есть в последовательном поиске факторов на основе процента объясненной дисперсии.

Существуют два основных ограничения применения этого метода в нашей работе. *Во-первых*, факторный анализ должен применяться с учетом предположения о том, что характеристики, отражающие уровень благосостояния населения в регионах, стандартизованы, то есть подчиняются законам нормального распределения. В связи с этим показатели были прологарифмированы, что позволило лишь приблизиться к необходимому виду распределения данных. *Во-вторых*, в научной практике нет единственного и исчерпывающего подхода определения числа факторов, что может отразиться на результатах исследования. В работе использовался критерий Кайзера, отражающий выбор только тех факторов, которые могут объяснить дисперсию хотя бы одной переменной.

На втором этапе проводился кластерный анализ 85 регионов России в целях классификации регионов по уровню и качеству жизни в соответствии с выделенными на первом этапе индикаторами благосостояния. Этот метод используется при необходимости сгруппировать не исследуемые признаки, а непосредственно сами объекты. В работе применены два вида кластерного анализа:

1) иерархический кластерный анализ, предполагающий автоматическую группировку при условии, что изначально каждый объект является отдельным кластером;

2) кластерный анализ методом k -средних, который в свою очередь группирует регионы на указанное число кластеров. Классификация осуществлена на основе расстояния между точками; используемая мера близости – евклидово расстояние, так как все факторы являются количественными и стандартизованными переменными.

Основная трудность применения этого метода заключается в выборе подхода, позволяющего определить конечное число кластеров. В работе использовались результаты нескольких тес-

тов, а именно: дендограммы шагов кластеризации, а также однофакторного дисперсионного анализа.

На третьем этапе российские регионы были разделены на две группы в зависимости от типа генерации электроэнергии: регионы с преобладающей углеводородной генерацией и все остальные. В России исторически сложилось, что энергообъекты размещаются рядом с районами добычи и развитой инфраструктурой. В связи с этим показатель, характеризующий тип генерации электроэнергии, помимо объема произведенной электроэнергии, включает объем добытого топлива.

Четвертый этап – квинтэссенция работы; на этом этапе классификация регионов по уровню благосостояния была соотнесена с группами регионов по типу генерации.

Информационная база исследования – массив данных в статистическом пакете SPSS «Statistical Package for the Social Sciences». Используемые показатели зафиксированы на конец 2016 г. и взяты из официальных статистических источников: статистических сборников Росстата, отчета о функционировании ЭЭС 2013–2019 гг., программ развития энергетики в регионах России, отчета Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, отчета Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, государственного доклада о водных ресурсах России и др.

Такое разнообразие источников, с одной стороны, позволяет выбирать представленность рассматриваемых характеристик, а с другой – влияет на достоверность получаемых результатов. В дальнейшем все рассматриваемые показатели были приведены к относительным величинам для рассмотрения сопоставимых признаков и получения корректных результатов.

Рассмотрение вопроса воздействия энергетики на параметры уровня жизни социума является актуальным вопросом социально-экономических дисциплин, традиционно изучаемых путем рассмотрения экономических и экологических факторов. В работе формируется попытка расширения и углубления таких факторов в целях выявления новых или слабо изученных положительных и отрицательных эффектов от использования конкретного источника энергии.

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ БЛАГОСОСТОЯНИЯ

Чтобы рассмотреть влияние энергетики на социально-экономическое развитие региона, необходимо определить факторы, характеризующие это развитие, и основания, определяющие различные уровни социально-экономического благосостояния регионов.

В работе благосостояние регионов России рассматривается как интегральная характеристика 17 социально-экономических параметров жизни населения. Отметим, что выбор этих показателей связан с целью исследования: отбирались те признаки, которые, с точки зрения экспертов, являются наиболее релевантными при рассмотрении позитивных и негативных последствий развития энергетики. На их основе с помощью факторного анализа удалось выделить четыре значимых фактора, которые суммарно объясняют 71% общей модели.

Первый фактор – развитость экономики и материальное положение населения в регионе. В него включены следующие показатели:

- начисленная заработная плата по отношению к МРОТ;
- среднемесячный размер социальной поддержки на одного пользователя;
- ВРП на душу населения;
- доходы регионального бюджета на душу населения;
- поступления по страховым взносам на обязательное социальное страхование на численность занятых.

Рассмотрение этих показателей как отражения комплексного и сложного феномена благосостояния связано с тем, что показатели ВВП или ВРП, активно используемые в экономических и социальных работах, не являются исключительными и исчерпывающими. Поэтому в нашей работе для рассмотрения блока материального положения, помимо ВРП на душу населения, взяты такие макрохарактеристики, как доходы в региональный бюджет на душу населения, поступления по страховым взносам на обязательное социальное страхование на численность

занятых, а также микропоказатели: начисленная заработная плата по отношению к МРОТ и среднемесячный размер социальной поддержки на одного пользователя как отражение результата помощи властных структур в повышении уровня жизни населения региона.

Исследование социальных платежей (страховые взносы и социальная поддержка) особенно актуальны в контексте связи с энергетикой, так как углеводородная энергетика обеспечивает не только повышение заработка, что зачастую является единственным удерживающим фактором такого вида трудоустройства человека, но и дополнительные бюджетные доходы государства, что в свою очередь позволяет выполнять социальные обязательства перед местным населением (например, строительство социальной инфраструктуры) и реализовывать государственные программы. Предполагается, что в этом случае в первую очередь должно происходить развитие системы здравоохранения на региональном уровне, при этом должны создаваться наилучшие условия для получения медицинской помощи тем, кто подвергается пагубному воздействию из-за топливно-сырьевых манипуляций.

Второй фактор – забор воды и загрязнение окружающей среды, включая издержки, связанные с ее охраной – представлен следующими показателями:

- выбросы от стационарных источников на площадь региона;
- сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты на общий объем водных ресурсов;
- текущие затраты на охрану окружающей среды, включая оплату услуг природоохранного назначения;
- забор воды из подземных водоемов по отношению к общему объему водных ресурсов.

Рассмотрение загрязнения окружающей среды как индикатора благосостояния населения сопряжено с ценностью и правом людей на чистый воздух и чистую воду, что зафиксировано в Конституциях многих стран (Аргентина, США, Португалия, ЮАР и др.). Также нельзя не отметить значимое влияние этой характеристики на другие параметры жизни социума: высокий уровень загрязнения негативно влияет на здоровье и трудоспособность людей.

Можно также говорить о том, что проблема загрязнения окружающей среды нарастает из-за значительного забора воды, необходимого чуть ли не для каждой отрасли экономики, в особенности для сельского хозяйства и обрабатывающей промышленности. *Б. К. Совакул* утверждает, что «обычная угольная станция мощностью 500 МВт потребляет около 7000 галлонов (26 498 литров) воды в минуту, это эквивалентно 17 бассейнам олимпийского размера каждый день» [1].

Третий фактор – превышение наиболее вредных веществ и примесей в воздухе региона – включает такие показатели, как:

- СИ (наибольшая разовая измеренная концентрация примесей) больше 10 в субъекте;
- НП (наибольшая повторяемость превышений концентраций примесей) больше 20 в субъекте;
- средняя за год концентрация любого вещества ($Q > ПДК$);
- выбросы вредных веществ в атмосферу: твердые вещества;
- выбросы вредных веществ в атмосферу: SO_2 .

Выделение этого фактора связано с тем, что при рассмотрении качества жизни населения важную роль играют не только выбросы, но и концентрация имеющихся в атмосферном воздухе примесей, превышение нормы которых может оказать точечное, но большее по силе негативное воздействие, чем все происходящие кумулятивные процессы.

Наиболее опасными являются выбросы поражающих органы дыхания мелкодисперсных частиц, которых значительно меньше в странах Европейского союза, но которые постоянно выбрасываются в атмосферу в нашей стране при сжигании угля. Ситуация осложняется также тем, что климат определенных регионов не способствует рассеиванию вредных веществ и происходит не только загрязнение воздуха и водных объектов, но и заражение почвы.

Четвертый фактор – заболеваемость в регионе – состоит из следующих показателей:

- число зарегистрированных пациентов с онкологическими заболеваниями на душу населения;
- число зарегистрированных пациентов с заболеваниями органов дыхания на душу населения;

- число зарегистрированных пациентов с заболеваниями крови на душу населения.

Выбор показателей основывается на выводах комиссии Lancet по здоровью и изменению климата. Согласно представленным данным, вредная эмиссия, исходящая от топливной генерации, повышает риски заболеваний дыхательной и кровеносной систем, а также появления новообразований [2]. В связи с этим мы не фокусируемся лишь на одном виде заболеваний, как это встречается в смежных работах, а предпринимаем попытку учесть три вида заболеваний, наиболее значимых в контексте нашего исследования: онкологические, заболевания органов дыхания и заболевания крови.

Относительно высокий уровень качества полученной модели подтвержден рядом проведенных тестов. Значимость критерия Барлетта, равная 0,000, дает основания полагать, что характеристики скоррелированы между собой. Результаты теста КМО позволяют сделать вывод о том, насколько адекватно построенная факторная модель описывает структуру выбранных показателей (допустимые показатели от 0,5 до 1). В нашей работе этот показатель равен 0,762, что является адекватным результатом.

Таким образом, было выделено четыре фактора, которые позволяют по-новому рассматривать такой социально-экономический феномен, как благосостояние.

Кластеризация регионов осуществлялась на основе выделенных факторов – характеристик благосостояния 6 групп, которые значимы, согласно результату однофакторного дисперсионного анализа.

Кластер № 1 включает пять регионов России: Республику Саха (Якутию), Камчатский край, Магаданскую, Сахалинскую области, Ненецкий автономный округ.

Эта группа регионов характеризуется высоким уровнем жизни, выраженным в относительно высоком уровне экономического развития и материального положения населения, что достигается, вероятно, благодаря богатым природным ресурсам. Для этого кластера также характерен относительно низкий уровень забора воды и загрязнения окружающей среды, включая издержки, связанные с ее охраной. Причиной этого может быть

«особое» расположение многих регионов кластера: это пограничные регионы, регионы крайнего севера. В связи с этим они обладают уникальным природно-климатическим ландшафтом, высоким качеством воздуха и воды, что и приводит к относительно высокому качеству жизни.

Стоит отметить, что именно компонента забора воды переносит эти регионы в разряд регионов с высоким качеством жизни, так как в целом на их территориях имеются мощности, производящие электроэнергию за счет угля или газа, что может приводить к выбросу вредных веществ. Более того, в каждом из этих регионов осуществляется добыча необходимого топлива: в Республике Саха (Якутии) – угля, в Камчатском крае – угля и нефти, в Магаданской области – угля, в Сахалинской области – угля, газа и нефти, в Ненецком АО – нефти и газа. Эта мысль подтверждается при сравнении полученной типологии с типологией *Т. А. Макаровой*: в ее работе регионы классифицируются по социально-экономическому потенциалу на основе 36 показателей, включая переменную загрязнения окружающей среды, но без забора воды. Согласно приведенным в работе исследователя данным (с. 35, табл. 4), эти регионы относятся к регионам с низким потенциалом социально-экономического развития [3]. Можно прийти к выводу, что забор воды как компонента оценки состояния окружающей среды доминирует в этом кластере, формируя образ относительно более благополучных регионов.

Кластер № 2 представлен четырьмя регионами России: Республикой Алтай, Республикой Ингушетией, Карачаево-Черкесской Республикой, Еврейской автономной областью.

Кластер характеризуется низким уровнем жизни, выраженным в относительно низком уровне экономического развития и материального положения населения. В регионах отсутствуют значимые природные ресурсы, используемые для развития какого-либо сектора промышленности (за исключением Еврейской АО). Поэтому поступления в региональный бюджет происходят благодаря сельскому хозяйству и животноводству. Вместе с тем регионы этого кластера имеют высокое качество жизни, выраженное в относительно низком уровне забора воды и загрязнения окружающей среды, включая издержки, связанные с ее охраной.

Однако заболеваемость, как еще одна характеристика качества жизни, находится на относительно высоком уровне. Можно предположить, что это связано с относительно низким уровнем медицинского обслуживания. Так, число больничных коек на 10 000 населения находится на уровне ниже среднего по России (за исключением Еврейской АО):

Таблица 1

Число больничных коек на 10 000 человек населения

| Регион | Значение показателя |
|---------------------------------|---------------------|
| Республика Алтай | 78 |
| Республика Ингушетия | 48 |
| Карачаево-Черкесская Республика | 69 |
| Еврейская АО | 129 |
| Средний по РФ | 86 |

Кластер № 3 состоит из 13 регионов: Республики Башкортостан, Республики Татарстан, Удмуртской Республики, Краснодарского края, Пермского края, Ленинградской, Московской, Самарской, Свердловской, Тюменской областей, Города Москвы, Города Санкт-Петербурга, Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Кластер представлен относительно крупными территориями, в которых масштабируются различные промышленные, технические компании, что позволяет регионам иметь высокий уровень жизни, выраженный в относительно высоком уровне экономического развития и материального положения населения. Как следствие, в регионах этого кластера относительно высокий показатель забора воды и загрязнения окружающей среды: развитая промышленность загрязняет воздух и воду (выявлена связь между углеводородными регионами и недоброкачеством питьевой воды на уровне значимости 0,05), поэтому необходимы высокие затраты если не на восстановление окружающей среды, то хотя бы на поддержание ее состояния на допустимом уровне.

Кластер № 4 описывает 12 регионов: Республику Бурятию, Алтайский, Забайкальский, Красноярский, Приморский, Хабаровский края, Амурскую, Кемеровскую, Мурманскую, Новосибирскую, Оренбургскую, Челябинскую области.

Регионы, принадлежащие к этому кластеру, имеют низкое качество жизни, выраженное в относительно высоком уровне заболеваемости в регионах и превышении содержания в воздухе вредных веществ и примесей. Это связано с тем, что кластер за небольшим исключением включает ресурсные регионы Сибирского федерального округа и регионы Дальнего Востока, в которых содержится значительное число полезных ископаемых, в частности угля, при добыче которого происходит сильное загрязнение окружающей среды. Превышение примесей в воздухе, в частности СИ и НП, связано с тем, что климат (атмосферное давление, температура) этих регионов неблагоприятен для рассеивания загрязнений.

В исследовании *Т. А. Макаровой* [3] регионы, принадлежащие в нашей типологии к третьему и четвертому кластерам, определяются как регионы со средним потенциалом социально-экономического развития. Вероятнее всего, такое «медианное» положение в упомянутой работе объясняется разнонаправленными характеристиками благосостояния, «поднимающими» экономику региона, но «тянущими вниз» качество окружающей среды, экологический и природный потенциал, а также состояние здоровья населения. В работах, использующих лишь показатели, характеризующие экономическую компоненту, эти регионы относятся к регионам с высокой результативностью развития (например, в работах *И. Р. Ляпиной* [4], *Т. В. Сарычевой* [5]).

Кластер № 5 включает 13 регионов: Республику Адыгею, Республику Дагестан, Кабардино-Балкарскую Республику, Республику Калмыкию, Республику Крым, Республику Северную Осетию, Республику Тыву, Чеченскую Республику, Чувашскую Республику, Ставропольский край, Ульяновскую область, Город Севастополь, Чукотский автономный округ.

Кластер характеризуется низким уровнем жизни, выраженным в относительно низком уровне экономического развития и материального положения населения (за исключением Чукотского АО). При этом в регионах отмечается высокое качество жизни, выраженное в относительно низком уровне заболеваемости, заборе воды и загрязненности окружающей среды, включая

издержки, связанные с охраной. Как удалось заметить, в большинстве выделенных регионов присутствуют возобновляемые источники энергии: СЭС или ВЭС (таблица 2).

Можно предположить, что именно более «чистый» способ производства электроэнергии способствует более безопасной и менее пагубной для здоровья жизни населения в регионах. Вместе с этим здесь не происходит такого экономического развития (в частности, благодаря добывающей и обрабатывающей промышленности), как в углеводородных регионах.

Таблица 2

Возобновляемые источники энергии и их общая мощность в РФ

| Субъект РФ | ВИЭ (более 5 МВт) | Общая мощность, МВт | Доля ВИЭ, % |
|-------------------------|---|---------------------|-------------|
| Республика Адыгея | Гиагинский ветропарк*, Кошехабльский ветропарк* | 297 | 93 |
| 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** | 115 | 100 |
| Республика Башкортостан | Бугульчанская СЭС, Исянгуловская СЭС, Бурibaевская СЭС, ВЭС «Тюпкильды», «Сигма Дракона» СЭС**, Нижняя Бурзянская СЭС**, Верхняя Бурзянская СЭС**, СЭС «Акъяр» | 89 | 2 |
| Республика Бурятия | БВС СЭС, Бичурская СЭС, Кабанская СЭС*, СЭС «Тарбагатай» *, Хоринская СЭС*, Гусиноозерская СЭС*, СЭС «Окно-Клинч» *, Идинская СЭС №1*, Идинская СЭС №2* | 135 | 1,2 |
| Республика Калмыкия | Приютненская ВЭС, СЭС «Элиста Западная»*, СЭС «Элиста Северная»*, Калмыцкая СЭС -1* | 205 | 91 |
| Республика Крым | Пресноводненская ВЭС, Сакская ВЭС, СЭС «Перово», СЭС Николаевка, СЭС «Родниковое», СЭС «Митяево», СЭС «Охотниково», Тарханкутская ВЭС, Донузлавская ВЭС, Судакская ВЭС, Восточно-Крымская (Акташская) ВЭС, Останинская ВЭС, Степная ВЭС**, Восточная ВЭС**, Присивашская ВЭС**, Зольненская ВЭС** | 703,5 | 64 |

| | | | |
|-------------------------|---|------|------|
| Республика Хакасия | Абаканская СЭС | 5 | 0,07 |
| Алтайский край | Славгородская СЭС**, Алейская СЭС**, Куринская СЭС ** | 65 | |
| Камчатский край | ВЭС п. Октябрьский | 5,52 | 1 |
| Краснодарский край | Краснодарский ветропарк** | 1000 | 33 |
| Астраханская область | СЭС «Енотаевка», СЭС «Володаровка», СЭС «Нива», Фунтовская СЭС, СЭС «Заводская», СЭС «Промстройматериалы», Астраханская ВЭС * | 220 | 25 |
| Волгоградская область | Красноармейская СЭС, Волгоградская СЭС**, СЭС «Астерион»**, СЭС «Котово»**, СЭС «Медведица»**, СЭС «Луч-1»**, Ленинская СЭС ** | 120 | 3 |
| Калининградская область | Ушаковская ВЭС | 5 | 0,1 |
| Ленинградская область | Ветровая электростанция г. Усть-Луга (строится) | 300 | 2 |
| Омская область | Нововаршавская СЭС**, СЭС «Русское поле»**, Павлоградская СЭС **, Омский ветропарк** | 175 | 8 |
| Оренбургская область | Соль-Илецкая СЭС, Переволоцкая СЭС, Оренбургская СЭС-5, Грачевская СЭС, Плешановская СЭС, Орская СЭС им. А. А. Влазнева, Державинская СЭС, Оренбургская СЭС-1, Оренбургская СЭС-3 | 210 | 5,1 |
| Забайкальский край | Агинская СЭС **, СЭС «Балей» *, Читинская СЭС*, Орловский ГОК СЭС *, СЭС «Борзя Западная» ** | 135 | |
| Самарская область | Самарская СЭС-2 | 75 | 1,2 |
| Саратовская область | Новоузенская СЭС, Орлов-Гайская СЭС, Пугачевская СЭС, Дергачевская СЭС** | 75 | 4 |
| Ульяновская область | Ульяновская (Симбирская) ВЭС, Ульяновская ВЭС-2* | 85,4 | 8 |

Примечание: * – строительство, ** – проектирование. В таблице представлен полный список регионов, в которых имеются возобновляемые источники энергии, но не все из них входят в кластер № 4.

В *кластер № 6* входит самое большое число регионов – 38: Республика Карелия, Республика Коми, Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Республика Хакасия, Архангельская, Астраханская, Белгородская, Брянская, Владимирская, Волгоградская, Вологодская, Воронежская, Ивановская, Иркутская, Калининградская, Калужская, Кировская, Костромская, Курганская, Курская, Липецкая, Нижегородская, Новгородская, Омская, Орловская, Пензенская, Псковская, Ростовская, Рязанская, Саратовская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Томская, Тульская, Ярославская области, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Кластер характеризуется относительно высоким уровнем заболеваемости населения. Причин этого может быть достаточно много: радиоактивное загрязнение почвы в Брянской области, относительно низкий уровень медицинской обеспеченности в Белгородской области. Но обсуждение таких причин выходит за рамки настоящего исследования.

Таким образом, выявлены шесть кластеров, отражающих вариативность развития экономической, экологической и социальной сферы в регионах. Кратко подводя итоги, можно сказать, что выделение шести кластеров отражает дифференциацию российских регионов в зависимости от уровня их благосостояния. Помимо стандартных показателей (экономическая развитость, материальное положение населения, уровень заболеваемости, загрязнение воздуха), подчеркивается значимость таких характеристик, как забор воды, концентрация выбросов и примесей, затраты на охрану окружающей среды и др. Предложенная классификация не единственно возможная или исчерпывающая модель: она представляет лишь один из вариантов рассмотрения такого крупного социально-экономического феномена, как благосостояние, путем анализа набора различных характеристик. Однако эта модель, на наш взгляд, не только имеет реальные эмпирические подтверждения, но и обладает практической применимостью как основа для разработки программ по модернизации экономической и социальной жизни регионов России.

ТИП ЭНЕРГЕТИКИ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ

Распределение регионов в зависимости от типа генерации электроэнергии включает рассмотрение трех характеристик:

- виды топлива, на которых работают электростанции в регионе;
- установленные мощности электростанций в регионе, МВт;
- добыча полезных ископаемых в регионе, в тоннах.

Алгоритм определения типа электроэнергии генерации на основе этих характеристик содержит несколько этапов.

Во-первых, необходимо определить долю установленных мощностей по каждому источнику энергии (уголь, газ, дизель, вода, солнце, ветер, источники геотермальных электростанций) в общей совокупной мощности электростанций региона.

Во-вторых, необходимо показать вклад установленной мощности региона в общую мощность электростанций России по каждому источнику энергии. С точки зрения оценки последствий загрязнения окружающей среды и изменения климата от энергетической активности, принципиальное значение имеет масштаб выбросов, эмиссия которых зависит от объемов добычи топлива и выработки электроэнергии, поэтому чем выше вклад региона в общероссийскую установленную мощность, тем ярче выражен энергетический статус региона.

В-третьих, важно определить долю добываемых полезных ископаемых (уголь, газ, нефть) в общей по России добыче каждого вида топлива. Для работы традиционных электростанций требуется топливо, добыча которого часто осуществляется в пределах этой же территории и сопровождается значительными социально-экономическими последствиями, что является значимым аспектом для решения исследовательских задач. Поэтому в анализ структуры генерации электроэнергии целесообразно включить показатель добычи ископаемых ресурсов.

Методика присвоения значений структуры генерации имеет три ступени:²

² Пороговые значения установлены экспертным путем.

1) рассматриваем долю установленной мощности в регионе: если эта доля по таким видам топлива, как уголь и газ, превышает 0,7 (70%) и вклад мощности региона в общую мощность электростанций России по таким видам топлива, как уголь и газ, превышает 0,015 (1,5%), то региону присваивается характеристика региона с ярко выраженной углеводородной генерацией электроэнергии;

2) работаем с оставшимися субъектами и теперь учитываем долю добычи угля и газа в регионе: если доля добычи угля и газа в регионе превышает 0,025 (2,5%), то региону присваивается характеристика региона с ярко выраженной углеводородной генерацией электроэнергии;

3) оставшиеся регионы имеют характеристику регионов с прочей структурой генерации электроэнергии, то есть любые иные комбинации, которые в настоящей работе не релевантны. В результате получаем дифференциацию регионов (таблица 3).

На основе проведенного анализа можно утверждать, что в структуре топливно-энергетического комплекса 98,8% регионов РФ присутствует уголь или газ; из них 48% регионов имеют ярко выраженное преобладание угля или газа. В этой группе преимущественно регионы Сибири и Дальнего Востока, а также некоторые крупные города центральной России (использующие газ). Регионы, которые были отнесены к регионам с прочей структурой генерации электроэнергии, располагаются преимущественно в Южном Федеральном округе и в центральной части России. Необходимо отметить, что выделение только двух групп регионов по типу генерации энергии связано с исследовательской задачей: рассмотрением «выгод» и «затрат» для социума в результате развития на территории традиционной и возобновляемой энергии.

Таблица 3

Распределение регионов по структуре генерации электроэнергии
(основание – углеводороды)

| Характеристика структуры генерации в регионе | Число регионов | Субъекты РФ |
|---|----------------|--|
| Регион с ярко выраженной углеводородной генерацией электроэнергии | 41 | Республика Башкортостан, Республика Бурятия, Республика Коми, Республика Саха (Якутия), Республика Татарстан, Республика Хакасия, Алтайский, Забайкальский, Краснодарский, Красноярский, Пермский, Приморский, Ставропольский, Хабаровский края, Астраханская, Владимирская, Иркутская, Калининградская, Кемеровская, Костромская, Ленинградская, Липецкая, Московская, Нижегородская, Новосибирская, Омская, Оренбургская, Ростовская, Рязанская, Самарская, Сахалинская, Свердловская, Томская, Тульская, Тюменская, Челябинская области, Город Москва, Ненецкий автономный округ, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Чукотский автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ |
| Регион с прочей структурой генерации электроэнергии | 44 | Республика Адыгея, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Калмыкия, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Карелия, Республика Крым, Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Республика Северная Осетия, Республика Тыва, Удмуртская Республика, Чеченская Республика, Чувашская Республика, Камчатский край, Амурская, Архангельская, Белгородская, Брянская, Волгоградская, Вологодская, Воронежская, Ивановская, Калужская, Кировская, Курганская, Курская, Магаданская, Мурманская, Новгородская, Орловская, Пензенская, Псковская, Саратовская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Ульяновская, Ярославская области, Город Санкт-Петербург, Город Севастополь, Еврейская автономная область, Республика Алтай |

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Итогом нашей работы является сопоставление двух типологий: типологии регионов по благосостоянию и типологии регионов в зависимости от структуры генерации энергии (традиционной или возобновляемой). Используя метод таблиц сопряженности и исследуя скорректированные остатки (табл. 4), можно прийти к выводу, что развитие традиционной энергетики с точки зрения экономико-социальных наук – двунаправленный процесс.

Таблица 4

Соотнесение типологии благосостояния
с типологией типа генерации электроэнергии

| | | | Кластер | | | | | | Итого |
|-------------------------------|---|--------------|---------|------|------------|------------|------------|------|-----------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Структура генерации в регионе | Регион с прочей структурой генерации | Част. | 2 | 4 | 2 | 2 | 11 | 23 | 44 |
| | | Скор. остат. | -0,5 | 2,0 | -2,9 | -2,6 | 2,6 | 1,5 | |
| | Регион с ярко выраженной структурой генерации | Част. | 3 | 0 | 11 | 10 | 2 | 15 | 41 |
| | | Скор. остат. | 0,5 | -2,0 | 2,9 | 2,6 | -2,6 | -1,5 | |
| Итого | | Част. | 5 | 4 | 13 | 12 | 13 | 38 | 85 |

Положительные эффекты в первую очередь связаны с развитием экономики, промышленного сектора, что делает регионы инвестиционно привлекательными. Такая структура генерации электроэнергии также способствует развитию инноваций, так как спрос на электроэнергию постоянно растет и требует новых методов для его удовлетворения (выявлена связь на уровне статистической значимости 0,05). С точки зрения благосостояния населения угольная и газовая генерация позволяет иметь относительно более высокое материальное положение (высокий уровень заработной платы, пособия), что повышает уровень жизни. Однако такие эффекты минимизируются, если рассмотреть иные выявленные связи: относительно высокий уровень забора воды

и загрязнение окружающей среды, включая издержки, связанные с ее охраной и превышение вредных веществ и примесей в воздухе.

Что же в этом случае предлагает нам возобновляемая энергия? Каков ее «спасительный» потенциал? Согласно проведенному исследованию, можно утверждать, что регионы, в которых присутствуют возобновляемые источники энергии, характеризуются относительно низким уровнем забора воды и загрязнения окружающей среды, включая издержки, связанные с ее охраной, а также относительно низким уровнем заболевания в регионе. Такой результат достаточно очевиден, так как отсутствует углеводородное топливо, чье пагубное воздействие на человека было описано ранее. Несложно догадаться, что уровень развития экономики и материального положения в таких регионах находится на относительно низкой позиции.

Таким образом, получаем противоположные общественные «выгоды» и «затраты» при развитии отраслей углеводородной и возобновляемой энергии. Негативные эффекты от использования угля и газа, связанные с загрязнением окружающей среды, высоким забором воды, заболеваниями, устранить крайне трудно или практически невозможно. Соответственно, можно предположить, что увеличение материальных средств при использовании возобновляемых источников энергии является наиболее гуманной и продуктивной моделью устройства энергетического комплекса и достижения желаемого уровня жизни.

ПРИЛОЖЕНИЕ В КОНТЕНТ-АНАЛИЗ ВЗГЛЯДОВ СУБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ¹

Цель исследования состоит в выявлении оценочных суждений и субъективных взглядов четырех групп участников энергетических процессов: государства, энергобизнеса, научного сообщества и НКО – в отношении выгод и издержек использования традиционных и возобновляемых источников энергии в России. Предполагается, что, помимо апеллирования к объективным фактам, каждый из этих игроков имеет свои интересы, ценности и ресурсы в энергетической отрасли, совокупность и согласованность которых, а также учет общественного мнения отражаются на развитости энергетической культуры страны.

Как утверждает *И. Моррис*, «отношения между извлечением энергии и человеческими ценностями по сути представляют собой причинно-следственную зависимость, и изменения в сфере извлечения энергии влекут за собой изменение человеческих ценностей» [1]. Для проверки этой гипотезы и достижения поставленной цели используется метод контент-анализа текстовой информации как один из структурных и легко воспроизводимых методов исследования текстов, позволяющих обобщить и систематизировать информацию. Техник анализа

¹ Данное исследование выполнено совместно со студенткой 4-го курса ЭФ НГУ Щербаковой Д. М., которая провела самостоятельно сбор стенограмм прямой речи и кодировку текстовых сообщений.

информации в контент-анализе достаточно много. В последнее время применяются автоматизированные программные методы анализа (MAXQDA, AntConc, QSR Nvivo, PLCA и др.) и представления результатов, использование которых может быть затруднительно при неунифицированных текстах и в случае более сложных и комплексных исследовательских задач. В нашей работе необходимо не только уловить значимые смыслы, но и определить контекст их употребления: в привязке к какому источнику энергии рассматривается характеристика; является ли она преимуществом или недостатком в области развития энергетики. В связи с этим обработка данных осуществлялась классическим способом, то есть «вручную».

Первоначально на основе предварительно проанализированной литературы был разработан кодификатор как «отправная точка» для выработки кодов (год проведения интервью, должность или статус говорящего человека, указание источника энергии), затем по мере анализа текстовых данных происходило дополнение всех кодификаторов с учетом тех ценностей, которые выдвигает каждая из групп, с обязательной привязкой к источнику энергии: традиционному (углеводороды (уголь, газ, нефть), вода, атом) и возобновляемому (солнце, ветер, биомасса, энергия Земли). При этом одна и та же характеристика несет в себе потенциал для абсолютно различных интерпретаций, так как референтные группы фокусируются на разных аспектах выделенной характеристики.

Формат данных, анализируемых при помощи контент-анализа, также может быть различным. Наиболее популярными являются журналы, публикации в СМИ, блоги, личные дневники, официальные документы; помимо текстовых данных, активно анализируются фотографии, плакаты, эмблемы и прочее. Фокусом исследования этой работы являются интервью, публикующиеся в интернете, как отражение непосредственно прямой речи говорящих, что, в отличие от анализа вторичных данных, позволяет выявлять более глубокие феномены: интересы, ценности, представления. Среди большого объема текстовой информации, где можно выделить необходимые аспекты для исследования, выбирались тексты официальных пред-

ставительств, научных журналов и общественно-политических газет.

Отбор данных происходил в несколько этапов:

1) четыре референтные группы – представители власти, бизнеса, научного сообщества и НКО;

2) отбор текстовых данных: интервью объемом не менее 500 слов с тегом *энерг, опубликованных с 2013 по 2019 г. Выбор временного отрезка связан с разработкой и принятием на федеральном уровне закона «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на оптовом рынке электрической энергии и мощности» от 28 мая 2013 года № 449 [2], что, по представлению самих групп, должно стать основанием для развития возобновляемой энергетики в России и, соответственно, ее конкурентоспособности с традиционными источниками.

3) отбор подмножества текстовых данных: массивы каждой из групп формировались по схеме вероятностной выборки с определенным шагом. Общий объем анализируемых интервью четырех референтных групп составил 379 единиц.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ МАССИВ

В качестве информационной базы исследования выступают четыре сформированных массива, представленных в виде кодификаторов контент-анализа. Объем анализируемых данных по группам представлен в таблице 1.

1. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК – РЕФЕРЕНТНАЯ ГРУППА «ВЛАСТЬ»

В качестве источника были использованы официальные интернет-ресурсы:

- интернет-портал президента РФ (<http://kremlin.ru>),
- интернет-портал Министерства энергетики России (<https://minenergo.gov.ru>),
- интернет-портал Государственной думы РФ (<http://transcript.duma.gov.ru>).

Таблица 1

Структура анализируемых текстов по годам

| Год | Референтные группы и количество проанализированных текстов | | | |
|-------|--|----------------|----------------|-------|
| | «Власть» | «Энергобизнес» | НКО | Наука |
| 2013 | 16 | 15 | 5 | 5 |
| 2014 | 15 | 10 | 2 ² | 9 |
| 2015 | 20 | 10 | 8 | 5 |
| 2016 | 13 | 9 | 9 | 5 |
| 2017 | 23 | 9 | 12 | 9 |
| 2018 | 19 | 17 | 30 | 20 |
| 2019 | 24 | 15 | 21 | 23 |
| Всего | 129 | 85 | 89 | 76 |

Выбор именно этих источников связан, в первую очередь, с задачей этого исследования продемонстрировать репрезентативный спектр суждений представителей государственной власти относительно альтернатив энергетического развития нашей страны: президента, законодательной и исполнительной ветвей власти. Для элиминирования возможной ангажированности и тенденциозности ответов на представленных интернет-порталах, рассматривались также интервью в деловых и общественно-политических газетах («Коммерсант», «Ведомости», «Эксперт»), которые также могут быть ангажированы, но в то же время, будучи объектами СМИ, придают определенный баланс официальным суждениям.

В результате получилось отобрать 387 интервью органов власти, что является генеральной совокупностью с учетом ранее описанных критериев отбора текстов. Выборочная совокупность строилась по вероятностной механической выборке с выделением шага, равным 3. Таким образом, этот массив включает 129 интервью представителей власти.

² Наиболее вероятно, что такая низкая активность связана с началом развития общественного движения в нашей стране.

2. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК – РЕФЕРЕНТНАЯ ГРУППА «ЭНЕРГОБИЗНЕС»

Для формирования этого источника использовался формат публичных интервью с целью зафиксировать прямую речь представителей референтной группы. В качестве источников размещения интервью привлекались:

- интернет-портал президента РФ (<http://kremlin.ru>), где содержатся транскрипты бесед между президентом РФ и представителями крупных энергетических компаний, которые приводят информацию о достижениях этих компаний за определенный период и декларируют планы;
- средства массовой информации, которые активно публикуют разного рода публичные интервью с представителями энергобизнеса. Поиск осуществлялся по трем тегам *энерг, *электр и *интервью с числом слов не менее 500 в газетах «РБК», «Коммерсант», «Эксперт», «Ведомости», изданных в то же время, что и источники первого массива.

Всего таких текстовых документов удалось собрать 169; из них формировалась выборочная совокупность с шагом, равным 2. Таким образом, массив содержит 85 интервью представителей энергобизнеса.

3. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК – РЕФЕРЕНТНАЯ ГРУППА «НКО»

Источник формировался аналогично предыдущим двум массивам по тегам *энерг, *профсоюз, *эко из следующих источников:

- интернет-портала международной независимой неправительственной экологической организации «Гринпис»,
- интернет-портала экологической сети «ЭкоДело»,
- газеты «Росуглепроф» под названием «На-гора»,
- журнала «Вестник Электропрофсоюза»,
- журнала «Энергосовет»,
- аналитического онлайн-журнала «Геоэнергетика.ру».

Вероятно, из-за меньшей публичности этой референтной группы в свободном доступе находится достаточно ограниченное число интервью. Поэтому для получения более сопостави-

мых массивов добавлялись находящиеся в свободном доступе интервью представителей знаковых общественных организаций по ВИЭ: Ассоциации солнечной энергии, НП «Евросолар Россия», Российской ассоциации ветроиндустрии, Российской биотопливной ассоциации. Всего таких текстов было найдено 89 – это и есть вся анализируемая совокупность.

4. МАССИВ – РЕФЕРЕНТНАЯ ГРУППА «НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО»

В качестве источников были использованы публичные интервью и единоличные авторские статьи, опубликованные в научных журналах «Научная Россия», «Наука и жизнь», «Энергосовет», «Поиск». В дополнение рассматривались общероссийская газета «Коммерсант» и публичные выступления представителей научного сообщества на международных форумах в области энергетики: РМЭФ, РАВИ, Российская энергетическая неделя, Международный цифровой форум по энергетике. Всего таких текстов было найдено 76; соответственно, это и есть вся анализируемая совокупность.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕННОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ ЧЕТЫРЕХ РЕФЕРЕНТНЫХ ГРУПП В ЭНЕРГЕТИКЕ

Метод контент-анализа описанных массивов позволяет выделить 10 индикаторов – ценностей, которые декларируются властными органами, бизнес-сообществом, некоммерческими организациями и представителями науки:

- *надежность,*
- *экономические издержки и общественные выгоды,*
- *технологичность,*
- *доступность,*
- *управляемость,*
- *экологичность,*
- *изменение климата,*
- *глобальная конкурентоспособность,*
- *перспективность,*
- *труд и работа.*

Необходимо отметить, что эти индикаторы – характеристики, обобщенные исследователем на основе проанализированного массива данных. Соответственно, у разных групп их интерпретация и понимание вложенного смысла может происходить по-разному.

Наибольшее единодушие в понимании достигается при рассмотрении таких показателей, как *надежность*, *доступность*, *изменение климата* и *перспективность энергетики*. Схожее понимание существует при рассмотрении индикатора *экономические издержки*: так, все референтные группы говорят о доходности, инвестиционной привлекательности энергетической сферы. Однако представление о проценте необходимой маржинальности достаточно разнится от группы к группе. Говоря о возможных различиях в интерпретации рассматриваемого показателя, можно выделить, что представители бизнес-сообщества затрагивают вопросы сильного воздействия рыночных механизмов на их деятельность. По их мнению, существование монопольных цен на рынке и конкуренция с государственными компаниями являются одним из главных препятствий для экономического роста. Опираясь на ценность создания общественных благ, представители бизнеса участвуют в строительстве различных значимых объектов для социума, что влияет на формирование их имиджа. В этом вопросе им оппонировать представители некоммерческих организаций: по их мнению, социально ответственный бизнес – это миф; напротив, деятельность энергобизнеса настолько не удовлетворяет всем требованиям, что в обществе возникает протестная активность, связанная преимущественно с условиями труда работников энергетики и защитой окружающей среды, что в целом приводит к социальной напряженности в обществе.

Рассматривая индикатор *технологичность*, также можно расставить акценты в его интерпретации. Представители бизнеса активно настаивают на внедрении именно элементов цифровизации и автоматизации, что, по их мнению, значительно повышает эффективность и прибыльность бизнеса. В свою очередь, НКО и научное сообщество акцентируют внимание на необходимости повышения роли НИОКР, в том числе и необходимости финансирования, так как именно от них постоянно требуются новые решения, связанные с повышением технологичности. Несмотря на отличия, все группы подразумевают

под этим повышение эффективности, модернизацию оборудования, повышение энергосбережения и введение новых мощностей.

Индикатор «управляемость» в целом понимается достаточно одинаково. При этом научное сообщество, помимо общих ценностей, говорит о необходимости перестройки экономики и структуры энергетического баланса, возлагая всю ответственность в этом вопросе на властные органы, ответственные за принятие стратегических решений. Представители бизнеса, целью которых может быть увеличение государственной поддержки и расширение льгот, также опираются на важность сотрудничества и укрепления взаимоотношений с властью.

Об индикаторе «экологичность» наиболее активно высказываются представители НКО, фокусируя внимание не только на загрязнении воды, воздуха, заборе воды, истощении ресурсов, но и на воздействии на животный мир, людей, что, по их мнению, влечет более негативные последствия. Оппонируют им представители бизнеса, говоря о том, что наиболее важна концентрация выбросов: как раз для ее снижения и проводятся все очистительные мероприятия.

Если обратиться к индикатору «глобальная конкурентоспособность», то можно сказать, что властные органы и НКО вкладывают в него одинаковый смысл (с фокусированием на большую конкурентоспособность первой группы). Представители же власти и научного сообщества в большей степени рассуждают о зарубежном опыте, на который должна опираться и наша страна.

Наиболее «многословными» в вопросах труда являются НКО: они заостряют внимание не только на условиях труда, но и на правах работников, и профсоюзах, отстаивающих эти права, как элементе современного гражданского общества. При этом важнейшими, по их мнению, являются вопросы здоровья и эмоционального состояния работников.

Таким образом, среди доминирующих групп нет единой трактовки в понимании и декларировании выделенных ценностей, что, вероятно, позволяет по-разному понимать положительные и отрицательные эффекты их существования в энергетике.

ПРЕДСТАВЛЕННОСТЬ ЦЕННОСТЕЙ ЧЕТЫРЕХ РЕФЕРЕНТНЫХ ГРУПП С ПРИВЯЗКОЙ К ИСТОЧНИКУ ЭНЕРГИИ

Основываясь на результатах количественного контент-анализа, можно выделить не только индикаторы – ценности, но и рассмотреть их различную коннотацию, связанную с упоминанием традиционных и возобновляемых источников энергии (рис. 1).

Согласно данным рисунка 1 (а), можно говорить о том, что ценности, к которым апеллируют референтные группы с привязкой к углеводородному источнику энергии, достаточно поляризованы, то есть по всем десяти индикаторам выделяют-ся как положительные, так и отрицательные аспекты.

В целом можно утверждать, что о традиционных источниках энергии экспертными группами говорится намного чаще. Вероятно, это связано с тем, что в структуре энергетического баланса России до 80% отводится углю и газу как одним из главных источников.

В связи с этим неудивительно, что органы власти считают газ наиболее перспективным источником энергии. В качестве его преимуществ выделяют доступность (как ценовую, так и ресурсную), надежность, прибыльность, конкурентоспособность и управляемость. Подтверждением сказанного могут быть слова Министра энергетики *А. В. Новака*: *«Так сложилось исторически: Россия богата природными ресурсами, а Европа – нет. Таким образом, об отказе от российских энергоресурсов могут говорить люди, которые мало разбираются в системе международных рынков»*[3].

Неоднозначно оцениваются этой группой вопросы экологичности углеводородной генерации, а также вопросы, связанные с трудом: признается факт наличия значимых проблем, однако вместе с этим заявляется о принимаемых и разработанных мерах для их решения (например, строительство технологически новых объектов и применение правовых методов регулирования).

Согласно данным рисунка 1 (б), можно говорить, что органы власти в меньшей степени видят перспективность в развитии возобновляемых источников энергии. В качестве возможных контраргументов в вопросе развития ВИЭ говорится, что население не готово платить за электроэнергию, произведенную на ВИЭ, так как она дороже, чем углеводородная, а также крайне недоступна на территории нашей страны ввиду климатических особенностей.

Представители бизнеса, хоть и признают снижение спроса на уголь, но считают, что в ближайшее время именно он будет удовлетворять все потребности как промышленности, так и населения. Отмечается также перспективность повышения экологичности этого источника энергии. Активно выражается мнение о социальной ответственности, прибыльности и глобальной конкурентоспособности углеводородного бизнеса, однако вместе с этим высказывается мнение о том, что в вопросах развития энергетики необходима значительная поддержка со стороны государства.

Представители некоммерческих организаций, в которые входили и члены экологических организаций, и профсоюзов, в большей степени считают, что ВИЭ, особенно ветер, наиболее перспективны для сложившихся в современном обществе условий. Так, глава Российской ассоциации ветроиндустрии (РАВИ) *Игорь Брызгунов* утверждает: *«А вообще, для ветроэнергетики удобны любые регионы России. Наша страна имеет возможности в перспективе стать рынком номер один по ветроэнергетике»* [4]. Рассматривая негативные аспекты развития углеводородов, можно говорить о том, что они четко определены для этой группы: происходит пагубное влияние на экологию и здоровье людей, а также нередки нарушения законодательства и прав в вопросах труда.

Положение научного сообщества в этом вопросе является самым неоднозначным: значительная часть ученых считает, что ввиду возникающих проблем изменения климата нашей стране необходимо усиливать развитие использования возобновляемых источников энергии, оппонировав при этом по поводу их недоступности (как ценовой, так и ресурсной) властным органам.

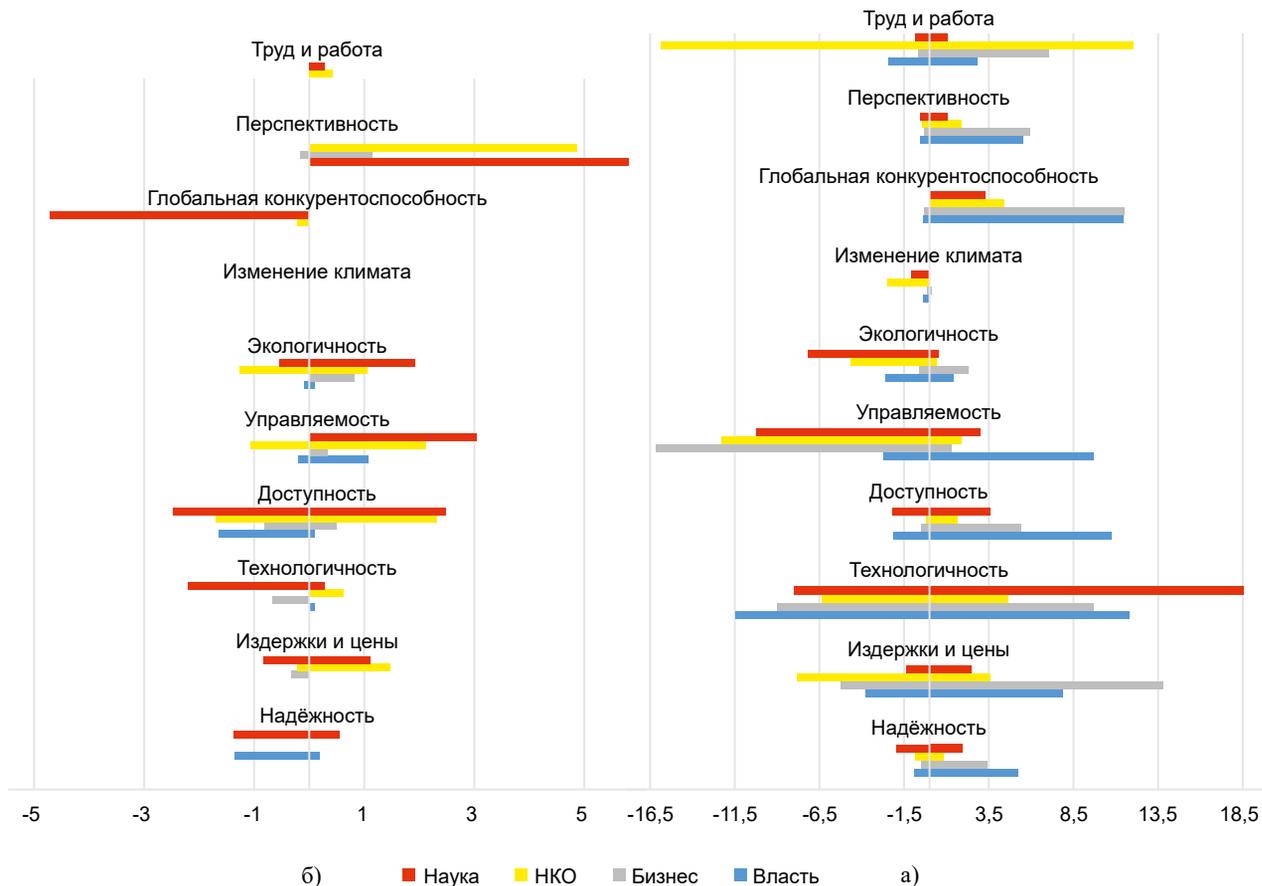


Рис. 1. Распределение частот упоминаний о положительных и отрицательных характеристиках углеводородов (а) и ВИЭ (б) по четырем референтным группам в России

Так, академик РАН, лауреат премии «Глобальная энергия» С. В. Алексеев утверждает: *«Даже солнечная энергетика доступна нам больше, чем мы думаем: да, в России холодно, но солнечных дней хватает, и не только на юге, но и в таких городах, как Челябинск, Саратов, Улан-Удэ, Горно-Алтайск»* [5]. Однако вместе с этим значительная часть экспертов считает газ и атом наиболее эффективными, технологически проработанными источниками энергии. При этом, рассматривая углеводороды, представители науки ставят под сомнение аргументы власти в отношении их надежности и экономической привлекательности в современных реалиях.

В связи с вышеизложенным можно выделить две достаточно поляризованные общности: первая представлена властью и бизнесом, активно отстаивающими необходимость развития традиционных источников энергии; вторая включает в себя общественные организации и представителей науки, которые в большей степени сосредоточены на развитии возобновляемых источников энергии, разрушая мифы о невозможности развития такой энергетики на территории нашей страны. Полученные результаты свидетельствуют также о том, что в нашей стране нет согласованности во мнениях и ценностях четырех доминирующих групп, участвующих в развитии энергетики. Можно предположить, что энергетический выбор и стратегии его осуществления не являются четко проработанным механизмом, учитывающим интересы как власти, бизнеса, НКО, науки, так и общества в целом.

ПРИМЕЧАНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

1. Siberia is an empty land filled with contradictions. *The Economist*, Dec 21, 2019.
2. Мелентьев Л.А. Избранные труды. Методология системных исследований в энергетике / Сост. Беляева Г.М., Попырин Л.С. М.: Наука. Физматлит, 1995. С. 302.
3. Sovacool B. K., Dworkin M. H. *Global energy justice: problems, principles, and practice*. London: Cambridge Univ. Press, 2014. 432 p.
4. Олейник А. Н. Сбор, агрегирование и обработка качественных данных // Социологические исследования. 2014. № 5. С. 121–131.

ГЛАВА 1. ЭНЕРГЕТИКА И СИБИРЬ В ПОЛЕ ИДЕЙ И КОНЦЕПЦИЙ

1. Ebinger C. K., Banks J. P. The electricity revolution. Report, the Energy Security Initiative (ESI), Brookings Institution, November 8, 2013. URL: [https:// www.brookings.edu/research/the-electricity-revolution/](https://www.brookings.edu/research/the-electricity-revolution/) (accessed 01.04.2020).
2. Electricity Information 2018. Paris: OECD Publishing. URL: <https://doi.org/10.1787/electricity-2018-en> (дата обращения: 01.04.2020).
3. Interview with Spencer Dale, the chief economist of BP, Columbia Energy Exchange, a weekly podcast, June 25, 2018. URL: [https:// energypolicy.columbia.edu/spencer-dale-bp-statistical-review-world-energy-2018](https://energypolicy.columbia.edu/spencer-dale-bp-statistical-review-world-energy-2018) (дата обращения: 01.04.2020).
4. Tartar A. The clean energy revolution is here // *Bloomberg Business Week*. 2017. Sept. 11. P. 73.
5. 100% clean and renewable wind, water, and sunlight all-sector energy roadmaps for 139 countries of the world / M. Z. Jaconsen [et al.] // *Joule* 2017. Vol. 1. P. 108–121. DOI: 10.1016/j.joule.2017.07.005.
6. O’Sullivan M. L. *Windfall: How the new energy abundance upends global politics and strengthens America’s Power*. New York: Simon & Schuster, 2017. 479 p.
7. Энергетический сектор в среднесрочной программе развития экономики России. Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ», 1997. 72 с.
8. Энергетика России. XXI век. Принципы развития / авт.-ред. Ю. И. Сыроежина Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 719 с.
9. Макаров А. А. Научно-технологические прогнозы развития энергетики России // *Академия энергетики*. 2009. № 2. С. 4–12.

10. Конторович А.Э. Основные положения стратегии освоения природного газа Восточной Сибири и Дальнего Востока // Регион: экономика и социология. 2009. № 2. С. 96–109.
11. Bond K. 2020 Vision: Why you should see the fossil fuel peak coming. September 2018. 41 p. URL: <https://carbontracker.org/reports/2020-vision-why-you-should-see-the-fossil-fuel-peak-coming/> (accessed 01.04.2020).
12. Тумановский А. Г., Ольховский Г. Г. Пути совершенствования угольных ТЭС России // Электрические станции. 2015. № 1. С. 67–73.
13. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Мировые тенденции развития угольной отрасли // Горная промышленность. 2019. № 1. С. 24–29.
14. Пармон В. Н., Крюков В. А. Суслов Н. И., Чурашев В. Н. Энергоресурсы Сибири – наука и институциональные инновации // Энергетическая политика. 2019. № 1. С. 22–39.
15. Чурашев В. Н., Маркова В. М. Остаться нельзя уйти: к вопросу о развитии угольной генерации в России // ЭКО. 2019. № 11. С. 63–93.
16. Исламов С. Р. Частичная газификация угля. Москва: Горное дело, 2017. 384 с.
17. Капица С. П. Общая теория роста человечества. Как рос и куда идет мир человека. 2-е изд. Москва, 2009. 120 с.
18. Epstein A. The moral case for fossil fuels. New York: Penguin, 2014.
19. Алферов Ж. И. Будущее солнечной энергетики: интернет-интервью с академиком Ж. И. Алферовым. URL: <https://www.nkj.ru/interview/8370/> (дата обращения 12.12.2019).
20. Ермоленко Г.В. Перспективы и особенности развития сетевой ветрогенерации в ценовых и неценовых зонах Российского энергетического рынка. Москва: ИНЕРРАО, 2011. URL: <https://docplayer.ru/42574692-Perspektivy-i-osobennosti-razvitiya-setevoy-vetrogeneracii-v-cenovyh-i-necenovyh-zonah-rossiyskogo-energeticheskogo-rynka.html> (дата обращения: 01.04.2020).
21. Brown L. R., Larsen J., Roney J. M., Adams E. E. The great transition: shifting from fossil fuels to solar and wind energy. Earth Policy Institute, 2015. XIV, 178 p.
22. Energy: choices for environment and development. Report of the World Commission on Environment and Development: our common future. The General Assembly, in its resolution 38/161 of 19 December 1983. URL: <http://www.un-documents.net/a42-427.htm>(дата обращения: 01.04.2020).
23. Зубкова Е. Возобновляемый атом // Наука и жизнь. 2017. № 1. С. 20–22.
24. Glossary IRENA. URL: <https://www.iea.org/about/glossary/r/#tabs-2> (дата обращения: 01.04.2020).
25. Булатов А.М. Об эффективности проектов «зеленой энергетики» в США // США & Канада. 2016. № 9. С. 103–117.
26. Любимова Е. В. Возобновляемые энергоисточники Сибири: достигнутое и перспективы // Регион: экономика и социология. 2018. № 1. С. 250–270.
27. Марченко О. В., Соломин С. В., Козлов А. Н. Возможности использования древесных отходов в энергетике России // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23, № 6. С. 17–21.
28. Проскурякова Л. Н., Ермоленко Г. В. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. URL: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/uj7j4zqgqc/direct/204700493> (дата обращения: 01.04.2020).

29. Semovitz 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. 280 p.
30. Фортов В. Е., Попель О. С. Энергетика в современном мире. Долгопродный: Интеллект, 2011. 168 с.
31. Тягунов М. Г. Развитие энергетики возобновляемых источников на основе типовых гибридных комплексов в распределенных энергосистемах // Инноватика и экспертиза. 2012. № 2. С. 91–97.
32. Дегтярев К. С. Состояние и территориальная организация фотовольтаической солнечной энергетики в России // Окружающая среда и энерговедение. 2019. № 1. С. 23–38.
33. Hojckov K., Sanden B., Ahlborg H. Three electricity futures: monitoring the emergence of alternative system architectures. URL: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.12.004> (accessed 01.04.2020).
34. Иванова Н. И. Национальные инновационные системы. Москва: Наука, 2002. 244 с.
35. Mazzukato M. The value of everything. Making and taking in the global economy. New York: Public Affairs, 2018. 384 p.
36. Sivaram V. Taming the sun. Innovations to harness solar energy and power the planet. Cambridge: MIT Press, 2018. 371 p.
37. Georgescu-Roegen N. The entropy law and the economic process. Cambridge: Harvard Univ. Press, 1971.
38. National Research Council 2002. The drama of the commons. Washington: The Nat. Acad. Press. URL: <https://doi.org/10.17226/10287> (accessed 01.04.2020).
39. Порфирьев Б. Н. «Зеленый» фактор экономического роста в мире и в России // Проблемы прогнозирования. 2018. № 5. С. 3–12.
40. Aklin M., Urpelainen J. Renewables. The politics of a global energy transition. Cambridge: MIT Press, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/11112.001.0001> (accessed 01.04.2020).
41. Graetz M. J. The end of energy: the unmaking of America's environment, security, and independence. Cambridge: MIT Press, 2011. 369 p.
42. Lester K. R., Hart M. D. Unlocking energy innovation: how America can build a low-cost, low-carbon energy system. Cambridge: MIT Press, 2012. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/9216.001.0001> (accessed 01.04.2020).
43. Веселов Ф. В., Хоршев А. А., Ерохина И. В., Аликин Р. О. Экономические вызовы для угольных электростанций в России и мире // Электрические станции. 2019. № 3. С. 2–8.
44. Smil V. Energy and civilization. Cambridge: MIT Press, 2017. 564 с.
45. Schrag D. P. Is shale gas good for climate change? // Daedalus. 2012. Vol. 141, № 2. P. 72–80.
46. Газман В. Д. Преодоление стереотипов, связанных с возобновляемой энергетикой // Вопросы экономики. 2019. № 4. P. 124–136.
47. Ратнер С. В., Нижегородцев Р. М. Анализ опыта реализации проектов в области возобновляемой энергетики в России // Теплоэнергетика. 2017. № 6. С. 38–47.
48. Велихов Е. П. Энергетика в экономике мира XXI века // Труды МФТИ. 2011. Т. 3, № 4. С. 6–15.
49. Grossman L. A star is born // TIME. 2015. November 2. P. 25–33.

50. Нигматулин Р. И. 4 Э нашей жизни: экология, энергетика, экономика, этнос. Москва: Литтгерра, 2015. 112 с.
51. The future of nuclear energy in a carbon-constrained world. An interdisciplinary MIT study, 2018. URL: <http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf> (дата обращения: 01.04.2020).
52. Берлин И. Подлинная цель познания. Избранные эссе: пер. с англ. Москва: Канон+, 2002. 800 с.
53. Nordhaus T. What decades of failed forecasts say about clean energy and climate change. *Foreign Affairs*, Oct. 18, 2016. URL: <https://www.foreignaffairs.com/print/node/1118660> (accessed 01.04.2020).
54. Алексеенко С. «По натуре – я экспериментатор». URL: <https://globalenergyprize.org/ru/media-room/publications/2018/08/sergey-alekseenko-im-an-experimenter-by-nature> (дата обращения: 01.04.2020).
55. Имиджи Сибири / ред. В. И. Супрун. Новосибирск: ФСПИ «Трендъ», 2008. 356 с.
56. Российское пограничие: вызовы соседства / В. А. Колосов. Москва: ИП Матушкина И. И., 2018. 562 с.
57. *The Encyclopedia Americana*. Vol. 23. Intern. ed. New York: Americana Corp., 1964.
58. Каплан Р. Месть географии. Что могут рассказать географические карты о грядущих конфликтах и битве против неизбежного: пер. с англ. Москва: КоЛибри, 2015. 383 с.
59. Siberian regional identity: self-perception, solidarity, or political claim? Russia's regional identities. The power of the provinces / ed. by E.W. Clowes [et al.]. London; New York: Routledge, 2018. 308 p.
60. Донских О. А. Сибирь – проблема формирования целостности мегарегиона // Идеи и идеалы. 2017. Т.1, № 1. P. 118–127.
61. Sloan G. R. Geopolitics, geography, and strategic history. New York: Routledge, 2017. DOI: 10.4324/9780203489482.
62. Gornick V. From “Siberia” to Siberia // *The Yale Review*. 2007. Vol. 95, № 1.
63. Усс А. В., Иноземцев В. Л., Ваганов Е. В. Макрорегион Сибирь: проблемы и перспективы развития. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 396 с.
64. Сибирь в первые десятилетия XXI века / ред. В. В. Кулешов. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2008. 788 с.
65. Суслов В. И. Взаимодействия макрорегионов России в стратегии экономического роста // *Вестник НГУЭУ*. 2017. № 4. С. 28–35.
66. Судьба континента Сибирь: проблемы развития. Экспертный дискурс: сб. статей / под ред. В. С. Ефимова. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. URL: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/69459>.
67. Континент Сибирь / ред. В. А. Крюков. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2020. 454 с.
68. Власюк Л. И. Прогнозирование экономики макрорегиона: Дальний Восток. Хабаровск: ИЭИ ДВО РАН, 2012. 207 с.
69. Тихоокеанская Россия-2030: сценарное прогнозирование регионального развития / под ред. П. А. Минакира. Хабаровск: ДВО РАН, 2010. 557 с.
70. Караганов С. Вперед к Великому океану // *Российская газета*. Федеральный выпуск. 2014. № 192. URL: <https://rg.ru/2014/08/26/usilenie.html> (дата обращения: 01.04.2020).

71. Лаженцев В.Н. Север России: вопросы пространства и территориального развития. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2015. 174 с.
72. Schulten S. A history of America in 100 maps. Chicago: Univ. of Chicago Press, 2018. 256 p.
73. Сибирь как мегарегион: сущность и динамика / ред. В. И. Супрун. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. 159 с.
74. Сибирь как мегарегион: параметры и цели / ред. В. И. Супрун. Новосибирск: ФСПИ «Трендъ», 2018. 192 с.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА ВЫГОД И ИЗДЕРЖЕК

1. Boardman A., Greenberg D., Vining A., Weiner D. Cost-benefit analysis: concept and practice, 4th ed. New York: Cambridge Univ. Press, 2018. 594 p.
2. Вебер М. Хозяйство и общество: очерки понимающей социологии: пер. с нем. В 4 т. Москва: Изд. дом Высшей шк. экономики, 2016.
3. Soames S. The world philosophy made. From Plato to the digital age. New Jersey: Princeton Univ. Press, 2019. 439 p.
4. Moore B. N. Moral philosophy: a comprehensive introduction. Mountain View: Mayfield Publ. Comp., 1994. 660 p.
5. Adler D. M., Posner A. E. New foundation of cost-benefit analysis. Cambridge: Harvard Univ. Press, 2007. 236 p.
6. Coryn C. L. S., Wilson L. N., Westine C. D., Hobson K. A., Ozeki S., Fiekowsky E. L., Greenman G. D., Schröter D. C. A Decade of research on evaluation: A systematic review of research on evaluation published between 2005 and 2014 // American Journal of Evaluation. 2017. Vol. 38, № 3. P. 329–347.
7. Якобсон Л. И. Государственный сектор экономики. Экономическая теория и политика: учеб. для вузов. Москва: Гос. ун-т Высшая шк. экономики, 2000. 367 с.
8. Новикова Т. С. Анализ общественной эффективности инвестиционных проектов. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2005. 282 с.
9. Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика.: учеб. пособие. 5-е изд., перераб. и доп. Москва: ПолиПринтСервис, 2015. 1300 с.
10. Мельников Р. М. Оценка эффективности общественно значимых инвестиционных проектов методом анализа издержек и выгод: учеб. пособие. Москва: Проспект, 2016. 239 с.
11. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 № ВК 477). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28224/ (дата обращения: 01.04.2020).
12. Виленский П. Л., Коссов В. В., Лившиц В. Н., Смоляк С. А., Шахназаров А. Г. Системная оценка эффективности инвестиционных (инновационных) проектов. Москва: НИИ СП, 2010.
13. Данилов-Данильян В. И., Рейф И. Е. Биосфера и цивилизация. Москва: Энциклопедия, 2016. 432 с.
14. Boyd D. R. The rights of nature. A legal revolution that could save the world. Toronto: ECW Press, 2017. 280 p.

15. Roy R., Braathen N. The rising cost of ambient air pollution thus far in the 21st century: results from the BRICS and the OECD countries. Paris, 2017. 31 p. (OECD Environment working papers ; № 124).
16. Порфирьев Б. Н. Парадигма низкоуглеродного развития и стратегия снижения рисков климатических их изменений для экономики // Проблемы прогнозирования. 2019. № 2. С. 3–13.
17. Карачаровский В. В., Шкаратан О. И. Когда благо блгу рознь: две грани социального выбора // Социологические исследования. 2020. № 3. С. 27–39.
18. Frederick K. D., Berg van den T., Hanson J. Economic values of freshwater in the United States. Washington: Resources for the future, 1996. URL: <https://media.rff.org/documents/RFF-DP-97-03.pdf> (accessed 01.04.2020).
19. Stern N. The economics of climate change: The Stern Review. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. 712 p.
20. Valuing climate damages: updating estimation of the social cost of carbon dioxide / Nat. Acad. of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington: The Nat. Acad. Press, 2017. 280 p.
21. Nordhaus W. D. A review of the Stern Review on the economics of climate change // Journal of Economic Literature. 2007. Vol. 45, № 3. P. 686–702.
22. Государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики», 2013. URL: <https://sudact.ru/law/rasporyazhenie-pravitelstva-rf-ot-03042013-n-512-r/> (дата обращения: 01.04.2020).
23. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А. А. Макарова, Т. А. Митровой, В. А. Кулагина; ИНЭИ РАН-Моск. шк. упр. Сколково. Москва, 2019. 210 с.
24. Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики и трансформации общества в России. Перспективы до и после 2050 г. / под ред. И. А. Башмакова ; Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ). Москва, 2014. URL: <http://www.cenef.ru/file/2050.14.pdf> (дата обращения: 01.04.2020)..
25. Fiscal policies for Paris climate strategies – from principle to practice / Intern. Monetary Fund. Policy paper № 19/010. [S. 1.], 2019. 109 p.
26. Nordhaus W. D. Revisiting the social cost of carbon // PNAS. 2017. Vol. 114, № 7. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas>.
27. 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.
28. 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. Vol. 120. P. 600–609.
29. Discounting for time and risk in energy policy / ed. by R. C. Lind [et al.]. Washington: Resources for the Future Libr. Collection, 2011. 491 p.
30. Малган Д. Искусство государственной стратегии: мобилизация власти и знания во имя всеобщего блага. Москва: Изд-во Ин-та Гайдара, 2011. 472 с.
31. Mau S. The metric society. On the quantification of the social. Cambridge: Polity Press, 2019. 205 p.
32. Shiller R. J. Narrative economics. New Jersey: Princeton Univ. Press, 2019. 400 p.

33. Sovacool B. K., Dworkin M. H. *Global energy justice: problems, principles, and practice*. London: Cambridge Univ. Press, 2014. 432 p.
34. Клейнер Г. Б. Гуманистический менеджмент, социальный менеджмент, системный менеджмент – путь к менеджменту в XXI века // *Российский журнал менеджмента*. 2018. Т. 16, № 2. С. 231–252.
35. Полтерович В. М. Толерантность, сотрудничество и экономический рост // *Вопросы экономики*. 2017. № 11. Р. 33–49.
36. Мизес Л. фон. *Человеческая деятельность: трактат по экономической теории*: пер. с 3-го испр. англ. изд. Челябинск: Социум, 2005. 878 с.
37. Nordhaus T. What decades of failed forecasts say about clean energy and climate change // *Foreign Affairs*. 2016. Oct. 18. URL: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2016-10-18/back-energy-future> (accessed 01.04.2020).
38. Sachs J. Energy for the common good, June 18, 2018. URL: <http://jeffsachs.org/2018/06/energy-for-the-common-good/> (accessed 01.04.2020).
39. Sustain C. R. *The cost-benefit revolution*. Cambridge: MIT Press, 2018. XVIII, 266 p.
40. Patton M. Q. *Evaluation Science* // *American Journal of Evaluation*. 2018. P. 1–18.
41. Scriven M. Roadblocks to recognition and revolution // *American Journal of Evaluation*. 2016. Vol. 71, № 1. P. 27–44.
42. *The end of value-free economics* / ed. by H. Putnam, V. Walsh. London, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203154007>.
43. Adler M., Posner E. A. Happiness research and cost-benefit analysis // *The Journal of Legal Studies*. 2008. Vol. 37, № S2. P. S253–S292.
44. Лэйард Р. *Счастье: уроки новой науки*: пер. с англ. Москва: Изд-во Ин-та Гайдара, 2012. 416 с.
45. Клисторин В. И. Загадка общественных благ. Еще раз об экономических функциях государства // *ЭКО*. 2015. № 10. Р. 129–138.
46. Тамбовцев В. Л. Общественные блага и общественные интересы: есть ли связь? // *Вопросы экономики*. 2014. № 11. Р. 25–40.
47. Семенов Ю. И. О ценностях, оценках, истине и науке // *Вестник Московского университета. Серия 7, Философия*. 2014. № 3. С. 30–45.
48. Степанянц М. Т. Цены и ценности в эпоху глобализации // *Вопросы философии*. 2016. № 1. С. 43–50.
49. Galston W. A. The common good: theoretical content, practical utility // *Daedalus*. 2013. Vol. 142, № 2. P. 9–14.
50. Tirole J. *Economics for the common good*. New Jersey: Princeton Univ. Press, 2017. 564 p.
51. *Energy use: the human dimension* / Nat. Research Council. Washington: The Nat. Acad. Press, 1984. DOI: <https://doi.org/10.17226/9259>.
52. Mazzukato M. *The value of everything. Making and taking in the global economy*. New York: PublicAffairs, 2018. 312 p.
53. Fournier D. M. Establishing evaluation conclusions: a distinction between general and working logic // *New Directions for Evaluation*. 1995. № 68. P. 15–32.

ГЛАВА 3. ДОСТАТОЧНОСТЬ РЕСУРСОВ

1. Моррис И. Собиратели, земледельцы и ископаемое топливо. Как изменяются человеческие ценности: пер. с англ. Москва: Изд-во Ин-та Гайдара, 2017. 488 с.
2. Jefferson M. Energy realities or modelling: which is more useful in a world of internal contradictions? // *Energy Research & Social Science*. 2016. Vol. 22. P. 1–6.
3. Лада И. В., Писаржевский О. Н. Контуры грядущего. Москва: Знание, 1965. 380 с.
4. Конторович А. Э. Оценка мировых ресурсов нефти и прогноз ее добычи на XXI век // *Энергетическая политика*. 2008. № 6. С.18–22.
5. Мелких А. М. Из экономической жизни Западной Сибири. Москва: Тип. П. П. Рябушинского, 1912. 116 с.
6. Киселев Е. А., заместитель Министра природных ресурсов и экологии РФ, руководитель Федерального агентства по недропользованию. Геологические аспекты стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации. Презентация доклада. URL: https://www.vsegei.ru/ru/conf/summary/ggk17/18-04/18_04_2017_01.zip (дата обращения: 01.04.2020).
7. Галиев Ж. К., Галиева Н. В. Эффективность функционирования крупных угледобывающих предприятий // *Уголь*. 2019. № 6. С. 59–63.
8. Дюков оценил себестоимость добычи нефти в России S 3-5 за баррель // *Ведомости*. 2020. 15 марта. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/news/2020/03/15/825219-v> (дата обращения: 01.04.2020).
9. Открытый семинар «Анализ и прогноз развития отраслей топливно-энергетического комплекса» (семинар А. С. Некрасова), ИИП РАН, 2015. URL: <http://www.ecfor.ru/wp-content/uploads/seminar/energo/z157.pdf> (дата обращения: 01.04.2020).
10. Boersma T., Mitrova T., Typoltova J., Galkina A., Veselov F. The Role of Natural Gas in Europe's Electricity Sector through 2030 // *Research paper / SIPA Center on Gobar Energy Policy*. August 7, 2018. URL: https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/pictures/CGEP_NaturalGasInEuropeanPowerSector_August2018.pdf (accessed 01.04.2020).
11. Coal Classification Industry approach to hazard classification under the revised MARPOL Convention and the IMSBC Code. Report 3. Coal classification guidance / World Coal Association. 2014. URL: https://www.worldcoal.org/file_validate.php?file=Report%203%20Coal%20Classification%20Requirements.pdf (accessed 01.04.20).
12. Первая в Сибири – Томская центральная электрическая станция / сост.: А. И. Гитлиц, А. С. Заворин; под ред. А. С. Заворина. Томск: Томское кн. изд-во, 1994. 88 с.
13. Конторович А. Э., Эдер Л. В., Филимонова И. В., Никитенко С. М. Ключевые проблемы развития проекта «Сила Сибири» // *Регион: экономика и социология*. 2017. № 1. С. 190–212.
14. Ситуационно-аналитический центр (САЦ) Минэнерго России. Ситуация на объектах ТЭК. Справка-доклад 18 января 2019 г. «Об угрозе прекращения подачи газа на ТЭЦ в Хабаровском крае». URL: https://xn--80agflthakqd0d1e.xn--p1ai/map/pages/emergency_situations.aspx?mode=disaster&date=2020/04/17

15. Sidortsov R., Ivanova A., Stammer F. Localizing governance of systemic risks: a case study of the Power of Siberia pipeline in Russia // *Energy Research & Social Science*. 2016. Vol. 16. P. 54–68.
16. Постановление Правительства Республики Алтай от 13.03.2018 N 60 «О Стратегии социально-экономического развития Республики Алтай на период до 2035 года» // Сборник законодательства Республики Алтай. 2018. № 152 (158). С. 76.
17. Beyond the supercycle: how technology is reshaping resources / The McKinsey Global Institute (MGI). February 2017. URL: <https://www.oecd.org/dev/inclusivesocietiesanddevelopment/Session-4-Rebecca-Ross-MGI-Beyond-the-Supercycle-Full-report.pdf> (accessed 01.04.2020).
18. Плакиткин Ю. А., Плакиткина Л. С. Программы «Индустрия–4.0» и «Цифровая экономика Российской Федерации» – возможности и перспективы в угольной промышленности // *Горная промышленность*. 2018. № 1. С. 22.
19. Петлевой В. Больше половины запасов нефти «Сургутнефтегаза» оказались нерентабельными // *Ведомости*. 2019. 1 нояб. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2019/11/01/815318-surgutneftegaz> (дата обращения: 01.04.2020).
20. Шмат В.В. Нефтегазовый цугцванг. Очерки экономических проблем российского нефтегазового сектора. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2013. 505 с.
21. Шафраник Ю. К., Крюков В. А. Нефтегазовый сектор России: трудный путь к многообразию. Москва, 2016. 272 с.
22. Бюллетень Счетной палаты РФ, №3 (243), 2018. URL: <http://audit.gov.ru/upload/iblock/524/5243b144636e83413903a2fa3f467122.pdf> (дата обращения: 01.04.2020).
23. Аналитический доклад «Экономические и экологические проблемы развития российских угольных терминалов / Ин-т проблем естественных монополий. Москва, 2018. URL: http://ipem.ru/files/files/research/20181001_research_coal_terminals.pdf (дата обращения: 01.04.2020).
24. Попель О. С., Фортвов В. Е. Возобновляемая энергетика в современном мире ВИЭ: учеб. пособие. Москва: Изд. дом МЭИ, 2018. 450 с.
25. ГИС Возобновляемые источники энергии России URL: <http://gisre.ru/maps/sun-radiation/gor/gor-year> (дата обращения: 01.04.2020).
26. Zhenya Liu, Gesong Chen, Xiupeng Guan, Qiankun Wang, Wei He. A concept discussion on Northeast Asia power grid interconnection // *CSEE Journal of Power and Energy Systems*. 2016. Vol. 2, № 4. P. 87–93.
27. Brinkerinka M., ÓGallachóira B., Deanea P. A comprehensive review on the benefits and challenges of global power grids and intercontinental interconnectors // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol.107. P. 274–287.
28. Henderson J., Stern J. The potential impact on Asia gas markets of Russia’s Eastern gas strategy / *The Oxford Inst. for Energy Studies*. February 2014. URL: <https://ru.scribd.com/document/246799536/The-Potential-Impact-on-Asia-Gas-Markets-of-Russias-Eastern-Gas-Strategy-Henderson-Stern-Oxford> (accessed 01.04.2020).
29. *Routledge handbook of the resources* / ed. by R. Bleischwitz [at al.]. NewYork: Routledge, 2018. 518 p.
30. Плюснина В. В., Дальжинова И. А. Ангарский каскад: экологические последствия (2-я половина XX века). Улан-Удэ: Изд-во Бурят. ун-та, 2008. 144 с.

31. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2016 году» URL: http://fcprvhk.ru/wp-content/uploads/2018/01/2017_GosDoklad_VODA_26122017.pdf (дата обращения: 01.04.2020).
32. Speight G. J. Coal-fired power generation handbook. Massachusetts: Wiley & Sons Inc., 2013. 760 p.
33. Postel S. Replenish: the virtuous cycle of water and prosperity. Washington: Island Press, 2017. 336 p.
34. Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А., Бибикова Т. С., Зайцева И. С. Водообеспеченность и антропогенная нагрузка на водные ресурсы России в сравнении с другими странами // Вестник РФФИ. 2013. № 2. С. 64–72.
35. The United Nations world water development report 2020: water and climate change / UNESCO World Water Assessment Programme. [S. l.]: UNESCO, 2020. 219 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985.locale=en> (accessed 01.03.2020).
36. Tamavskii A.J. Environmental legislation and the struggle of the soviet community with the «Flow Reversal» Project // Journal of Environmental Law. 1990. Vol. 2, № 2. P. 153–159.
37. Василенко В. А. Обсуждение продолжается (о переброске части стока сибирских рек на юг) // ЭКО. 2008. № 9. С.19–36.
38. Китайские бизнесмены предложили построить водовод с Алтая в КНР // Газета РБК. 2018. 11 дек. (№ 218). С. 12–13.
39. Пишут, что китайский завод на Байкале угрожает экологии. Объясняем, почему вас обманули // Сноб. 2019. 18 марта. URL: <https://snob.ru/entry/174105/> (дата обращения: 01.03.2020).
40. Георгиади А. Г., Кашутина Е. А. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 5. С. 70–81.
41. Зафиксированы массовые случаи гибели птиц // Союз охраны птиц России. URL: http://www.rbcu.ru/news/21620/?sphrase_id=28450434 (дата обращения: 01.04.2020).
42. Mineral commodity summaries 2018. Virginia: U.S. Geological Survey. Reston, Virginia: 2018. 200 p. URL: <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2018.pdf> (accessed 02.04.2020).
43. Samsonov N. Yu., Tolstov A. V., Pokhilenko N. P., Krykov V. A., Khalimova S. R. Possibilities of Russian Hi-tech rare earth products to meet industrial needs of BRICS countries // African Journal of Science, Technology, Innovation and Development. 2017. Vol. 9, № 5. P. 637–644.
44. Spotlight on work statistics. Where are the jobs? ILO Department of Statistics. May, 2018. URL: https://ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---stat/documents/publication/wcms_629568.pdf (accessed 01.04.2020).
45. Wei M., Patadia S., Kammen D. Putting renewables and energy efficiency to work: how many jobs can the clean energy industry generate in the U.S.? // Energy Policy. 2010. Vol. 38. № 2. P. 919–931.
46. Montt G., Maître N., Amo-Agyei S. The transition in play: worldwide employment trends in the electricity sector. [S. l.]: International Labour Office, 2018. 26 p. (Research Department: working paper № 28). URL: https://ilo.userservices.exlibrisgroup.com/view/delivery/41ILO_INST/1252307640002676 (accessed 01.04.2020).

47. Sivaram V. Taming the Sun. Innovations to harness solar energy and power the planet. Cambridge, MA: MIT Univ. Press, 2018. 371 p.
48. Hacker J. The great risk shift: the new economic insecurity and the decline of the American dream. New York, Oxford Univ. Press, 2008. 227 p.
49. Митчелл Т. Углеродная демократия: политическая власть в эпоху нефти: пер. с англ. Москва: Дело, 2014. 408 с.
50. Встреча с руководителями угледобывающих регионов: Владимир Путин провел встречу с губернаторами и главами угледобывающих субъектов России // Президент России: сайт. 22 августа 2019. URL: <http://kremlin.ru/events/president/transcripts/61351> (дата обращения: 04.04.2020).
51. Дегтярев К. С. Состояние и территориальная организация фотовольтаической солнечной энергетики в России // Окружающая среда и энерговедение. 2019. № 1. С. 23–38.
52. Victor D. G., Yanosek K. The next energy revolution // Foreign Affairs. 2017. Vol. 96, № 4. P. 124–131.

ГЛАВА 4. ДОСТУПНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

1. Lester R. K., Hart D. M. Unlocking energy innovation: how America can build a low-cost, low-carbon energy system. Cambridge: MIT Press, 2011. 232 p.
2. Van Veelen B., Pinker A., Tingey M., Aiken G. T., Eadson W. What can energy research bring to social science? Reflections on 5 years of Energy Research & Social Science and beyond // Energy Research & Social Science. 2019. Vol. 57. P. 101–240.
3. Ленин В. И. Полное собрание сочинений. Том 42. Ноябрь 1920 – март 1921. Изд. 5-е., Москва: Политиздат, 1963. С. 159.
4. Уэллс Г. Россия во мгле: пер. с англ. Москва: Госполитиздат, 1958. 102 с.
5. Кембриджская экономическая история Европы Нового и Новейшего времени. Т. 2. 1870 – наши дни. Москва: Изд-во Ин-та Гайдара, 2013. 615 с.
6. Хохлов А., Мельников Ю. Угольная генерация: новые вызовы и возможности / Центр энергетики Моск. шк. управления Сколково. Москва, январь 2019. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEncC/Research/SKOLKO_VO_EncC_Coal_generation_2019.01.01_Rus.pdf.
7. Ситуационно-аналитический центр Минэнерго России. Справка-доклад о нарушении электроснабжения в Дальневосточном и Сибирском федеральных округах. 1 августа, 2017. URL: https://сацминэнерго.рф/map/pages/emergency_situations.
8. Кузнецов М. «Визуально генерации мало, но это самообман»: интервью с главой СГК М. Кузнецовым // Газета Коммерсантъ. № 204 от 01.11.2017. С. 10. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3454533>.
9. Shrivastava B., Singh R. K. Rich returns from poor women collecting debts // Bloomberg Businessweek. 2017. October 9. P. 18–19.
10. Газман В. Д. Преодоление стереотипов, связанных с возобновляемой энергетикой // Вопросы экономики. № 4. 2019. С. 124–136.
11. Brinkerink M., Gallachóir B., Deanea P. A comprehensive review on the benefits and challenges of global power grids and intercontinental interconnectors. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. Vol. 107. P. 274–287.

12. Ратнер С. В., Нижегородцев Р. М. Анализ опыта реализации проектов в области возобновляемой энергетики в России // Теплоэнергетика. 2017. № 6. С. 38–47.
13. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А. А. Макарова [и др.]; Ин-т энергет. исслед. Рос. акад. наук, Центр энергетики Моск. шк. управления Сколково. Москва, 2019. 210 с.
14. Nordhaus T. Written testimony to the U.S. House of Representatives Committee on Science, Space, and Technology. May 16, 2018. URL: https://s3.us-east-2.amazonaws.com/uploads.thebreakthrough.org/legacy/images/pdfs/Ted_Nordhaus_-_Written_Testimony.pdf.
15. Aklin M., Urpelainen J. Renewables: the politics of a global energy transition. Cambridge: MIT Press, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/11112.001.0001>.
16. Zhenya Liu, Gesong Chen, Xiupeng Guan, Qiankun Wang, Wei He. A concept discussion on Northeast Asia power grid interconnection // CSEE Journal of Power and Energy Systems. 2016. Vol. 2, № 4. P. 87–93.
17. Марченко О., Подковальников С., Савельев В., Соломин С., Чудинова Л. Россия в Евразийской электроэнергетической интеграции // Мировая экономика и международные отношения. 2018. Т. 62, № 6. С. 18–29.
18. Данилин И. В. Экономические дилеммы развития «умных сетей»: иллюзии, реалии и перспективы // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2017. Т. 8, № 2. С. 203–214.
19. O’Sullivan M. L. Windfall: How the new energy abundance upends global politics and strengthens America’s power. New York: Simon&Schuster, 2017. 479 p.
20. Дегтярев К. С. Состояние и территориальная организация фотовольтаической солнечной энергетики в России // Окружающая среда и энерговедение. 2019. № 1. С. 23–38.
21. Graetz M. J. The end of energy: the unmaking of America’s environment, security, and independence. Cambridge: The MIT Press, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/8653.001.0001>.
22. Чубайс А. Б. Реформа российской электроэнергетики: десять лет спустя // Вопросы экономики. 2018. № 8. С. 39–56.
23. Любимова Е. В. Электроэнергетика: экономические оттенки российских трендов // ЭКО. 2019. № 6. С. 102–114.
24. Joskow P. J. Comparing the costs of intermittent and dispatchable electricity generating technologies // American Economic Review: Papers & Proceedings. 2011. Vol. 100, № 3. P. 238–241.
25. Georgescu-Roegen N. The entropy law and the economic process. Cambridge: Harvard Univ. Press, 1971. 457 p.
26. IEA fossil-fuel subsidies database. 2017. URL: <http://www.iea.org/weo2017>.
27. Relative subsidies to energy sources: GSI estimates. 19 April 2010. URL: https://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/relative_energy_subsidies.pdf (accessed 01.04.20).
28. Merrill L., Gerasimchuk I., Sanchez L. Stories for Success for the Talanoa dialogue. Fossil fuel subsidy reform and taxation. March 2017. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/69_IISD%20Fossil%20fuel%20phase%20out%20and%20just%20transition%20stories%20for%20success.pdf.
29. О внесении изменений в части первую и вторую Налогового кодекса Российской Федерации в части стимулирования реализации региональных инвестиционных проектов на территории Дальневосточного федерального

- округа и отдельных субъектов Российской Федерации: федер. закон от 30 сент. 2013 г., № 267-ФЗ // Гарант. URL: <https://base.garant.ru/70461610/>.
30. World Bank. Russia's new capacity-based, renewable energy support scheme: an analysis of decree no. 449. Washington: World Bank Group, 2013. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/898211480317256904/Russia-s-new-capacity-based-renewable-energy-support-scheme-an-analysis-of-decree-no-449>.
 31. Зеленую энергетику отправят за границу // Газета Коммерсантъ. № 198 от 29.10.2018. С. 7. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3785026>
 32. Megachange. The world in 2050 / ed. by D. Franklin, J. Andrews. New Jersey: Wiley, 2012. 271 p.

ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЯ, КЛИМАТ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ

1. Моисеев Н. И. Избранные труды. В 2 т. Т. 2. Междисциплинарные исследования глобальных проблем. Публицистика и общественные проблемы. Москва: Тайдекс К°, 2003. 264 с.
2. Данилов-Данильян В. И., Рейф И. Е. Биосфера и цивилизация. Москва: Энциклопедия, 2016. 432 с.
3. Jeroen C. J. M. van den Bergh. Optimal climate policy is a utopia: from quantitative to qualitative cost-benefit analysis // Ecological Economics. 2004. Vol. 48, № 4. P. 385–393.
4. Gore A. Earth in the balance: ecology and the human spirit. New York: Plume, 1993. 407 p.
5. Energy and Air Pollution: World Energy Outlook special report. 2016 // IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-and-air-pollution> (accessed 01.04.2020).
6. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2018 г., Москва: Росгидромет, 2019. URL: <http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2018.pdf> (дата обращения: 01.04.2020).
7. Ежегодник «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2018 г.». Санкт-Петербург: Росгидромет, 2019. 250 с. URL: http://voeikovmgo.ru/images/stories/publications/2019/ejegodnik_zagr_atm_2018.pdf (дата обращения: 01.04.2020).
8. Integrated Science Assessment for particulate matter. 2018 // EPA. United States Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-particulate-matter> (дата обращения: 01.04.2020).
9. Ежегодник «Состояние загрязнения атмосферы ...». Санкт-Петербург: Росгидромет, 2019. 250 с. URL: http://voeikovmgo.ru/images/stories/publications/2019/ejegodnik_zagr_atm_2018.pdf (дата обращения: 01.04.2020).
10. О внесении изменений в некоторые постановления Правительства Республики Алтай: Постановление Респ. Алтай от 2 авг. 2012, № 202. URL: https://www.glavbukh.ru/npd/edoc/81_6713428 (дата обращения: 01.04.2020).
11. Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage. World Heritage Committee, Decisions adopted during the 42nd session of the World Heritage Committee. Forty-second session Manama, Bahrain, 24 June-4 July 2018 /

- UNESCO. URL: <https://whc.unesco.org/archive/2018/whc18-42com-18-en.pdf> (accessed 01.04.2020).
12. Roy R., Braathen N. The rising cost of ambient air pollution thus far in the 21st century: results from the BRICS and the OECD countries. Paris, 2017. 31 p. (OECD Environment working papers ; № 124).
 13. China 2030. Building a modern, harmonious, and creative society. Washington: World Bank, 2013. XXVI, 442 p. URL: <https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/China-2030-complete.pdf> (accessed 01.04.2020).
 14. Кокорин А., Поташников В. Глобальный низкоуглеродный тренд развития как движущая сила реализации Парижского соглашения // Экономическая политика. 2018. Т. 13, № 3. С. 234–255.
 15. Проверки должны занимать в деятельности все меньше и меньше места // Коммерсантъ № 19 от 04.02.2019. С. 1. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3873378?query=%D1%80%D0%B5%D0%B3%D1%83%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B2%D1%8C%D1%8E> (дата обращения: 01.04.2020).
 16. Прокуратура Кемеровской области – Кузбасс. Вынесено решение о возложении на предприятие обязанностей по очистке промышленных выбросов в воздух в г. Кемерово, 11.07.2018. URL: <https://procrf.ru/news/650248-vyineseno-reshenie-o-vozlozhenii.html> (дата обращения: 01.04.2020).
 17. Tirole J. Economics for the common good. New Jersey: Princeton Univ. Press, 2017. 563 p.
 18. Порфирьев Б. Н. Парадигма низкоуглеродного развития и стратегия снижения рисков климатических их изменений для экономики // Проблемы прогнозирования. 2019. № 2. С. 3–13.
 19. Fuller G. The invisible killer: the rising global threat of air pollution – and how we can fight back. Brooklin: Melville House, 2019. 304 p.
 20. Smedley T. Clearing the air: the beginning and the end of air pollution. [S. l.]: Bloomsbury Sigma, 2019. 320 p.
 21. Здоровье России: атлас / под ред. Л. А. Бокерия. 15-е изд. Москва: НИЦССХ, 2019. 474 с.
 22. Суслов В. И., Данилов В. В., Поляков П. В., Мельников А. Ю., Хлебопрос Р. Г. Социально значимые эколого-экономические проблемы Красноярска. Красноярск: Красноярский науч. центр СО РАН, 2017. 12 с.
 23. Бурматова О. П. Прогнозирование развития территориальных эколого-экономических систем с учетом формирования механизма управления: автореф. дис. д-ра экон. наук: 08.00.05. Новосибирск, 2018. 43 с.
 24. Борисов Г. О. Проблемы и перспективы развития энергетики Бурятии // ЭКО. 2018. Т. 48, № 10. С. 49–64.
 25. Халиулина В. В., Шабашева В. А., Шабашева С. В. Комплексный подход к повышению эффективности использования человеческого капитала в регионе // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2018. № 2. С. 152–156.

26. Тагаева Т. О. Анализ и прогнозирование последствий загрязнения водных и атмосферных ресурсов в России: автореф. дис. д-ра экон. наук: 08.00.05. Новосибирск, 2013. 36 с.
27. Fitzsimmons E. G. Wind energy company to pay \$1 million in bird deaths // *The New York Times*. 2013. Nov. 24. P. A23.
28. Соловьев А., Дегтярев К. Ветреная ветряная энергетика // *Наука и жизнь*. 2013. № 7. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/22733/> (дата обращения: 01.04.2020).
29. Matson J. Renewable Energy's Hidden Costs // *Scientific American*. 2013. Vol. 309, iss. 4. P. 100.
30. Otto A., Otto F. E. L., Boucher O., Church J. Energy budget constraints on climate response // *Nature Geoscience*. 2013. Vol. 6, № 6. P. 415–416.
31. Третий двухгодичный доклад, представленный в соответствии с решением 1/СР.16 Конференции Сторон Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Москва, 2017. 38 с.
32. Порфирьев Б. Н. «Зеленый» фактор экономического роста в мире и в России // *Проблемы прогнозирования*. 2018. № 5. С. 3–12.
33. Fiscal policies for Paris climate strategies – from principle to practice / *Intern. Monetary Fund. Policy paper* № 19/010. [S. 1.], 2019. 109 p.
34. Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики и трансформации общества в России. Перспективы до и после 2050 г. / под ред. И. А. Башмакова. Москва, 2014. 178 с.
35. Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России: коллективная моногр. / под науч. ред. С. Н. Бобылева [и др.]. Москва: Экон. фак. МГУ им. М. В. Ломоносова, 2019. 284 с.
36. Широков А. А., Колпаков А. Ю. Экономика России и механизмы глобального климатического регулирования // *Журнал Новой экономической ассоциации*. 2016. № 4. С. 87–110.
37. Resilience to climate change? A new index shows why developing countries will be most affected by 2050. A report by The Economist Intelligence Unit, 2019. URL: https://www.eiu.com/public/topical_report.aspx?campaignid=climatechange2019 (accessed 01.04.2020).
38. Schroder E., Storm S. Why “Green Growth” is an Illusion / *Inst. for New Economic Thinking*. URL: <https://www.ineteconomics.org/perspectives/blog/why-green-growth-is-an-illusion> (accessed 01.04.2020).
39. Общее собрание членов РАН. День первый. Прямая трансляция. 13 ноября 2018 г. Материалы портала «Научная Россия». URL: <https://scientificrussia.ru/articles/obshchee-sobranie-chlenov-ran-den-pervyy-pryamaya-translyatsiya> (дата обращения: 01.04.2020).
40. Бобылев С. Н. Устойчивое развитие: парадигма для будущего // *Мировая экономика и международные отношения*. 2017. Т. 61, № 3. С. 107–113.
41. Ross K., Seddon J. Curbing climate change and preventing deaths from air pollution go hand-in-hand // *World Resources Institute*, Oct., 29, 2018. URL: <https://www.wri.org/print/64389> (accessed 01.04.2020).

42. Lancet Commission on Health and Climate Change. October 19, 2017. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0) (accessed 01.04.2020).
43. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Особенности воздействия волн холода и жары на смертность в городах с резко-континентальным климатом // Сибирское медицинское обозрение. 2017. № 2. С. 84–90.
44. Oreskes N., Conway E. Merchants of doubt: how a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warning. NewYork: Bloomsbury Press, 2010. 355 p.
45. Farrell J. Corporate funding and ideological polarization about climate change // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2016. Vol. 113, № 1. P. 92-97. DOI: 10.1073/pnas.509433112.
46. Public Opinion on Global Issues. Chapter 5a: World Opinion on the Environment. November 30, 2011. URL: www.cfr.org/public_opinion (accessed 01.04.2020).
47. Фаворский О. Большое интервью с академиком Фаворским О. об энергетике // Энергосовет: портал по энергосбережению. 2018. URL: <http://www.energosovet.ru/news.php?zag=1522673166> (дата обращения: 01.04.2020).
48. Океан-диктатор климата // Эксперт. 2018. № 34. С. 46–51.
49. Ipsos, Climate Change Report, 2016. URL: https://www.ipsos.com/sites/default/files/2017-07/Climate-Report-2016_final.pdf (accessed 01.04.2020).
50. Глава Якутии: «глобальное потепление делает Якутию доступнее для многих проектов» // Ведомости. 2019. 28 мая. URL: <https://www.vedomosti.ru/politics/characters/2019/05/28/802694-glava-yakutii> (дата обращения: 01.04.2020).
51. «Зеленая» энергетика для Сибири: угроза во благо. 29 мая 2018 г. URL: <https://tayga.info/140698> (дата обращения: 01.04.2020).
52. Данные пресс-выпуска № 3425 ВЦИОМ (24 июля, 2017). URL: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=116325> (дата обращения: 01.04.2020).
53. Ахмедова М. Тулун: гидрометеорология и бесы // Русский репортер. 2019. № 13.
54. Ситуационно-аналитический центр Минэнерго России. Справка-доклад о нарушении электроснабжения в Иркутской области, Забайкальском крае и Республике Бурятия на 06-50 25 июня 2019 г. URL: https://www.xn--80agflthakqd0d1e.xn--p1ai/_layouts/download.aspx?SourceUrl=/emergency_info/0900000180afb187.pdf (дата обращения: 01.04.2020).
55. Россия в цифрах: крат. стат. сб. / Госкомстат России. Москва, 1998. 427 с.
56. Бюллетень Счетной палаты № 3 (март) 2019 г. URL: http://www.ach.gov.ru/activities/bulleten/bulletin-of-the-accounting-chamber-3-mar-2019.php?sphrase_id=10986511 (дата обращения: 01.04.2020).
57. Рябинина Т., Серебровская Е., Жукова А. Дым от пожаров в Сибири накрыл полстраны. Почему их не тушат? // Комсомольская правда. 30.07.2019. URL: <https://www.nsk.kp.ru/daily/27008/4070658/> (дата обращения: 01.04.2020).
58. О внесении изменений в Правила тушения лесных пожаров, утвержденных приказом Минприроды России от 8 июля 2014 г. № 313: приказ Минприроды России от 8 октября 2015 г. № 426. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420310212> (дата обращения: 01.04.2020)
59. Правительство Красноярского Края, комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности,

- решение №18 от 13.06.2019. URL: http://www.krskstate.ru/dat/bin/art/39134_rezenie_18.pdf (дата обращения: 01.04.2020)
60. Пожары по приказу // Эксперт. 2019. № 34. С. 48–51.
 61. Сасевич Ю. Пожары наступают // Коммерсантъ (Сибирь) № 143 от 13.08.2019. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4059793> (дата обращения: 01.04.2020).
 62. Yuqi Hu, Fernandez-Anez N., Smith T. E., Rein G. Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes // *International Journal of Wildland Fire*. 2018. Vol. 27. P. 293–312.
 63. Брюховецкий О. С., Дроздов Д. С., Лаухин С. А., Яшин В. П. О доле недропользования в накопленном экологическом ущербе арктической зоны Российской Федерации // *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2014. № 6. С. 59–63.
 64. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / Климатич. центр Росгидромета. Санкт-Петербург, 2017. 106 с.

ГЛАВА 6. ИННОВАЦИИ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

1. Skilton M., Hovsepian F. *The 4th Industrial Revolution*. Cham: Palgrave Macmillan, 2018. 322 p.
2. Mazzukato M. *The value of everything. Making and taking in the global economy*. New York: PublicAffairs, 2018. 384 p.
3. Lester K. R., Hart M. D. *Unlocking energy innovation: how America can build a low-cost, low-carbon energy system*. Cambridge: MIT Press, 2012. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/9216.001.0001> (accessed 01.04.2020).
4. Sovacool B. K., Jeppesen J., Bandsholm J., Asmussen J., Balachandran R., Vestergaard S., Anderson T. H., Sorensen T. K., Bjorn-Thygesen F. Navigating the “paradox of openness” in energy and transport innovation: insights from eight corporate clan technology research and development case studies // *Energy Policy*. 2017. Vol. 105. P. 236–245.
5. Пармон В. Н., Крюков В. А., Суслов В. И., Чурашев В. Н. Энергоресурсы Сибири – наука и институциональные инновации // *Энергетическая политика*. 2019. № 1. С. 78–93.
6. Smil V. *Energy and Civilization*. Cambridge: MIT Press, 2017. 568 p.
7. Новая индустриализация: драйверы и перспективы / под ред. В. И. Супруна. Новосибирск: ФСПИ «Тренд», 2016. 210 с.
8. Ленчук Е. Б. Курс на новую индустриализацию – глобальный тренд экономического развития // *Проблемы прогнозирования*. 2016. № 3. С. 132–143.
9. Индрисов Г. И. *Промышленная политика России в современных условиях*. Москва: Ин-т Гайдара, 2016. 160 с.
10. Дементьев В. Е. Об ориентирах промышленной политики // *Журнал Новой экономической ассоциации*. 2014. № 2 (22). С. 201–205.
11. Marsh P. *The New Industrial Revolution: consumers, globalization and the end of mass production*. New Haven: Yale Univ. Press, 2012. 311 p.
12. Шваб К. *Четвертая промышленная революция: пер. с англ.* Москва: Эксмо, 2016. 208 с.

13. Рифкин Дж. Третья промышленная революция: как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом: пер. с англ. Москва: Альпина нон-фикшн, 2014. 410 с.
14. Acemoglu D., Pascual R. The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares, and employment // *American Economic Review*. 2018. Vol. 108, № 6. P. 1488–1542. DOI: 10.1257/aer.20160696.
15. Бриньолфсон Э. Макафи Э. Вторая эра машин: пер. с англ. Москва: Изд-во АСТ, 2017. – 384 с.
16. Digitalization & Energy. Paris, IEA, 2017. URL: <https://doi.org/10.1787/9789264286276-en> (accessed 01.04.2020).
17. Цифровой переход в электроэнергетике России: экспертно-аналит. докл. / Центр стратегич. разработок; под общ. ред. В. Н. Княгина, Д. В. Холкина. Москва, 2017. 46 с. URL: https://www.csr.ru/uploads/2017/09/Doklad_energetika-Web.pdf (дата обращения: 01.04.2020).
18. Иванова Н. И. Инновационная политика: теория и практика // *Мировая экономика и международные отношения*. 2016. Т. 60, № 1. С. 5–16.
19. Иванов В. В. Инновационная парадигма XXI. 2-е изд., доп. Москва: Наука, 2015. 383 с.
20. Berger A., Tell F., Berggren C., Watson J. Technological capabilities and late shakeouts: industrial dynamics in the advantages gas turbine industry, 1987–2002 // *Industrial and Corporate Change*. 2008. Vol. 17, № 2. P. 335–392.
21. Суслов В. И., Горбачева Н. В., Кузнецов А. В., Фурсенко Н. О. Форсайт-исследование технологий угольной генерации энергии // *ЭКО*. 2011. № 4. С. 60–71.
22. Горбачева Н. Угольная генерация в условиях нового индустриального развития // *Мировая экономика и международные отношения*. 2016. Т. 60, № 6. С. 42–51.
23. Fan C., Zhang Z., Dong J., Xu W. China's R&D of advanced ultra-supercritical coal-fired power generation for addressing climate change // *Thermal Science and Engineering Progress*. 2018. Vol. 5. P. 364–371.
24. The Supercritical Transformational Electric Power (STEP) program. URL: <https://www.netl.doe.gov/coal/sco2> (accessed 01.04.2020).
25. 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. 280 p.
26. Дежина И. Г., Фролов А. С. Научно-технологическое обеспечение нефтедобычи в России: оценки компаний // *Инновации*. 2018. № 5. С. 54–61.
27. Тумановский А. Г., Ольховский Г. Г. Пути совершенствования угольных ТЭС России. *Электрические станции*. 2015. № 1. С. 67–73.
28. Чурашев В. Н., Маркова В. М. Остаться нельзя уйти: к вопросу о развитии угольной генерации в России. *ЭКО*. 2019. № 11. С. 63–93.
29. Инновационные технологии в энергетике / под общ. ред. Н. В. Клочковой. Иваново: Науч. мысль, 2011. 228 с.
30. Севастьянова А. Е. Формирование условий для инновационного развития регионов ресурсного типа // *Регион: экономика и социология*. 2016. № 1. С. 209–232.
31. Фортвов В. «Создателям законопроекта хочется что-то изменить и доложить»: Президент РАН Владимир Фортвов о настоящем и будущем российской науки: интервью // *Коммерсант*. № 167 от 16.09.2013. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/2280200> (дата обращения: 01.04.2020).

32. Hart D. M., Victor D. G. Scientific elites and the making of US policy for climate change research, 1957–1974 // *Social Studies of Science*. 1993. Vol. 23. P. 643–680.
33. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года: утв. 14 окт. 2016 / М-во энергетики РФ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456026524> (дата обращения: 01.04.2020).
34. Sivaram V. *Taming the sun. Innovations to harness solar energy and power the planet*. Cambridge: MIT Press, 2018. 371 p.
35. Ратнер С. В., Нижегородцев Р. М. Анализ опыта реализации проектов в области возобновляемой энергетике в России // *Теплоэнергетика*. 2017. № 6. С. 38–47.
36. Yeh S., Rubin E. S. A review of uncertainties in technology experience curves // *Energy Economics*. 2012. Vol. 34. P. 762–771.
37. Tain-Jy Chen. The development of China's solar photovoltaic industry: why industrial policy failed // *Cambridge Journal of Economics*. 2016. Vol. 40. P. 755–774.
38. Ostry S., Nelson R. R. *Techno-nationalism and techno-globalism. Conflict and cooperation* / The Brookings Institution. Washington, 1995. 132 p.
39. Ockwell D. G., Haum R., Mallett A., Watson J. Intellectual property rights and low carbon technology transfer: conflicting discourses of diffusion and development // *Global Environmental Change*. 2010. Vol. 20, № 4. P. 729–738.
40. Дятел Т. Зеленую энергетику отправят за границу // *Коммерсантъ*. № 198 от 29.10.2018. С. 7. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3785026> (дата обращения: 01.04.2020).

ГЛАВА 7. УПРАВЛЯЕМОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1. Williamson O. E. The Economics of Governance // *The American Economic Review*. 2005. Vol. 95, № 2. P. 1–18.
2. Моррис И. Собиратели, земледельцы и ископаемое топливо. Как изменяются человеческие ценности: пер. с англ. Москва: Изд-во Ин-та Гайдара, 2017. 490 с.
3. Ferguson N. *The square and the tower: networks and power, from the freemasons to Facebook*. New York: Penguin Press, 2018. XXVII, 566 p.
4. Mazur A. *Energy and electricity in industrial nations: the sociology and technology of energy*. New York: Routledge, 2013. 248 p.
5. Крюков В. А. Институциональные условия недропользования в России: результаты и следствия // *Регион: экономика и социология*. 2006. № 1. С. 72–93.
6. Клейнер Г. Б. Ресурсная теория системной организации экономики // *Российский журнал менеджмента*. 2011. Т. 9, № 3. С. 3–28.
7. Нуреев Р. М. *Россия: особенности институционального развития*. Москва: Норма: ИНФРА-М, 2015. 447 с.
8. Полтерович В. М. К общей теории социально-экономического развития. Часть 2. Эволюция механизмов координации // *Вопросы экономики*. 2018. № 12. С. 77–102.
9. Lange M., Wodon Q., Carey K. *The changing wealth of nations 2018: building a sustainable future*. Washington: World Bank, 2018. 255 p. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/29001/9781464810466.pdf?sequence=4&isAllowed=y> (accessed 01.04.2020).

10. Кондратьев В. Б. Международные рейтинги эффективности управления природными ресурсами // Ресурсная модель модернизации экономики: возможности и ограничения / В. Б. Кондратьев, П. А. Сергеев, В. К. Шульцева [и др.]. Москва, 2016. С. 210–226.
11. Сибирь в первые десятилетия XXI века / отв. ред. В. В. Кулешов. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2008. 788 с.
12. Крюков В. И. Ресурсная экономика в контексте регионального развития – взгляд ИЭОПП СО РАН // Пространственные исследования на Дальнем Востоке России: проблемы, результаты, перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф. (5 дек. 2017 г., Хабаровск). Хабаровск, 2018. С. 54–64.
13. Севастьянова А. Е., Токарев А. Н., Шмат В. В. Особенности применения концепции инклюзивного развития для регионов ресурсного типа // Регион: экономика и социология. 2017. № 1. 213–236.
14. Проскурякова Л. Н., Ермоленко Г. В. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. URL: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/uj7j4zggcc/direct/204700493> (дата обращения: 01.04.2020).
15. Дегтярев К. С. Состояние и территориальная организация фотовольтаической солнечной энергетики в России. Журнал «Окружающая среда и энерговедение». 2019. № 1. С. 23–38.
16. Митчелл Т. Углеродная демократия: политическая власть в эпоху нефти: пер. с англ. Москва: Дело, 2014. 408 с.
17. Aklın M., Urpeläinen J. Renewables. The politics of a global energy transition. Cambridge: MIT Press, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/11112.001.0001>.
18. Transparency in Corporate Reporting: assessing the Russia's largest companies. Transparency International, 2017. URL: <https://transparency.org.ru/special/trac2018russia/docs/report-en.pdf> (accessed 01.04.2020).
19. Luechinger S., Moser C. The value of the revolving doors: political appointees and the stock market // Journal of Public Economics. 2014. Vol. 119. P. 93–107.
20. Следствие запиталось от солнечных батарей // Коммерсантъ. № 195 от 24.10.2018. С. 4. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3779098> (дата обращения: 01.04.2020).
21. Вагнер А. «Через 10 лет ресурс теплосетей будет выработан на 98%»: интервью с гендиректором «Т Плюс» А. Вагнером // Ведомости. 2019. 19 нояб. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/characters/2019/11/20/816662-andrei-vagner> (дата обращения: 01.04.2020).
22. Главное – не идти в некупаемые проекты // Коммерсантъ. № 4 от 14.01.2020. С. 7. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4219684> (дата обращения: 01.04.2020).
23. Smil V. Energy and civilization. Cambridge: MIT Press, 2017. 564 с.
24. InfluenceMap. Who owns the world's fossil fuels? December 2018. URL: <https://influencemap.org/finance-map> (accessed 01.04.2020).
25. Обзор электроэнергетической отрасли России. Доклад консалтинговой компании Ernst&Young в России. 2018. URL: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-power-market-russia-2018/\\$File/EY-power-market-russia-2018.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-power-market-russia-2018/$File/EY-power-market-russia-2018.pdf) (дата обращения: 01.04.2020).

26. Smeets N. Similar goals, divergent motives. The enabling and constraining factors of Russia's capacity-based renewable energy support scheme // *Energy Policy*. 2017. Vol. 101. P. 138–149.
27. Boute A., Zhikharev A. Vested interests as driver of the clean energy transition: evidence from Russia's solar energy policy // *Energy Policy*. 2019. Vol. 133. P. 110–119.
28. Hall P. D. Philanthropy, the nonprofit sector & the democratic dilemma // *Daedalus*. 2013 Vol. 142, № 2. P. 139–158.
29. Ровинская Т. История «Зеленого движения» в США: опора на гражданское общество // *Мировая экономика и международные отношения*. 2017. Т.61, № 11. С. 43–56.
30. O'Neill M. *The Third America: the emergence of the nonprofit sector in the United States*. San Francisco: Jossey-Bass Publ., 1989. 215 p.
31. Ениколопов П. Новая филантропия // *Ведомости*. 2019. 28 окт. URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/columns/2019/10/29/814919-novaya-filantropiya> (дата обращения: 01.04.2020).
32. Шабунова А. А., Косыгина К. Е. Проблемы государственного управления развитием некоммерческого сектора на региональном уровне // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2019. Т. 12, № 4. С. 86–103.
33. Jakobson L. I., Toepler S., Mersianova I. V. Foundations in Russia: evolving approaches to philanthropy // *American Behavioral Scientists*. 2018. Vol. 62, № 13. P. 1844–1868.
34. Всё о лидерах 2018: по материалам проекта «Лидеры корпоративной благотворительности – 2018». URL: http://www.donorsforum.ru/wp-content/uploads/2018/12/Lider2018_web.pdf (дата обращения: 01.04.2020).
35. Giridharadas A. *Winners take all: the elite charade of changing the world*. New York: Alfred A. Knopf, 2018.
36. Нефтегазовый форум и роль общественных организаций // *Энергетическая политика*. 2018. №2. URL: <http://www.energystrategy.ru/editions/source/ep22018.html> (дата обращения: 01.04.2020).
37. Sidortsov R., Ivanova A., Stammmler F. Localizing governance of systemic risks: a case study of the power of Siberia pipeline in Russia // *Energy Research & Social Science*. 2016. Vol. 16. P. 54–68.
38. Kasperon R. E., Ram B. J. The public acceptance of new energy technologies // *Daedalus*. 2013. Vol. 142, № 1. P. 90–96.
39. Kramer A. E. It looks a lake made for Instagram. It's a dump for chemical waste // *The New York Times*. 2019. July 10.
40. Использование золотвала ТЭЦ-5 как объекта промышленного туризма возможно только при полном соблюдении требований безопасности // *Коммерсантъ (Сибирь)*. № 138 от 06.08.2019. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4052925> (дата обращения: 01.04.2020).
41. Енгоян О. З. Некоторые аспекты формирования и развития экологического движения на Алтае // *Социологические исследования*. 2012. № 1. С. 77–82.
42. Экспертный клуб Иркутска, круглый стол «Кто все-таки спасет Байкал – власти или общественность?». URL: <https://glagol38.ru/text/18-08-2019/mamont> (дата обращения: 01.04.2020).
43. *Rivers without Boundaries. Saving Transnational Rivers*. URL: <http://www.transrivers.org/> (дата обращения: 01.04.2020).

44. Petley D. Baikalsk: a horrifying example of a high risk waste storage facility in Russia. URL: <https://blogs.agu.org/landslideblog/2019/07/30/baikalsk-1/> (accessed 01.04.2020).
45. Balboa C. M. The paradox of scale. How NGOs build, maintain, and lose authority in environmental governance. Cambridge: MIT Press, 2018. 299 p.
46. Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации: утв. Указом Президента РФ № 216, 13 мая 2019 г. URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/14766/96941> (дата обращения: 01.04.2020).
47. O’Sullivan M. L. Windfall. How the new energy abundance upends global politics and strengthens America’s Power. New York: Simon & Schuster, 2017. 479 p.
48. Ланьшина Т. А., Баринаева В. А. Глобальное управление в сфере возобновляемой энергетики: международные тенденции и Россия // Вестник международных организаций. 2017. Т. 12, № 1. С. 110–126. DOI:10.17323/1996-7845-2017-01-110.
49. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / Климатич. центр Росгидромета. Санкт-Петербург, 2017. 106 с.
50. IRENA. A New World. The geopolitics of the energy transformation. 2019. URL: <http://geopoliticsofrenewables.org/Report> (accessed 01.04.2020).

АЛЬТЕРНАТИВЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ В СИБИРИ

1. Государство будет терять на льготах нефтяникам до 2,3 трлн рублей в год // Ведомости. 2019. 16 сент. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2019/09/15/811275-teryat-lgotah-neftyanikam> (дата обращения: 01.04.2020).
2. Montt G., Maître N., Amo-Agyei S. The transition in play: worldwide employment trends in the electricity sector. [S. l.]: International Labour Office, 2018. 26 p. (Research Department ; working paper № 28). URL: https://ilo.userservices.exlibrisgroup.com/view/delivery/41ILO_INST/1252307640002676 (accessed 01.04.2020).
3. Klimenko V. V., Klimenko A. V., Tereshin A. G., Mitrova T. A. Impact of climate changes on the regional energy balance and energy exports from Russia // Thermal Engineering. 2019. № 1. P. 7–20.
4. Коронакризис: влияние COVID-19 на ТЭК в мире и в России / Центр энергетики Моск. школы упр. Сколково. 2020. 65 с. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_COVID19_and_Energy_sector_RU.pdf (дата обращения: 01.04.2020).
5. Gornick V. From “Siberia” to Siberia // The Yale Review. 2007. Vol. 95, № 1. P. 40-59.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. МОНЕТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИБИРИ

1. Проектная экономика в условиях инновационного развития: модели, методы, механизмы / В. В. Кулешов [и др.]; отв. ред. Т. С. Новикова. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2013. 163 с.
2. Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. Москва: Дело АНХ, 2008. 160 с.
3. Adler D. M., Posner A. E. New foundation of cost-benefit analysis. Cambridge: Harvard Univ. Press, 2006. 256 p.
4. Cost-benefit analysis / ed. R. Layard, S. Glaister. 2nd ed. New York: Cambridge Univ. Press, 2003. 490 p.
5. Суслев В. И., Горбачева Н. В., Кузнецов А. В., Фурсенко Н. О. Форсайт-исследование технологий угольной генерации энергии // ЭКО. 2011. № 4. С. 60–71.
6. Обзор электроэнергетической отрасли России. Доклад консалтинговой компании Ernst&Young в России, 2018. URL: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-power-market-russia-2018/\\$File/EY-power-market-russia-2018.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-power-market-russia-2018/$File/EY-power-market-russia-2018.pdf) (дата обращения: 01.04.2020).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ТИП ЭНЕРГЕТИКИ И БЛАГОСОСТОЯНИЕ РЕГИОНОВ РОССИИ

1. Sovacool B. K., Dworkin M. H. Global energy justice: problems, principles, and practice. London: Cambridge Univ. Press, 2014. 432 p.
2. Lancet Commission on Health and Climate Change. October 19, 2017. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0) (дата обращения: 01.04.2020).
3. Макарова Т. В. Организационно-экономический механизм типологизации регионов РФ на основе социально-экономического потенциала // Вопросы управления. 2018. № 1. С. 31–37.
4. Ляпина И. Р. Классификация регионов России: «Результативность управления социально-экономическим развитием» как основание типологизации // Вестник Тамбовского университета. 2012. № 4. С. 54–63.
5. Сарычева Т. В. Классификация регионов по показателям развития рынка труда и занятости. // Вестник Чувашского университета. 2014. № 3. С. 207–213.

ПРИЛОЖЕНИЕ В. КОНТЕНТ-АНАЛИЗ ВЗГЛЯДОВ СУБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

1. Моррис И. Собиратели, земледельцы и ископаемое топливо. Как изменяются человеческие ценности: пер. с англ. Москва: Ин-т Гайдара, 2017. 490 с.
2. О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на оптовом рынке электрической энергии и мощности URL: <http://government.ru/docs/2121/> (дата обращения: 09.03.2020).
3. Новак А. Зачем Европе противогаз: интервью Министра А. Новака «Российской газете». URL: <https://minenergo.gov.ru/node/4431> (дата обращения: 09.03.2020).

4. Брызгунов И. Без иллюзий. Вся правда о перспективах российской ветроиндустрии: беседа с с главой Российской ассоциации ветроиндустрии (РАВИ) И. Брызгуновым // Энергетика и промышленность России. 2017. № 8. URL: <https://www.eprussia.ru/epr/316/3059208.htm> (дата обращения: 09.03.2020).
5. Алексеенко С. Какой должна быть завтрашняя российская энергетика. РБК. URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2018/11/23/5beed8569a79470d71856df5> (дата обращения: 09.03.2020).

ЛИТЕРАТУРА

- *Берлин И.* Подлинная цель познания. Избранные эссе: пер. с англ. Москва: Канон+, 2002. 800 с.
- *Борисов Г. О.* Проблемы и перспективы развития энергетики Бурятии // ЭКО. 2018. Т. 48, № 10. С. 49–64.
- *Бобылев С. Н.* Устойчивое развитие: парадигма для будущего // Мировая экономика и международные отношения. 2017. Т. 61, № 3. С. 107–113.
- *Бриньолфсон Э. Макафи Э.* Вторая эра машин: пер. с англ. Москва: Изд-во АСТ, 2017. – 384 с.
- *Брюховецкий О. С., Дроздов Д. С., Лаухин С. А., Яшин В. П.* О доле недропользования в накопленном экологическом ущербе арктической зоны Российской Федерации // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2014. № 6. С. 59–63.
- *Булатов А.М.* Об эффективности проектов «зеленой энергетики» в США // США & Канада. 2016. № 9. С. 103–117.
- *Бурматова О. П.* Прогнозирование развития территориальных эколого-экономических систем с учетом формирования механизма управления: автореф. дис. д-ра экон. наук: 08.00.05. Новосибирск, 2018. 43 с.
- *Василенко В. А.* Обсуждение продолжается (о переброске части стока сибирских рек на юг) // ЭКО. 2008. № 9. С.19–36.
- *Вебер М.* Хозяйство и общество: очерки понимающей социологии: пер. с нем. В 4 т. Москва: Изд. дом Высшей шк. экономики, 2016.
- *Велихов Е. П.* Энергетика в экономике мира XXI века // Труды МФТИ. 2011. Т. 3. № 4. С. 6–15.
- *Веселов Ф. В., Хоршев А. А., Ерохина И. В., Аликин Р. О.* Экономические вызовы для угольных электростанций в России и мире // Электрические станции. 2019. № 3. С. 2–8.
- *Виленский П. Л., Коссов В. В., Лившиц В. Н., Смоляк С. А., Шахназаров А. Г.* Системная оценка эффективности инвестиционных (инновационных) проектов. Москва: НИИ СП, 2010.

- *Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А.* Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика: учеб. пособие. 5-е изд., перераб. и доп. Москва: ПолиПринтСервис, 2015. 1300 с.
- *Власюк Л. И.* Прогнозирование экономики макрорегиона: Дальний Восток. Хабаровск: ИЭИ ДВО РАН, 2012. 207 с.
- *Газман В. Д.* Преодоление стереотипов, связанных с возобновляемой энергетикой // Вопросы экономики. 2019. № 4. С. 124–136.
- *Галиев Ж. К., Галиева Н. В.* Эффективность функционирования крупных угледобывающих предприятий // Уголь. 2019. № 6. С. 59–63.
- *Георгиади А. Г., Каишутина Е. А.* Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 5. С. 70–81.
- *Горбачева Н.* Угольная генерация в условиях нового индустриального развития // Мировая экономика и международные отношения. 2016. Т. 60, № 6. С. 42–51.
- *Горбачева Н. В.* Мегарегион Сибирь: энергетика и индустриализация в ретроспективе и перспективы реиндустриализации. // Идеи и идеалы. 2016. Т.1, № 1. С. 151–166.
- *Горбачева Н. В.* Динамика инновационной деятельности традиционной и возобновляемой энергетик. Сравнительный анализ. // Инновации. 2019. № 5. С. 35–45.
- *Горбачева Н. В.* Традиционная и возобновляемая электроэнергетика в условиях новой индустриализации: достаточность и доступность. // Энергия: экономика, техника, экология. 2020. № 3. С. 34–41.
- *Горбачева Н. В.* Управление возобновляемой энергетикой: мировой опыт и Сибирь. // Вопросы государственного и муниципального управления. 2020. № 2. С. 85–113.
- *Данилин И. В.* Экономические дилеммы развития «умных сетей»: иллюзии, реалии и перспективы // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2017. Т. 8, № 2. С. 203–214.
- *Данилов-Данильян В. И., Рейф И. Е.* Биосфера и цивилизация. Москва: Энциклопедия, 2016. 432 с.
- *Дегтярев К. С.* Состояние и территориальная организация фотовольтаической солнечной энергетики в России // Окружающая среда и энерговедение. 2019. № 1. С. 23–38.
- *Дежина И. Г., Фролов А. С.* Научно-технологическое обеспечение нефтедобычи в России: оценки компаний // Инновации. 2018. № 5. С. 54–61.
- *Дементьев В. Е.* Об ориентирах промышленной политики // Журнал Новой экономической ассоциации. 2014. № 2 (22). С. 201–205.
- Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / Климатич. центр Росгидромета. Санкт-Петербург, 2017. 106 с.
- *Донских О. А.* Сибирь – проблема формирования целостности мегарегиона // Идеи и идеалы. 2017. Т.1, № 1. С. 118–127.
- *Ермоленко Г.В.* Перспективы и особенности развития сетевой ветрогенерации в ценовых и неценовых зонах Российского энергетического рынка. Москва:

ИНЕРПАО, 2011. URL: <https://docplayer.ru/42574692-Perspektivy-i-osobennosti-razvitiya-setevoj-vetrogeneracii-v-cenovyh-i-necenovyh-zonah-rossiyskogo-energeticheskogo-rynka.html>

- Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики и трансформации общества в России. Перспективы до и после 2050 г. / под ред. И. А. Башмакова; Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ). Москва, 2014.
- Здоровье России: атлас / под ред. Л. А. Бокерия. 15-е изд. Москва: НИЦССХ, 2019. 474 с.
- Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России: коллективная моногр. / под науч. ред. С. Н. Бобылева [и др.]. Москва: Экон. фак. МГУ им. М. В. Ломоносова, 2019. 284 с.
- *Зубов В. И., Иноземцев В. Л.* Сибирское благословение. Москва: Аргамак-медиа, 2013. 190 с.
- *Иванова Н. И.* Национальные инновационные системы. Москва: Наука, 2002. 244 с.
- *Иванов В. В.* Инновационная парадигма XXI. 2-е изд., доп. Москва: Наука, 2015. 383 с.
- Имиджи Сибири / ред. В. И. Супрун. Новосибирск: ФСПИ «Тренды», 2008. 356 с.
- *Индрисов Г. И.* Промышленная политика России в современных условиях. Москва: Ин-т Гайдара, 2016. 160 с.
- Инновационные технологии в энергетике / под общ. ред. Н. В. Клочковой. Иваново: Науч. мысль, 2011. 228 с.
- *Исламов С. Р.* Частичная газификация угля. Москва: Горное дело, 2017. 384 с.
- *Катица С. П.* Общая теория роста человечества. Как рос и куда идет мир человека. 2-е изд. Москва, 2009. 120 с.
- *Каплан Р.* Месть географии. Что могут рассказать географические карты о грядущих конфликтах и битве против неизбежного: пер. с англ. Москва: КолЛибри, 2015. 383 с.
- *Карачаровский В. В., Шкаратан О. И.* Когда благо благу рознь: две грани социального выбора // Социологические исследования. 2020. № 3. С. 27–39.
- Кембриджская экономическая история Европы Нового и Новейшего времени. Т. 2. 1870 – наши дни. Москва: Изд-во Ин-та Гайдара, 2013. 615 с.
- *Клейнер Г. Б.* Ресурсная теория системной организации экономики // Российский журнал менеджмента. 2011. Т. 9, № 3. С. 3–28.
- *Клейнер Г. Б.* Гуманистический менеджмент, социальный менеджмент, системный менеджмент – путь к менеджменту в XXI века // Российский журнал менеджмента. 2018. Т. 16, № 2. С. 231–252.
- *Клиторин В. И.* Загадка общественных благ. Еще раз об экономических функциях государства // ЭКО. 2015. № 10. Р. 129–138.
- *Кондратьев В. Б.* Международные рейтинги эффективности управления природными ресурсами // Ресурсная модель модернизации экономики: возможности и ограничения / В. Б. Кондратьев, П. А. Сергеев, В. К. Шульцева [и др.]. Москва, 2016. С. 210–226.
- Континент Сибирь / ред. В. А. Крюков. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2020. 454 с.

- *Конторович А. Э.* Оценка мировых ресурсов нефти и прогноз ее добычи на XXI век // Энергетическая политика. 2008. № 6. С.18–22.
- *Конторович А.Э.* Основные положения стратегии освоения природного газа Восточной Сибири и Дальнего Востока // Регион: экономика и социология. 2009. № 2. С. 96–109.
- *Конторович А. Э., Эдер Л. В., Филимонова И. В., Никитенко С. М.* Ключевые проблемы развития проекта «Сила Сибири» // Регион: экономика и социология. 2017. № 1. С. 190–212.
- *Кокорин А., Поташиников В.* Глобальный низкоуглеродный тренд развития как движущая сила реализации Парижского соглашения // Экономическая политика. 2018. Т. 13, № 3. С. 234–255.
- *Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А., Бибикова Т. С., Зайцева И. С.* Водообеспеченность и антропогенная нагрузка на водные ресурсы России в сравнении с другими странами // Вестник РФФИ. 2013. № 2. С. 64–72.
- *Крюков В. А.* Институциональные условия недропользования в России: результаты и следствия // Регион: экономика и социология. 2006. № 1. С. 72–93.
- *Крюков В. А.* Ресурсная экономика в контексте регионального развития – взгляд ИЭОПП СО РАН // Пространственные исследования на Дальнем Востоке России: проблемы, результаты, перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф. (5 дек. 2017 г., Хабаровск). Хабаровск, 2018. С. 54–64.
- *Лада И. В., Писаржевский О. Н.* Контуры грядущего. Москва: Знание, 1965. 380 с.
- *Лажинцев В.Н.* Север России: вопросы пространства и территориального развития. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2015. 174 с.
- *Ланьшина Т. А., Барينوва В. А.* Глобальное управление в сфере возобновляемой энергетики: международные тенденции и Россия // Вестник международных организаций. 2017. Т. 12, № 1. С. 110–126. DOI:10&17323/1996-7845-2017-01-110
- *Ленин В. И.* Полное собрание сочинений. Том 42. Ноябрь 1920 – март 1921. Изд. 5-е. Москва: Политгиздат, 1963. С. 159.
- *Ленчук Е. Б.* Курс на новую индустриализацию – глобальный тренд экономического развития // Проблемы прогнозирования. 2016. № 3. С. 132–143.
- *Лэйард Р.* Счастье: уроки новой науки: пер. с англ. Москва: Изд-во Ин-та Гайдара, 2012. 416 с.
- *Любимова Е. В.* Возобновляемые энергоисточники Сибири: достигнутое и перспективы // Регион: экономика и социология. 2018. № 1. С. 250–270.
- *Любимова Е. В.* Электроэнергетика: экономические оттенки российских трендов // ЭКО. 2019. № 6. С. 102–114.
- *Макаров А. А.* Научно-технологические прогнозы развития энергетики России // Академия энергетики. 2009. № 2. С. 4–12.
- *Малган Д.* Искусство государственной стратегии: мобилизация власти и знания во имя всеобщего блага. Москва: Изд-во Ин-та Гайдара, 2011. 472 с.
- *Марченко О., Подковалников С., Савельев В., Соломин С., Чудинова Л.* Россия в Евразийской электроэнергетической интеграции // Мировая экономика и международные отношения. 2018. Т. 62, № 6. С. 18–29.

- *Марченко О. В., Соломин С. В., Козлов А. Н.* Возможности использования древесных отходов в энергетике России // *Экология и промышленность России.* 2019. Т. 23, № 6. С. 17–21.
- *Мелентьев Л. А.* Избранные труды. Методология системных исследований в энергетике. Москва: Наука, 1995. 302 с.
- *Мелких А. М.* Из экономической жизни Западной Сибири. Москва: Тип. П. П. Рябушинского, 1912. 116 с.
- *Мельников Р. М.* Оценка эффективности общественно значимых инвестиционных проектов методом анализа издержек и выгод: учеб. пособие. Москва: Проспект, 2016. 239 с.
- *Митчелл Т.* Углеродная демократия: политическая власть в эпоху нефти: пер. с англ. Москва: Дело, 2014. 408 с.
- *Мизес Л. фон.* Человеческая деятельность: трактат по экономической теории: пер. с 3-го испр. англ. изд. Челябинск: Социум, 2005. 878 с.
- *Моисеев Н. И.* Избранные труды. В 2 т. Т. 2. Междисциплинарные исследования глобальных проблем. Публицистика и общественные проблемы. Москва: Тайдекс К°, 2003. 264 с.
- *Моррис И.* Собиратели, земледельцы и ископаемое топливо. Как изменяются человеческие ценности: пер. с англ. Москва: Изд-во Ин-та Гайдара, 2017. 488 с.
- *Нефтегазовый форум и роль общественных организаций // Энергетическая политика.* 2018. № 2.
- *Новая индустриализация: драйверы и перспективы / под ред. В. И. Супруна.* Новосибирск: ФСПИ «Трендъ», 2016. 210 с.
- *Новикова Т. С.* Анализ общественной эффективности инвестиционных проектов. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2005. 282 с.
- *Нигматулин Р. И.* 4 Э нашей жизни: экология, энергетика, экономика, этнос. Москва: Литтерра, 2015. 112 с.
- *Нуреев Р. М.* Россия: особенности институционального развития. Москва: Норма: ИНФРА-М, 2015. 447 с.
- *Олейник А. Н.* Сбор, агрегирование и обработка качественных данных // *Социологические исследования.* 2014. № 5. С. 121–131.
- *Пармон В. Н., Крюков В. А., Суслов Н. И., Чурашев В. Н.* Энергоресурсы Сибири – наука и институциональные инновации // *Энергетическая политика.* 2019. № 1. С. 22–39.
- *Первая в Сибири – Томская центральная электрическая станция /сост.: А. И. Гитлиц, А. С. Заворин; под ред. А. С. Заворина.* Томск: Томское кн. изд-во, 1994. 88 с.
- *Плакицкий Ю. А., Плакицкая Л. С.* Программы «Индустрия-4.0» и «Цифровая экономика Российской Федерации» – возможности и перспективы в угольной промышленности // *Горная промышленность.* 2018. № 1. С. 22.
- *Плакицкая Л.С., Плакицкий Ю.А., Дьяченко К.И.* Мировые тенденции развития угольной отрасли // *Горная промышленность.* 2019. № 1. С. 24–29.
- *Плюснина В. В., Дальжинова И. А.* Ангарский каскад: экологические последствия (2-я половина XX века). Улан-Удэ: Изд-во Бурят. ун-та, 2008. 144 с.

- *Полтерович В. М.* Толерантность, сотрудничество и экономический рост // Вопросы экономики. 2017. № 11. С. 33–49.
- *Полтерович В. М.* К общей теории социально-экономического развития. Часть 2. Эволюция механизмов координации // Вопросы экономики. 2018. № 12. С. 77–102.
- *Попель О. С., Фортвов В. Е.* Возобновляемая энергетика в современном мире ВИЭ: учеб. пособие. Москва: Изд. дом МЭИ, 2018. 450 с.
- *Порфирьев Б. Н.* «Зеленый» фактор экономического роста в мире и в России // Проблемы прогнозирования. 2018. № 5. С. 3–12.
- *Порфирьев Б. Н.* Парадигма низкоуглеродного развития и стратегия снижения рисков климатических их изменений для экономики // Проблемы прогнозирования. 2019. № 2. С. 3–13.
- Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А. А. Макарова [и др.]; Ин-т энергет. исслед. Рос. акад. наук, Центр энергетики Моск. шк. управления Сколково. Москва, 2019. 210 с.
- Проектная экономика в условиях инновационного развития: модели, методы, механизмы / В. В. Кулешов [и др.]; отв. ред. Т. С. Новикова. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2013. 163 с.
- *Проскурякова Л. Н., Ермоленко Г. В.* Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. URL: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/uj7j4zggcc/direct/204700493>.
- *Ратнер С. В., Нижегородцев Р. М.* Анализ опыта реализации проектов в области возобновляемой энергетики в России // Теплоэнергетика. 2017. № 6. С. 38–47.
- *Ревич Б.А., Шапошников Д.А.* Особенности воздействия волн холода и жары на смертность в городах с резко-континентальным климатом // Сибирское медицинское обозрение. 2017. № 2. С. 84–90.
- *Рифкин Дж.* Третья промышленная революция: как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом: пер. с англ. Москва: Альпина нон-фикшн, 2014. 410 с.
- *Ровинская Т.* История «Зеленого движения» в США: опора на гражданское общество // Мировая экономика и международные отношения. 2017. Т.61, № 11. С. 43–56.
- Российское пограничье: вызовы соседства / В. А. Колосов. Москва: ИП Матушкина И. И., 2018. 562 с.
- *Севастьянова А. Е.* Формирование условий для инновационного развития регионов ресурсного типа // Регион: экономика и социология. 2016. № 1. С. 209–232.
- *Севастьянова А. Е., Токарев А. Н., Шмат В. В.* Особенности применения концепции инклюзивного развития для регионов ресурсного типа // Регион: экономика и социология. 2017. № 1. С. 213–236.
- *Семенов Ю. И.* О ценностях, оценках, истине и науке // Вестник Московского университета. Серия 7, Философия. 2014. № 3. С. 30–45.
- Сибирь в первые десятилетия XXI века / ред. В. В. Кулешов. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2008. 788 с.
- Сибирь как мегарегион: сущность и динамика / ред. В. И. Супрун. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. 159 с.

- Сибирь как мегарегион: параметры и цели / ред. В. И. Супрун. Новосибирск: ФСПИ «Трендъ», 2018. 192 с.
- *Степаняц М. Т.* Цены и ценности в эпоху глобализации // Вопросы философии. 2016. № 1. С. 43–50.
- Судьба континента Сибирь: проблемы развития. Экспертный дискурс: сб. статей / под ред. В. С. Ефимова. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. 188 с. URL: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/69459>.
- *Суслов В. И.* Взаимодействия макрорегионов России в стратегии экономического роста // Вестник НГУЭУ. 2017. № 4. С. 28–35.
- *Суслов В. И., Горбачева Н. В., Кузнецов А. В., Фурсенко Н. О.* Форсайт-исследование технологий угольной генерации энергии // ЭКО. 2011. № 4. С. 60–71.
- *Суслов В. И., Данилов В. В., Поляков П. В., Мельников А. Ю., Хлебоброс Р. Г.* Социально значимые эколого-экономические проблемы Красноярска. Красноярск: Красноярский науч. центр СО РАН, 2017. 12 с.
- *Тагаева Т. О.* Анализ и прогнозирование последствий загрязнения водных и атмосферных ресурсов в России: автореф. дис. д-ра экон. наук: 08.00.05. Новосибирск, 2013. 36 с.
- *Тамбовцев В. Л.* Общественные блага и общественные интересы: есть ли связь? // Вопросы экономики. 2014. № 11. Р. 25–40.
- Тихоокеанская Россия-2030: сценарное прогнозирование регионального развития / под ред. П. А. Минакира. Хабаровск: ДВО РАН, 2010. 557 с.
- Третий двухгодичный доклад, представленный в соответствии с решением 1/СР.16 Конференции Сторон Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Москва, 2017. 38 с.
- *Тумановский А. Г., Ольховский Г. Г.* Пути совершенствования угольных ТЭС России // Электрические станции. 2015. № 1. С. 67–73.
- *Тязунов М. Г.* Развитие энергетики возобновляемых источников на основе типовых гибридных комплексов в распределенных энергосистемах // Инноватика и экспертиза. 2012. № 2. С. 91–97.
- *Усс А. В., Иноземцев В. Л., Ваганов Е. В.* Макрорегион Сибирь: проблемы и перспективы развития. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 396 с.
- *Уэллс Г.* Россия во мгле: пер. с англ. Москва: Госполитиздат, 1958. 102 с.
- *Фортвов В. Е., Попель О. С.* Энергетика в современном мире. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 168 с.
- *Халиуллина В. В., Шабашева В. А., Шабашева С. В.* Комплексный подход к повышению эффективности использования человеческого капитала в регионе // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2018. № 2. С. 152–156.
- *Хохлов А., Мельников Ю.* Угольная генерация: новые вызовы и возможности / Центр энергетики Моск. шк. управления Сколково. Москва, январь 2019. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Coal_generation_2019.01.01_Rus.pdf.

- Цифровой переход в электроэнергетике России: экспертно-аналит. докл. / Центр стратегич. разработок; под общ. ред. В. Н. Княгина, Д. В. Холкина. Москва, 2017. 46 с.
- *Чубайс А. Б.* Реформа российской электроэнергетики: десять лет спустя // Вопросы экономики. 2018. № 8. С. 39–56.
- *Чурашев В. Н., Маркова В. М.* Остаться нельзя уйти: к вопросу о развитии угольной генерации в России // ЭКО. 2019. № 11. С. 63–93.
- *Шабунова А. А., Косыгина К. Е.* Проблемы государственного управления развитием некоммерческого сектора на региональном уровне // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2019. Т. 12, № 4. С. 86–103.
- *Шафраник Ю. К., Крюков В. А.* Нефтегазовый сектор России: трудный путь к многообразию. Москва: Перо, 2016. 272 с.
- *Шваб К.* Четвертая промышленная революция: пер. с англ. Москва: Эксмо, 2016. 208 с.
- *Широв А. А., Колпаков А. Ю.* Экономика России и механизмы глобального климатического регулирования // Журнал Новой экономической ассоциации. 2016. № 4. С. 87–110.
- *Шмат В.В.* Нефтегазовый цугцванг. Очерки экономических проблем российского нефтегазового сектора. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2013. 505 с.
- Энергетика России. XXI век. Принципы развития / авт.-ред. Ю. И. Сыроежина. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 719 с.
- Энергетический сектор в среднесрочной программе развития экономики России. Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ», 1997. 72 с.
- *Якобсон Л. И.* Государственный сектор экономики. Экономическая теория и политика: учеб. для вузов. Москва: Гос. ун-т Высшая шк. экономики, 2000. 367 с.

- *Acemoglu D., Pascual R.* The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares, and employment // *American Economic Review*. 2018. Vol. 108, № 6. P. 1488–1542. DOI: 10.1257/aer.20160696.
- *Adler M. D., Posner E. A.* New foundation of cost-benefit analysis. Cambridge: Harvard Univ. Press, 2007. 236 p.
- *Adler M. D., Posner E. A.* Happiness research and cost-benefit analysis // *The Journal of Legal Studies*. 2008. Vol. 37, № S2. P. S253–S292.
- *Aklin M., Urpelainen J.* Renewables. The politics of a global energy transition. Cambridge: MIT Press, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/11112.001.0001>.
- *Balboa C. M.* The paradox of scale. How NGOs build, maintain, and lose authority in environmental governance. Cambridge: MIT Press, 2018. 299 p.
- *Berger A., Tell F., Berggren C., Watson J.* Technological capabilities and late shakeouts: industrial dynamics in the advantages gas turbine industry, 1987–2002 // *Industrial and Corporate Change*. 2008. Vol. 17, № 2. P. 335–392.
- *Boardman A., Greenberg D., Vining A., Weiner D.* Cost-benefit analysis: concept and practice, 4th ed. New York: Cambridge Univ. Press, 2018. 594 p.
- *Boersma T., Mitrova T., Typoltova J., Galkina A., Veselov F.* The Role of Natural Gas in Europe's Electricity Sector through 2030 // *Research paper / SIPA Center on Global Energy Policy*. August 7, 2018. URL: https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/pictures/CGEP_NaturalGasInEuropeanPowerSector_August2018.pdf.
- *Bond K.* 2020 Vision: Why you should see the fossil fuel peak coming. September 2018. 41 p. URL: <https://carbontracker.org/reports/2020-vision-why-you-should-see-the-fossil-fuel-peak-coming/>.
- *Boute A., Zhikharev A.* Vested interests as driver of the clean energy transition: evidence from Russia's solar energy policy // *Energy Policy*. 2019. Vol. 133. P. 110–119.
- *Boyd D. R.* The rights of nature. A legal revolution that could save the world. Toronto: ECW Press, 2017. 280 p.
- *Brinkerink M., ÓGallachóira B., Deanea P.* A comprehensive review on the benefits and challenges of global power grids and intercontinental interconnectors // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 107. P. 274–287.
- *Brown L. R., Larsen J., Roney J. M., Adams E. E.* The great transition: shifting from fossil fuels to solar and wind energy. New York, 2015. XIV, 178 p.
- *China 2030. Building a modern, harmonious, and creative society.* Washington: World Bank, 2013. XXVI, 442 p. URL: <https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/China-2030-complete.pdf>.
- *Cost-benefit analysis / ed. R. Layard, S. Glaister.* 2nd ed. New York: Cambridge Univ. Press, 2003. 490 p.
- *Coryn C. L. S., Wilson L. N., Westine C. D., Hobson K. A., Ozeki S., Fiekowsky E. L., Green-man G. D., Schröter D. C.* A Decade of research on evaluation: A systematic review of research on evaluation published between 2005 and 2014 // *American Journal of Evaluation*. 2017. Vol. 38, № 3. P. 329–347.
- *Digitalization & Energy.* Paris, IEA, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264286276-en>.

- Discounting for time and risk in energy policy / ed. by R. C. Lind [et al.]. Washington: Resources for the Future Libr. Collection, 2011. 491 p.
- *Ebinger C. K., Banks J. P.* The electricity revolution. Report, the Energy Security Initiative (ESI), Brookings Institution, November 8, 2013. URL: <https://www.brookings.edu/research/the-electricity-revolution/>.
- Electricity Information 2018. Paris: OECD Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1787/electricity-2018-en>.
- Energy and Air Pollution: World Energy Outlook special report. 2016 // IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-and-air-pollution>.
- Energy use: the human dimension / Nat. Research Council. Washington: The Nat. Acad. Press, 1984. DOI: <https://doi.org/10.17226/9259>.
- *Epstein A.* The moral case for fossil fuels. New York: Penguin, 2014. 256 p.
- *Fan C., Zhang Z., Dong J., Xu W.* China's R&D of advanced ultra-supercritical coal-fired power generation for addressing climate change // Thermal Science and Engineering Progress. 2018. Vol. 5. P. 364–371.
- *Farrell J.* Corporate funding and ideological polarization about climate change // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2016. Vol. 113, № 1. P. 92–97. DOI: 10.1073/pnas.509433112.
- *Ferguson N.* The square and the tower: networks and power, from the freemasons to Facebook. New York: Penguin Press, 2018. XXVII, 566 p.
- Fiscal policies for Paris climate strategies – from principle to practice / Intern. Monetary Fund. Policy paper № 19/010. [S. l.], 2019. 109 p.
- *Fournier D. M.* Establishing evaluation conclusions: a distinction between general and working logic // New Directions for Evaluation. 1995. № 68. P. 15–32.
- *Fuller G.* The invisible killer: the rising global threat of air pollution – and how we can fight back. Brooklin: Melville House, 2019. 304 p.
- *Galston W. A.* The common good: theoretical content, practical utility // Daedalus. 2013. Vol. 142, № 2. P. 9–14.
- *Georgescu-Roegen N.* The entropy law and the economic process. Cambridge: Harvard Univ. Press, 1971. 457 p.
- *Giridharadas A.* Winners take all: the elite charade of changing the world. New York: Alfred A. Knopf, 2018. 304 p.
- *Gorbacheva N.V., Sovacool B.K.* Pain Without Gain? Reviewing the Risks and Rewards of Investing in Russian Coal-Fired Electricity. // Applied Energy. 2015. Vol. 154. P. 970–98.
- *Gore A.* Earth in the balance: ecology and the human spirit. New York: Plume, 1993. 407 p.
- *Gornick V.* From “Siberia” to Siberia // The Yale Review. 2007. Vol. 95, № 1. P. 40–59.
- *Graetz M. J.* The end of energy: the unmaking of America's environment, security, and independence. Cambridge: MIT Press, 2011. 369 p.
- *Hacker J.* The great risk shift: the new economic insecurity and the decline of the American dream. New York: Oxford Univ. Press, 2008. 227 p.
- *Hall P. D.* Philanthropy, the nonprofit sector & the democratic dilemma // Daedalus. 2013. Vol. 142, № 2. P. 139–158.

- *Hart D. M., Victor D. G.* Scientific elites and the making of US policy for climate change research, 1957–1974 // *Social Studies of Science*. 1993. Vol. 23. P. 643–680.
- *Henderson J., Stern J.* The potential impact on Asia gas markets of Russia's Eastern gas strategy / The Oxford Inst. for Energy Studies. February 2014. URL: <https://ru.scribd.com/document/246799536/The-Potential-Impact-on-Asia-Gas-Markets-of-Russias-Eastern-Gas-Strategy-Henderson-Stern-Oxford>.
- *Hojckov K., Sanden B., Ahlborg H.* Three electricity futures: monitoring the emergence of alternative system architectures. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.12.004>.
- IRENA. A New World. The geopolitics of the energy transformation. 2019. 88 p.
- *Jakobson L. I., Toepfer S., Mersianova I. V.* Foundations in Russia: evolving approaches to phi-lanthropy // *American Behavioral Scientists*. 2018. Vol. 62, № 13. P. 1844–1868.
- *Jefferson M.* Energy realities or modelling: which is more useful in a world of internal contradictions? // *Energy Research & Social Science*. 2016. Vol. 22. P. 1–6.
- *Jeroen C. J. M. van den Bergh.* Optimal climate policy is a utopia: from quantitative to qualitative cost-benefit analysis // *Ecological Economics*. 2004. Vol. 48, № 4. P. 385–393.
- *Joskow P. J.* Comparing the costs of intermittent and dispatchable electricity generating technologies // *American Economic Review: Papers & Proceedings*. 2011. Vol. 100, № 3. P. 238–241.
- *Kasperson R. E., Ram B. J.* The public acceptance of new energy technologies // *Daedalus*. 2013. Vol. 142, № 1. P. 90–96.
- *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. Vol. 120. P. 600–609.
- *Lester K. R., Hart M. D.* Unlocking energy innovation: how America can build a low-cost, low-carbon energy system. Cambridge: MIT Press, 2012. 216 p. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/9216.001.0001>.
- *Luechinger S., Moser C.* The value of the revolving doors: political appointees and the stock market // *Journal of Public Economics*. 2014. Vol. 119. P. 93–107.
- *Marsh P.* The New Industrial Revolution: consumers, globalization and the end of mass production. New Haven: Yale Univ. Press, 2012. 311 p.
- *Mau S.* The metric society. On the quantification of the social. Cambridge: Polity Press, 2019. 205 p.
- *Mazur A.* Energy and electricity in industrial nations: the sociology and technology of energy. New York: Routledge, 2013. 248 p.
- *Mazur A.* The technical controversies over public policy. From fluoridation to fracking and climate change. New York: Routledge, 2018. 204 p.
- *Mazzukato M.* The value of everything. Making and taking in the global economy. New York: Public Affairs, 2018. 384 p.
- *Megachange.* The world in 2050 / ed. by D. Franklin, J. Andrews. New Jersey: Wiley, 2012. 271 p.
- *Montt G., Maître N., Amo-Agyei S.* The transition in play: worldwide employment trends in the electricity sector. [S. l.]: International Labour Office, 2018. 26 p. (Research Department; working paper № 28). URL: https://ilo.userservices.exlibrisgroup.com/view/delivery/41ILO_INST/1252307640002676.

- *Moore B. N.* Moral philosophy: a comprehensive introduction. Mountain View: Mayfield Publ. Comp., 1994. 660 p.
- National Research Council 2002. The drama of the commons. Washington: The Nat. Acad. Press. DOI: <https://doi.org/10.17226/10287>.
- *Nordhaus T.* What decades of failed forecasts say about clean energy and climate change // Foreign Affairs. 2016. Oct. 18. URL: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2016-10-18/back-energy-future>.
- *Nordhaus T.* Written testimony to the U.S. House of Representatives Committee on Science, Space, and Technology. May 16, 2018. URL: https://s3.us-east-2.amazonaws.com/uploads.thebreakthrough.org/legacy/images/pdfs/Ted_Nordhaus_Written_Testimony.pdf.
- *Nordhaus W. D.* A review of the Stern Review on the economics of climate change // Journal of Economic Literature. 2007. Vol. 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>.
- *Ockwell D. G., Haum R., Mallett A., Watson J.* Intellectual property rights and low carbon technology transfer: conflicting discourses of diffusion and development // Global Environmental Change. 2010. Vol. 20, № 4. P. 729–738.
- *O'Neill M.* The Third America: the emergence of the nonprofit sector in the United States. San Francisco: Jossey-Bass Publ., 1989. 215 p.
- *Oreskes N., Conway E.* Merchants of doubt: how a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warning. New York: Bloomsbury Press, 2010. 355 p.
- *Ostry S., Nelson R. R.* Techno-nationalism and techno-globalism. Conflict and cooperation / The Brookings Institution. Washington, 1995. 132 p.
- *O'Sullivan M. L.* Windfall: How the new energy abundance upends global politics and strengthens America's Power. New York: Simon & Schuster, 2017. 479 p.
- *Patton M. Q.* Evaluation Science // American Journal of Evaluation. 2018. P. 1–18.
- *Postel S.* Replenish: the virtuous cycle of water and prosperity. Washington: Island Press, 2017. 336 p.
- Resilience to climate change? A new index shows why developing countries will be most affected by 2050. A report by The Economist Intelligence Unit, 2019. URL: https://www.eiu.com/public/topical_report.aspx?campaignid=climatechange2019.
- Routledge handbook of the resources / ed. by R. Bleischwitz [at al.]. New York: Routledge, 2018. 518 p.
- *Roy R., Braathen N.* The rising cost of ambient air pollution thus far in the 21st century: results from the BRICS and the OECD countries. Paris, 2017. 31 p. (OECD Environment working papers ; № 124).
- *Samsonov N. Yu., Tolstov A. V., Pokhilenko N. P., Krykov V. A., Khalimova S. R.* Possibilities of Russian Hi-tech rare earth products to meet industrial needs of BRICS countries // African Journal of Science, Technology, Innovation and Development. 2017. Vol. 9, № 5. P. 637–644.
- *Schrag D. P.* Is shale gas good for climate change? // Daedalus. 2012. Vol. 141, № 2. P. 72–80.

- *Schulten S.* A history of America in 100 maps. Chicago: Univ. of Chicago Press, 2018. 256 p.
- *Scriven M.* Roadblocks to recognition and revolution // *American Journal of Evaluation*. 2016. Vol. 71, № 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. 280 p.
- *Shiller R. J.* Narrative economics. New Jersey: Princeton Univ. Press, 2019. 400 p.
- Siberian regional identity: self-perception, solidarity, or political claim? Russia's regional identities. The power of the provinces / ed. by E.W. Clowes [et al.]. London ; New York: Routledge, 2018. 308 p.
- *Sidortsov R., Ivanova A., Stammler F.* Localizing governance of systemic risks: a case study of the Power of Siberia pipeline in Russia // *Energy Research & Social Science*. 2016. Vol. 16. P. 54–68.
- *Sivaram V.* Taming the sun. Innovations to harness solar energy and power the planet. Cambridge: MIT Press, 2018. 371 p.
- *Skilton M., Hovsepian F.* The 4th Industrial Revolution. Cham: Palgrave Macmillan, 2018. 322 p.
- *Sloan G. R.* Geopolitics, geography, and strategic history. New York: Routledge, 2017. 270 p. DOI: 10.4324/9780203489482.
- *Smedley T.* Clearing the air: the beginning and the end of air pollution. [S. l.]: Bloomsbury Sigma, 2019. 320 p.
- *Smeets N.* Similar goals, divergent motives. The enabling and constraining factors of Russia's capacity-based renewable energy support scheme // *Energy Policy*. 2017. Vol. 101. P. 138–149.
- *Smil V.* Energy and civilization. Cambridge: MIT Press, 2017. 564 p.
- *Soames S.* The world philosophy made. From Plato to the digital age. New Jersey: Princeton Univ. Press, 2019. 439 p.
- *Sovacool B. K., Dworkin M. H.* Global energy justice: problems, principles, and practice. London: Cambridge Univ. Press, 2014. 432 p.
- *Sovacool B. K., Jeppesen J., Bandholm J., Asmussen J., Balachandran R., Vestergaard S., Anderson T. H., Sorensen T. K., Bjorn-Thygesen F.* Navigating the “paradox of openness” in energy and transport innovation: insights from eight corporate clan technology research and development case studies // *Energy Policy*. 2017. Vol. 105. P. 236–245.
- *Speight G. J.* Coal-fired power generation handbook. Massachusetts: Wiley & Sons Inc., 2013. 760 p.
- *Stern N.* The economics of climate change: The Stern Review. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. 712 p.
- *Sustain C. R.* The cost-benefit revolution. Cambridge: MIT Press, 2018. XVIII, 266 p.
- *Tain-Jy Chen.* The development of China's solar photovoltaic industry: why industrial policy failed // *Cambridge Journal of Economics*. 2016. Vol. 40. P. 755–774.
- *Tarnavskii A.J.* Environmental legislation and the struggle of the soviet community with the «Flow Reversal» Project // *Journal of Environmental Law*. 1990. Vol. 2, № 2. P. 153–159.
- The Encyclopedia Americana. Vol. 23. Intern. ed. New York: Americana Corp., 1964.

- The end of value-free economics / ed. by H. Putnam, V. Walsh. London, 2012. 240 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203154007>.
- The future of nuclear energy in a carbon-constrained world. An interdisciplinary MIT study, 2018. URL: <http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>.
- *Tirole J.* Economics for the common good. New Jersey: Princeton Univ. Press, 2017. 564 p.
- U.S. EPA. Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter (Final Report, 2019). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-19/188, 2019.
- Valuing climate damages: updating estimation of the social cost of carbon dioxide / Nat. Acad. of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington: The Nat. Acad. Press, 2017. 280 p.
- *Van Veelen B., Pinker A., Tingey M., Aiken G. T., Eadson W.* What can energy research bring to social science? Reflections on 5 years of Energy Research & Social Science and beyond // *Energy Research & Social Science*. 2019. Vol. 57. P. 101–240.
- *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.
- *Victor D. G., Yanosek K.* The next energy revolution // *Foreign Affairs*. 2017. Vol. 96, № 4. P. 124–131.
- *Wei M., Pataadia S., Kammen D.* Putting renewables and energy efficiency to work: how many jobs can the clean energy industry generate in the U.S.? // *Energy Policy*. 2010. Vol. 38. № 2. P. 919–931.
- *Williamson O. E.* The Economics of Governance // *The American Economic Review*. 2005. Vol. 95, № 2. P. 1–18.
- *Zhenya Liu, Gesong Chen, Xiupeng Guan, Qiankun Wang, Wei He.* A concept discussion on Northeast Asia power grid interconnection // *CSEE Journal of Power and Energy Systems*. 2016. Vol. 2, № 4. P. 87–93.
- *Yeh S., Rubin E. S.* A review of uncertainties in technology experience curves // *Energy Economics*. 2012. Vol. 34. P. 762–771.
- *Yuqi Hu, Fernandez-Anez N., Smith T. E., Rein G.* Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes // *International Journal of Wildland Fire*. 2018. Vol. 27. P. 293–312.
- 100% clean and renewable wind, water, and sunlight all-sector energy roadmaps for 139 countries of the world / M. Z. Jacobson [et al.] // *Joule* 2017. Vol. 1. P. 108–121. DOI: 10.1016/j.joule.2017.07.005.

Горбачева Н. В.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ВЫБОР СИБИРИ:
АНАЛИЗ ВЫГОД И ИЗДЕРЖЕК**

Дизайн обложки: *С.С. Александров*
Редактор *Т.А. Дементьева*
Компьютерная верстка: *А.С. Скринников*

Издательство ИЭОПП СО РАН
Адрес: 630090, г. Новосибирск,
проспект Академика Лаврентьева, 17.
Телефон: +7-383-330-0530 Факс: +7-383-330-2580
E-mail: ieie@ieie.nsc.ru, www.ieie.su

Подписано в печать 20.04.2020
Формат 60x84/16. Гарнитура Times New Roman.
Усл.печ.л. 17,44. Тираж 500 экз. Изд. №1355.

Отпечатано в типографии «Манускрипт»
630060, г. Новосибирск, ул. Зеленая горка, 1/14.
Тел./факс: (383) 306-41-81
3064181@mail.ru www.manu-nsk.ru