

2019
№1(1)

Окружающая среда и энергостудение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703
(Online)

Окружающая среда и энергосбережение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)

2019 №1(1)

Научный, образовательный, культурно-просветительский сетевой журнал
Scientific, educational, cultural and educational network Journal

Основан в 2018 году,
1-й номер вышел в январе 2019 г.
Выходит четыре раза в год
при научно-информационной поддержке
Географического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова.

Founded in 2018,
The 1st issue was released in January 2019.
Published four times a year with scientific and
information support
Geographical faculty of Lomonosov Moscow
State University.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 74521 от 7 декабря 2018 г.

Индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU, Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка», Public Knowledge Project, Open Archives Initiative, OpenAIRE

Главный редактор

Залиханов Михаил Чоккаевич, д.г.н., профессор,
академик РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Зам. главного редактора

Соловьев Александр Алексеевич, д.физ.-мат.н.,
профессор, академик РИА (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Редакционная коллегия:

Безруких Павел Павлович, д.т.н., академик-секретарь
РИА (МЭИ)

Березкин Михаил Юрьевич, кандидат географических
наук, (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Бушуев Виталий Васильевич, д.т.н., профессор (ОИВТ
РАН).

Гулев Сергей Константинович, д.ф.-м.н., профессор,
член-корреспондент РАН (ИО РАН).

Дегтярев Кирилл Станиславович, (МГУ им. М. В. Ломоно-
сова).

Добролюбов Сергей Анатольевич, д.г.н., профессор,
член-корреспондент РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Зайченко Виктор Михайлович, д.т.н., профессор (ОИВТ
РАН).

Залиханов Алим Михайлович, кандидат географических
наук, (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Киселева Софья Валентиновна, к.физ.-мат. н. (МГУ им. М.
В. Ломоносова).

Красовская Татьяна Михайловна, д.г.н., профессор (МГУ
им. М. В. Ломоносова).

Моргунова Мария Олеговна, к.э.н. (KTH Royal Institute of
Technology, Sweden).

Нигматулин Роберт Искандрович, д.ф.-м.н., профессор,
академик РАН (ИО РАН).

Тикунцов Владимир Сергеевич, д.г.н., профессор (МГУ им.
М. В. Ломоносова).

Показеев Константин Васильевич, д.физ.-мат.н., профес-
сор (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Адрес редакции:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, к. 19, НИЛ
возобновляемых источников энергии географического
факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

Тел./ факс +7 (499) 939-42-57

e-mail: info@jeees.ru

Официальный сайт журнала

http://jeees.ru

Окружающая

среда и энерговедение. 2019 №1(1)

Научный, образовательный, культурно-просветительский
сетевой журнал (периодическое сетевое издание)

Редактор К.С.Дегтярев

Корректор Д.А.Соловьев

Верстка М.Ю.Березкин

Перевод на английский язык

К.С.Дегтярев

Подписан в свет 01.03.2019.

Издатель:

Закрытое акционерное общество "Глобализация и
устойчивое развитие. Институт энергетической стратегии"
125009, г. Москва, Дегтярный переулок, д. 9, офис 011.

Тел./факс: +7 (495) 229-4241 доб. 224.

E-mail: guies@guies.ru.

Перепечатка или воспроизведение материалов
номера любым способом полностью или по частям
допускается только с письменного разрешения Издателя.

© Редакция журнала «Окружающая
среда и энерговедение», 2019

Государственный Рубрикатор НТИ России

(ГРНТИ): 37; 39; 44; 45

ISSN 2658-6703



9 772658 670003

Содержание

М.Ч. Залиханов	
Дорогие авторы и читатели!.....	4
A.A. Соловьев	
К методике дорожного картирования возобновляемой	
энергетики	5
V.V. Бушуев	
Основные положения форсайта развития электросетевого	
комплекса России на ближайшие 15 лет	11
E.N. Попова	
«Зеленые» сертификаты как правовое основание получения	
государственной помощи российскими	
предприятиями ВИЭ	17
K.C. Дегтярев	
Состояние и территориальная организация	
фотовольтаической солнечной энергетики в России	23
V.V. Акимова	
Солнечная энергетика в XXI веке: межсекторальные	
комплексы, трансформация территориальной структуры	39
L.O. Жигальская	
Экономико-географические особенности развития	
гидроэлектроэнергетики в Беларуси.....	51

Content

M.Ch. Zalikhanov	
Dear authors and readers!	4
A.A. Solovyev	
To the road mapping methodology of renewable energy	5
V.V. Bushuev	
The basic provisions of foresight development of the electric grid	
complex of Russia for the next 15 years	11
E.N. Popova	
"Green" certificates as a legal basis for obtaining state assistance	
by Russian RES enterprises	17
K.S. Degtyarev	
Development and location of solar photovoltaic power industry in	
Russia.....	23
V.V. Akimova	
Solar energy in the XXI century: intersectoral complexes, the	
transformation of the territorial structure	39
L.O. Zhigalskaya	
Economic and geographical features of the development of	
hydroelectric power industry in Belarus.....	51

Дорогие авторы и читатели!

Вышел в свет первый номер научного, образовательного, культурно-просветительского сетевого журнала «Окружающая среда и энерговедение». Выходу журнала предшествовала кропотливая работа редакции и редакционной коллегии, связанная с проработкой концепции издания, его государственной регистрацией, созданием специального Интернет-ресурса, сбором, рецензированием, редактированием и размещением научных публикаций.

В первом номере журнала опубликованы, посвященные проблематике в области актуальных проблем географического энерговедения. Все работы носят печать научной новизны, актуальности и самостоятельности. Отрадно, что среди авторов нашего нового журнала есть молодые начинающие исследователи – студенты, магистранты и аспиранты, которые на страницах своих статей делятся с научным миром результатами проделанных изысканий. Авторами первого номера также стали ученые, уже достигшие определенных успехов на научной ниве – это кандидаты наук, преподаватели вузов и эксперты в области различных отраслей знания. Всех их объединяет любовь к познанию процессов в энергетике и окружающей среде и стремление донести результаты своих исследований научному сообществу.

Перед нашим журналом стоят амбициозные задачи, направленные на развитие современного знания об окружающей нас природной среде, географии энергетических процессов и научного сотрудничества с использованием последних достижений в области инновационных технологий. Наш журнал открыт для интеллектуальных дискуссий и обмена мнениями по широкому кругу научных вопросов. Уверен, что электронный научно-образовательный журнал «Окружающая среда и энерговедение» станет интересной и содержательной площадкой для обсуждения актуальных вопросов, связанных с развитием современной науки. Приглашаю к активному сотрудничеству всех коллег из регионов России, стран ближнего и дальнего зарубежья.

Желаю всем авторам и читателям журнала творческих успехов в научных исследованиях и новых свершений! В добрый путь!

*С уважением, главный редактор,
Залиханов Михаил Чоккаевич*

21 января 2019 г.

УДК 620.92(075.8).

К МЕТОДИКЕ ДОРОЖНОГО КАРТИРОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А.А. Соловьев^а,

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: a.soloviev@geogr.msu.ru

Аннотация. В связи с реализацией «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» обсуждаются некоторые методологические подходы дорожного картирования применительно к планированию технологий возобновляемой энергетики в России. Предлагается уточнение алгоритмов для двух важнейших узлов дорожной карты технологий возобновляемой энергетики, имеющих прогноза динамики развития энергетики и географические карты различного пространственно-временного и параметрического назначения, которые в существующих системах дорожного картирования практически не используются.

Ключевые слова: дорожная карта, энергетика, ВИЭ, география

В арсенале средств планирования развития возобновляемых источников энергии, используются дорожные карты [1,2]. Замена традиционного планирования дорожным картированием обусловлена необходимостью адекватного учета диверсификации спроса и предложений на инновационные технологические разработки, а также способов преодоления технических, экономических, политических, социальных, экологических барьеров, возникающих на пути практической реализации идей [2].

Разработкам дорожных карт возобновляемой энергетики уделяется повышенное внимание исследователей, главным образом в США и Европы [3,4]. Дорожное картирование в нашей стране не очень распространенный инструмент планирования [5]. Это объясняется тем, что пока не сформированы унифицированные методологические подходы и аналитические алгоритмы дорожного картирования. Нет полной ясности относительно формата и структуры дорожных карт. Поэтому представляется актуальным обсуждение опыта разработки дорожных карт и рассмотрение некоторых принципиальных методологических

^а ORCID 0000-0002-4376-1120

подходов дорожного картирования применительно к планированию технологий возобновляемой энергетики в России.

В международной практике технологического планирования возобновляемых источников энергии выделяются следующие три этапа: подготовка исследования; собственно картирование; реализация дорожной карты. Одним из ключевых моментов начального этапа картирования является прогноз производства и потребления энергии всех видов энергоисточников (традиционных и возобновляемых) и сравнительные тренды технологий возобновляемых источников энергии.

Прогностический анализ динамики развития возобновляемых источников энергии, как правило, базируется на результатах многоаспектного междисциплинарного обсуждения. По результатам, которого создаются численные модели прогноза с многочисленными способами описания внутренних связей в различных системах потребителей энергии их взаимоотношений с внешней средой [6]. Качество прогнозов оказывается зависящим от интуиции специалистов и потому, в большинстве случаев, содержит значительные погрешности. Громоздкость математических расчетов, необходимость применения численных методов затрудняют проверку результатов и при наличии логических неточностей приводят к быстрой потере прогнозами своей актуальности.

Главным недостатком прогностических моделей, на результатах которых производится дальнейшее построение дорожных карт, с нашей точки зрения, является отсутствие функциональных соотношений аналитического типа, которые позволяли бы, не прибегая к трудоемким и длительным вычислениям производить непосредственное определение темпов потребления энергии, эффективности использования энергии по отдельным технологиям, допустимой интенсивности использования природных ресурсов. В работах последних лет нами развивается аналитический подход к оценкам прогноза развития возобновляемых источников энергии [7]. Для феноменологического описания временной динамики потребления энергии установлены уравнение энергетического состояния между скоростью потребления первичной энергии и численностью населения, в которые входит в качестве постоянного параметра для различных типов возобновляемых источников энергии предельно допустимое подушное ускорение энергопотребления $R = 0,5 \cdot 10^{-3}$ тут/чел · год².

Уравнение энергетического состояния предлагается использовать при составлении дорожных карт возобновляемых источников энергии. Для детализации структуры потребления энергии, производимой различными источниками энергии в рамках предлагаемого подхода, может быть использована дифференциальная форма записи уравнения энергетического состояния:

$$\left(\frac{\partial n}{\partial \tau}\right)_e = -\left(\frac{\partial e}{\partial \tau}\right)_n / \left(\frac{\partial e}{\partial n}\right)_\tau. \quad (1)$$

В уравнении (1) в качестве безразмерных величин фигурируют соответственно: e -скорость энергопотребления; n -численность; τ - обратное время, а также

коэффициент $\left(\frac{\partial e}{\partial n}\right)_r = C_r$, характеризующий величину, которую можно рассматривать как емкость источника энергии.

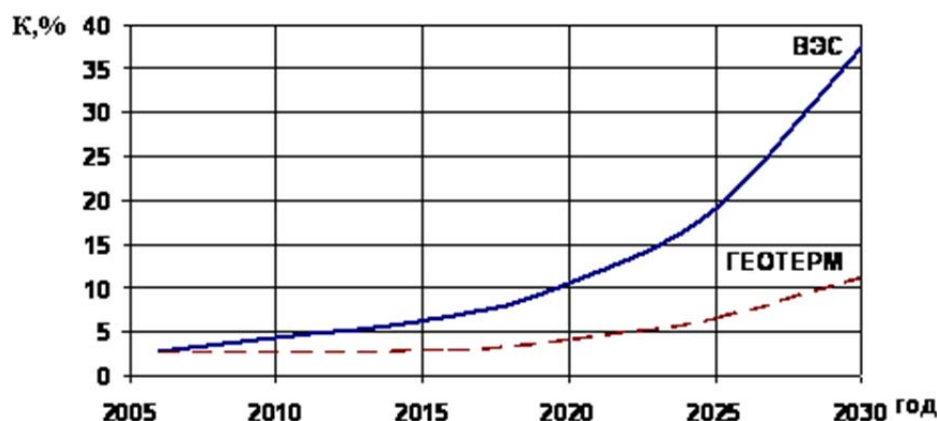


Рис. 1. Темп прироста числа пользователей энергии $K = \partial e / \partial t$ в %, произведенной ветровыми и геотермальными станциями России за год.

Под емкостью источника энергии понимается количество произведенной энергии, которое может быть использовано в процессе потребления, если число пользователей увеличивается на одного человека. По фактическим данным [8, 9] для российской энергетики с использованием уравнения (1) был произведен подсчет емкости различных источников возобновляемой энергии.

На рис. 1, выборочно, в виде трендов темпов годового прироста числа потребителей энергии, представлены результаты расчета для двух наиболее продвинутых технологий возобновляемой энергетики. Они свидетельствуют о том, что до 2030 года рост пользователей ветроэнергетических технологий будет заметно опережать темп нарастания потребителей энергии использующих продукцию геотермальных электростанций. Судя по временной динамике изменения потребителей, использующих энергию, производимую на основе двух значимых для отечественных нетрадиционных возобновляемых источников энергии, переход к фазе резкого роста можно ожидать, начиная с 2030 года. По-видимому, это будет происходить на основе результатов реализации инновационных подходов к принципам преобразования возобновляемой энергии.

К весьма важной составляющей дорожной карты возобновляемой энергетики, необходимой для получения адекватной картины развития технологии, относятся географические карты. В существующих системах дорожного картирования географические карты практически не используются. Методикам построения различных пространственно - временных карт, обосновывающих целесообраз-

ность использования различных технологий возобновляемой энергетики, обычно не уделяется должного внимания. Имеются в виду не только ресурсные географические карты потенциалов различных возобновляемых источников энергии. Для всестороннего планирования развития технологий возобновляемых источников энергии методами дорожного картирования, необходима серия географических карт, построенных для различных территорий с использованием большого числа разнообразных расчетных параметров.

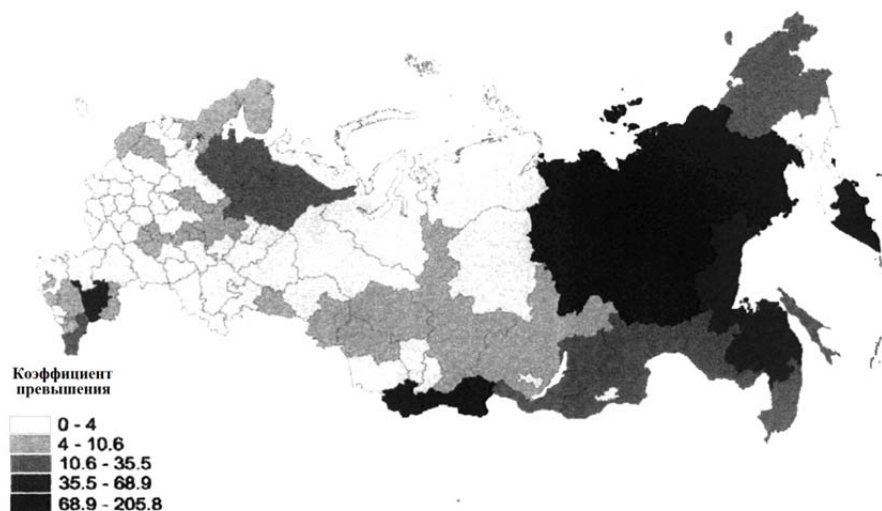


Рис. 2. Превышение потенциала возобновляемых энергоресурсов над значениями потребляемой энергии по регионам России [5].

В качестве таких параметров подлежащих картированию весьма показательными являются: коэффициенты отношения дефицита потребления энергии к потенциалу возобновляемых энергоресурсов; отношение количества энергии произведенной возобновляемыми источниками к потребляемой энергии; число, показывающее относительную величину энергии экспортируемой или импортируемой в другие территориальные образования по соотношению к энергии, потребляемой в регионе производителя энергии. В Московском университете разработаны методики географического картирования демонстрирующих степень территориальной и временной эффективности использования различных систем возобновляемой энергетики. Главная особенность этих методик, заключается в использовании прецизионных способов программной обработки комплекса данных, полученных от космических спутников и сети наземных станций природного и хозяйственного мониторинга. Для примера на рис.2 приведена карта коэффициента превышения ресурсной обеспеченности возобновляемой энергии по отношению к потребляемой электроэнергии по регионам Российской Феде-

рации. По результатам картографического районирования выделяются три группы регионов: ресурсно-дефицитные, ресурсно-сбалансированные и перспективного развития. Регионы перспективного развития - имеют наибольший потенциал использования технологий возобновляемой энергетики, в которых в ресурсе на порядок превышает потребности в энергии. В данную группу попадают регионы, как правило, богатые несколькими взаимодополняющими видами возобновляемых ресурсов и не имеющие мощной промышленной инфраструктуры, а так же небольшое население. Это, в частности, - Приморский край, Республика Бурятия, Калмыкия.

В статье только намечены основные направления уточнения формата дорожных технологических карт возобновляемой энергетики. Дальнейшие работы по повышению эффективности дорожных карт возобновляемой энергетики следует выполнять в направлении приближения их к инструментам управления с выработкой аналитических способов оценок имеющегося потенциала, риска угроз развития, созданием расчетных методик выбора оптимальных вариантов потенциальной рентабельности и ресурсной затратности.

Литература

1. Макки Ст. Практические инструменты для новых идей, 2007.
2. Безруких П.П., Стребков Д.С. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. М.: ГНУ ВИЕСХ РАСХН, 2005.
3. Makhijani A. Carbon-Free and Nuclear-Free: A Roadmap for U.S. Energy Policy.
4. Institute for Energy and Environmental Research, 2007.
5. Global Renewable Energy Roadmap, REMap 2030: IRENA (2014); www.irena.org/remap
6. Лидин К.Л. Многообразие построения дорожных карт, 2006.
7. Makarov A. A. Quality of Energy: Way to the Global Problem. // Proceedings of Summer School. CEES. Princeton.: University Press, 1990.
8. Соловьев А.А. Аналитические методы прогноза энергопотребления // Энергетическая политика. Вып.5, 2009, С.17-22.
9. Макаров А.А. Энергетика в XXI веке// Вестник РАН, 2009, Том 79, №4. - С. 291-308.
10. Бушуев В.В., Макаров А.А., Мастепанов А.М. Энергетика России. 1920-2020 гг. Том 2: Энергетическая политика на рубеже веков, ИД Энергия, 2010.

Reference

1. McKee Art. Practical tools for new ideas, 2007.
2. Bezrukikh PP, Strebkov DS Renewable energy: strategy, resources, technology. M.: GNU VIES RACHN, 2005.
3. Makhijani A. Carbon-Free and Nuclear-Free: A Roadmap for U.S. Energy Policy.
4. Institute for Energy and Environmental Research, 2007.
5. Global Renewable Energy Roadmap, REMap 2030: IRENA (2014); www.irena.org/remap
6. Lidin K.L. The variety of building road maps, 2006.
7. Makarov A. Quality of Energy: Way to the Global Problem. // Proceedings of Summer School. CEES. Princeton.: University Press, 1990.

8. Solovyov A.A. Analytical methods of energy consumption forecast // Energy policy. Issue 5, 2009, p.17-22.
9. Makarov A.A. Energy in the XXI Century // Bulletin of the Russian Academy of Sciences, 2009, Volume 79, №4. - p. 291-308.
10. Bushuev V.V., Makarov A.A., Mastepanov A.M. Energy of Russia. 1920-2020 Volume 2: Energy policy at the turn of the century, ID Energia, 2010.

TO THE ROAD MAPPING METHODOLOGY OF RENEWABLE ENERGY

A.A. Solovyev

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: a.soloviev@geogr.msu.ru

Abstract. In connection with the implementation of the “Energy Strategy of the Russian Federation for the period until 2030”, some methodological approaches to road mapping in relation to the planning of renewable energy technologies in Russia are discussed. It is proposed to refine the algorithms for the two most important nodes of the roadmap of renewable energy technologies, which have a forecast of the dynamics of energy development and geographical maps of various spatiotemporal and parametric purposes, which are almost not used in existing road mapping systems.

Keywords: road map, energy, renewable energy, geography

УДК 620.9 (470+571)

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ФОРСАЙТА РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ НА БЛИЖАЙШИЕ 15 ЛЕТ

В.В. Бушуев^aОбъединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН), 125412, Ижорская,
д.13/2, г. Москва, Россия

E-mail: vital@guies.ru

Аннотация. В статье тезисно представлены основные положения форсайта развития электросетевого комплекса России для обсуждения «Концепции ресурсно-инновационного развития страны на ближайшие 15 лет».

Ключевые слова: энергетика, ресурсно-инновационное развитие, новые вызовы, концептуальные положения.

1 Электросетевой комплекс России

Электросетевой комплекс России (ЭКР) – не только физическое объединение ВЛ, подстанций, генерирующих и нагрузочных центров, но и интеллектуальная инфраструктурная система как основа энергетического жизнеобеспечения и эффективной экономической интеграции регионов РА и сопредельных государств Евразии [1].

ЭКР представляет собой сетевую структуру Единой энергетической системы нового типа (ЕЭС-2.0), состоящей из физических, информационных и рыночных коммуникаций с учетом цифровизации технологических и экономических технологий. С учетом уникальной по протяженности территории России, а также различий экономического развития отдельных районов Европейской и Азиатской части страны их инфраструктурная интеграция представляет собой кольцеобразную ячеистую сеть межсистемных связей. На верхнем уровне физической интеграции – это «система сборных шин» из ВЛ СВН 500 – 750 кВ и узловых подстанций, к которым непосредственно присоединяются крупные генерирующие источники и территориально – промышленные комплексы

^a ORCID: 0000-0001-9288-4699

(ТРК), а также обоснованно сбалансированные по мощности региональные энергетические системы. Эта ЕЭС-2.0 соответствует закреплённому в Конституции РФ понятию «Федеральная энергетическая система» и находится как базовая инфраструктура страны в государственной собственности и управляется уполномоченными государством соответствующими органами (Минэнерго РФ и Минэкономки РФ – в плане инвестиционного развития и формирования налоговой и тарифной политики; ПАО «Россети» – в плане текущего и перспективного функционирования с обеспечением живучести энергетического объединения и эффективного (надёжного и экономически приемлемого) энергообеспечения потребителей соответствующего уровня оптового рынка, а также экономических интересов всех хозяйствующих субъектов энергетического бизнеса. Правила формирования оптового рынка, включая утверждение тарифов, а также общий контроль за их исполнением осуществляется государством (органами типа ФЭК). Этот же орган формирует предложения по инвестиционному обеспечению необходимого развития энергетики, в том числе и для обеспечения с помощью бюджетных финансовых источников, а также средств пайщиков – генерирующих компаний (крупных станций федерального значения) и финансовых владельцев ТПК.

2 Региональные энергетические системы

Региональные энергетические системы (РЭС) формируются по территориальному принципу с обеспечением самодостаточности энергоснабжения потребителей региона собственной генерацией и необходимыми резервами мощности и средствами цифровой автоматизации регулирования режимов и графика нагрузки, в том числе, с применением накопителей энергии различного вида (гидравлическими, электрохимическими, механическими и электромагнитными СПИН и др.). Инфраструктурное обеспечение функционирования и развития РЭС осуществляют МРСК как акционерные компании, капитал которых формируется за счёт долевого участия государства, представляющего интересы населения и социальной сферы в части их энергообеспечения, а также предприятий – энергопоставщиков и энергопотребителей. Формирование тарифов на региональном уровне осуществляется на договорной основе МРСК (и принадлежащими им энергоснабжающими структурами) и Союзом потребителей рынка, а контроль и арбитраж осуществляют региональные органы власти.

Региональные системы включают и системы децентрализованного энергоснабжения, согласуя условия их подключения к общим сетям, распределение резерва мощности между генерирующими источниками и потребителем, а также (при необходимости) общие правила управления режимами[2].

В условиях хозяйственной самостоятельности предприятий, а также в связи с «очаговым» характером энергообеспечения потребителей в зонах с малой плотностью нагрузки и энергосамообеспечения отдельных предприятий, а также резервирования энергопитания особо важных объектов и высокотехнологичных производств (отдельных частей ВПК, аэропортов, метро, больничных ком-

плексов и социальных предприятий, зон рекреации, банковских, информационных и т.п. объектов) особую роль приобретают т.н. автономные энергосистемы, принадлежащие местным органам власти или местным хозяйствующим структурам. Их деятельность (с точки зрения надежности и необходимости резервирования) регламентируется соответствующими нормативно-правовыми актами, а хозяйственно-финансовая самостоятельность обеспечивается самими владельцами). Вопросы ответственности за аварийные ситуации и меры по их ликвидации и предотвращению, а также необходимого режимного взаимодействия решаются на договорных условиях между МРСК и хозяйствующими субъектами.

3 Технологии блокчейна

Для обеспечения информационного и финансового взаимодействия поставщиков и потребителей энергии должны быть активно использованы технологии блокчейна, позволяющие реализовать открытый и недискриминационный доступ всех участников этих взаимоотношений к общей базе и общему рынку, предусматривающий автоматическую верификацию распределенных данных и информационную безопасность. С помощью открытого доступа всех участников рынка к общей информационной базе расчетов за энергетические услуги повысится ответственность сторон к обоснованности заявок на мощность и затрат на развитие и эксплуатацию энергетических систем. Важной формой удаленного взаимодействия контрагентов станет технология смарт – контрактов, а одной из возможных форм финансовых расчетов за потребленную электроэнергию может стать использование криптовалют как особой формы «энергетического рубля», обеспеченного реальным объемом предоставленных энергетических услуг и товаров. Целесообразно в будущем отказаться от платы за присоединенную мощность, включив соответствующие инвестиционные затраты в тариф на электроэнергию и поделив часть капитала, образованного за счет этих средств, между энергетическими компаниями и потребителями, профинансировавших эти расходы. Тем самым будет повышена заинтересованность потребителя в развитии их внешнего энергоснабжения или создании собственных генерирующих источников и систем бесперебойного питания.

«Розеточная» психология потребителей будет уступать место их самоответственности за собственное энергообеспечение и развитию их права на создание интегральных систем «потребитель – генератор».

4 «Цифровизация» энергетики

Решению многих из этих энергоинформационных и энергоэкономических задач в рамках единой системы (федерального, регионального и автономного уровня) будет способствовать «цифровизация» энергетики как инфраструктурной системы с различными потоками сигналов (силовых и информационных).

Вместе с тем необходимо не ограничиваться насыщением различных объектов и структур цифровой техникой, а существенное изменение структуры как самой энергетики, так и объектов управления ее элементами в рамках общей системы [3].

В техническом плане все объекты электроэнергетики с помощью соответствующего «цифрового» обеспечения должны приобрести новые функции – активной диагностики состояния оборудования, адаптации и самонастройки режимов работы и их систем управления. В системном плане важно внедрение расчетной дооценки режима и его прогнозирование в темпе процесса и даже с упреждением для своевременного выявления узких мест при ожидаемых неблагоприятных ситуациях с точки зрения возможного каскадного развития аварий и их предотвращения. При этом важен не сценарный подход к будущим ситуациям, а выявление общей динамики электромеханических и электромагнитных процессов в системе с помощью ее обобщенных энергетических функций, выявления бифуркационных точек и принятия необходимых мер по обеспечения структурной устойчивости и живучести энергообъединения. И эта задача должна решаться не только за счет технических самонастраивающихся систем управления режимами (типа адаптивного Статкома, гибких управляемых линий, САОН и регуляторов частоты и напряжения). Она должна на уровне ФЭС и РЭС решаться с использованием мер деления и автоматической реконфигурации (переключения) частей системы, использованием системных накопителей и вставок постоянного тока , агрегированных ресурсов потребителей для обеспечения нормальной работы системы в асинхронных режимах. Особо значение эти меры структурного управления играют для интегрированных межгосударственных систем, где нет места общему централизованному диспетчерскому управлению, а требуется безопасное и скоординированное децентрализованное (распределенное) управление.

5 Инфраструктурный синтез единой энергоинформационной системы

Массовое насыщение энергосистем новыми устройствами противоаварийной автоматики без их должной системной координации может дать и отрицательный эффект, в т.ч. и за счет нарушения условий кибербезопасности. Поэтому одной из важнейших задач устойчивости сложных систем является правильное распределение функций между их физическими и информационными элементами, и в первую очередь инфраструктурный синтез единой энергоинформационной системы[4]. На первый план выдвигается при этом главная задача структурного синтеза – как из элементов с ограниченными характеристиками надежности сформировать сверхнадежную систему. Решение этой задачи невозможно только в традиционных рамках программного управления в электроэнергетике – необходимо привлечение (и разработка новых методов и устройств) всего арсенала средств анализа предаварийных ситуаций и синтеза динамических информационных систем контроля и управления. В техническом

плане речь идет о широком использовании программно-замкнутых систем управления (с использованием обратных связей, обеспечивающих самонастройку систем автоматики). В организационном плане речь идет не только о создании коммуникаций нового типа «энерго-интернета/ИоЕ», а о формировании новой структуры - не иерархической системы диспетчерского управления, а о мультиагентном развитии новых форм совместного структурно-технологического управления эксплуатацией и развитием системы в виде диалоговых комплексов оценки и принятия решений. Эти новые формы должны быть сродни самым устойчивым среди эволюционирующих систем – гомеостатическим «живым» системам, с учетом специфики человеческого фактора в диспетчерском и ситуационном управлении электроэнергетическими объектами. По аналогии с внедрением бионических систем (когда в технические устройства закладывались принципы, по которым функционируют живые системы), сегодня в единых энергоинформационных системах должны быть активно использованы принципы когнитивного мышления и когнитивной (разумной) деятельности человека. Речь идет не о копировании отдельных функций по типу создания роботов), а осмысление творческой деятельности операторов, которые даже в нерасчетных и непредвиденных условиях умели находить нетривиальные решения и «спасать» систему от развала или скорейшим образом ее восстанавливать, запуская работу энергообъектов с нуля. Это тем более важно сейчас для реализации новой кадровой политики в энергетике, когда личный опыт специалистов – системщиков уступает место формальному запрограммированному действию киберспециалистов, зачастую не понимающих сути происходящих событий в энергетических установках и системах и уже только поэтому неспособных к принятию творческих решений.

Поэтому одной из актуальных задач является подготовка таких кадров, которые бы понимали суть энергоинформационных процессов в кибернетических энергосистемах и на основе когнитивной методологии мультиагентного управления были бы готовы к работе с такими системами. «Интеллектуальные» системы электроэнергетики и «интеллектуальные» сети – это не просто «цифровизация», а развитие энергетических (человеко-машинных энергоинформационных) систем, где определяющей становится роль человека – творца. Технологические и информационные методы управления при этом должны сочетаться с новыми формами организации сложных систем и создания «умных» зданий, предприятий и городов. Не выстраивание новых иерархий диспетчерского, информационного и экономического управления во взаимоотношениях «Системного оператора», региональных и федеральных электросетевых структур, органов рыночного и государственного управления, а развитие новых сетевых форм (с обратными связями) взаимодействия различных агентов управления в плане создания самоуправляемых и самоуправляющих структур ЕЭС-2.0, учитывающих интересы потребителей, государства и субъектов энергетического бизнеса.

6 Форсайт развития электросетевого комплекса

Целевое видение (форсайт) развития электросетевого комплекса как инфраструктурной основы электроэнергетики – это не разовая задача выбора приоритетных задач и направлений научного предвидения, системного проектирования, структурной реорганизации органов управления, а перманентное отслеживание и опережающее управление единым энерго-информационным и организационно-технологическим электросетевым комплексом и электроэнергетикой как основой жизнедеятельности общества и страны в целом на основе «коллективного разума» всех его участников[5].

В этой связи приоритет должен быть отдан не отдельным техническим или организационным новациям, а формированию стратегического видения и методологии решения новых задач, как уже проявленных в современных условиях, так и ожидаемых в будущем. Поэтому одной из приоритетных задач развития ЭКР должно стать принятие такого плана перспективных научно-технических и организационно-экономических работ, целью которого стала бы не авральное скоропалительное внедрение инновационных предложений различного вида, а своевременное формирование материальной, экономической и структурной базы, а также кадрового интеллектуального обеспечения для формирования и реализации приоритетов целевого стратегического видения развития электроэнергетики страны как инфраструктурной основы жизнедеятельности общества и ее адаптации к новому организационно - технологическому и социально – экономическому укладу.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках Госзадания ОИВТ РАН АААА-А16-116051810068-1.

Литература

1. Бушуев В.В., Первухин В.В., Соловьев Д.А. Энергетические истоки евразийской цивилизации. Москва: ИД «Энергия», 2018. 198 р.
2. Зайченко В.М., Чернявский А.А. Сравнение характеристик распределенных и централизованных схем энергоснабжения // Промышленная энергетика. Закрытое акционерное общество " Научно-техническая фирма" Энергопрогресс", 2016. № 1. Р. 2–8.
3. Шакарян Ю.Г., Новиков Н.Л., Новиков А.Н. Интеллектуальная система управления многоуровневой интеграцией генерирующих станций и потребителей // Энергетическая политика. 2017. № 6. Р. 71–83.
4. Бушуев В.В. ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ (избранные статьи, доклады, презентации 2014-2018 гг.) Том. 4. На пути к новой энергетической цивилизации. Москва: ИЦ «Энергия», 2018. 740 р.
5. Батенин В.М., Бушуев В.В., Воропай Н.И. Инновационная электроэнергетика – 21. Москва: ИЦ «Энергия», 2017. 584 р.

Reference

1. Bushuev V.V., Pervukhin V.V., Solovyev D.A. Energy sources of Eurasian civilization. Moscow: PH «Energy», 2018. 198 p.
2. Zaichenko V.M., Chernyavsky A.A. Comparison of characteristics of distributed and centralized power supply schemes // Industrial Energy. Closed joint-stock company "Scientific and technical firm" Energoprogress ", 2016. № 1. P. 2–8.
3. Shakaryan Yu.G., Novikov N.L., Novikov A.N. Intellectual control system of multi-level integration of generating stations and consumers // Energy policy. 2017. No. 6. P. 71–83.
4. Bushuev V.V. ENERGETICS OF RUSSIA (selected articles, reports, presentations 2014–2018) Vol. 4. On the way to a new energy civilization. Moscow: IC "Energy", 2018. 740 p.
5. Batenin V.M., Bushuev V.V., Voropay N.I. Innovative electric power industry - 21. Moscow: IC "Energy", 2017. 584 p.

THE BASIC PROVISIONS OF FORSIGHT DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC GRID COMPLEX OF RUSSIA FOR THE NEXT 15 YEARS

V.V. Bushuev

Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (JIHT RAS),
125412, Izhorskaya, 13/2, Moscow, Russia

E-mail: vital@guies.ru

Abstract. The article presents the main provisions of the foresight of the development of the electric grid complex of Russia to discuss the "Concept of resource-innovative development of the country for the next 15 years".

Keywords: energy, resource-innovative development, new challenges, conceptual provisions.

Acknowledgement. The study was performed in the framework of the State Mission of the Institute of High Temperatures RAS AAAA-A16-116051810068-1.

УДК 620.92

**«Зеленые» сертификаты как правовое основание
получения государственной помощи российскими
предприятиями ВИЭ**Е.Н. Попова^a

Université Côte d'Azur, Batiment M, 28 Avenue de Valrose 06108 Nice CEDEX 2, France

E-mail: e.popova@lenaslaw.com

Аннотация. В статье рассматривается система «зеленой» сертификации, как инструмент отбора государством предприятий ВИЭ для оказания им государственной помощи, а также учета количества таких предприятий и объемов производимой ими возобновляемой энергии.

Ключевые слова: зеленые сертификаты, ВИЭ, энергетика, экономика, государственная поддержка

Как следует из ряда стратегических законодательных документов в сфере энергетики, российская отрасль возобновляемых источников энергии выделяется государством в качестве приоритетной и требующей государственной поддержки ее развития.

Для этой цели российское государство приняло ряд нормативных правовых актов, положения которых содержат специальные инструменты государственного регулирования, а также меры государственной поддержки отрасли ВИЭ. Задача закрепления данных мер в законодательстве – способствовать динамичному и эффективному экономическому развитию предприятий ВИЭ на рынке электроэнергетики, поскольку на данный момент таким предприятиям сложно конкурировать с предприятиями традиционной углеводородной энергетики.

В связи с этим, на наш взгляд, указанные меры следует рассматривать в качестве государственной помощи, поскольку они обеспечивают определенные преференции со стороны государства отдельным предприятиям (предприятиям ВИЭ), по сравнению с иными предприятиями отрасли электроэнергетики, в целях их ускоренного экономического роста на данном рынке. Ведь экономический рост и эффективная деятельность предприятий ВИЭ не создаст предпосылок для возникновения у данных предприятий каких-либо трудностей (в том числе финансовых), а впоследствии признаков несостоятельности (банкротства)

^a ORCID: 0000-0003-4229-6586

и необходимости открытия в отношении них судебных процедур несостоятельности (банкротства).

В свою очередь, механизм государственной помощи можно рассматривать в качестве начального (превентивного) этапа внесудебного предупреждения несостоятельности (банкротства) предприятий ВИЭ, направленного на предотвращение возникновения у данных предприятий вышеуказанных трудностей в ходе их экономической деятельности на рынке электроэнергетики.

Каким образом российское предприятие возобновляемой энергетики может воспользоваться различными видами государственной помощи?

Российский закон об электроэнергетике ввел категорию квалифицированного производителя энергии на основе ВИЭ [1].

Это означает, что воспользоваться мерами государственной поддержки (помощи) смогут только те предприятия ВИЭ, которые прошли специальную процедуру квалификации («аккредитации»), по ее итогам были признаны квалифицированными производителями энергии на основе ВИЭ и являются получателями «зеленых» сертификатов (Green Certificates).

Таким образом, «зеленый» сертификат предоставляет его держателю право на получение различных видов государственной помощи, закрепленных в действующем законодательстве.

Эта система «появилась впервые как инструмент учета и мониторинга производства и потребления электрической энергии на основе ВИЭ в Нидерландах в 1997-1998 гг. под названием «система зеленой маркировки» (Green label system). Именно отсюда возникло название сертификатов, которые с тех пор закрепились за ними» [2]. С помощью «зеленых сертификатов» предприятия ВИЭ подтверждают, что они произвели и продали на рынке определенный объем возобновляемой («зеленой») энергии.

Таким образом, «зеленый» сертификат представляет собой новый инструмент регулирования электроэнергетических рынков, в частности формирующегося рынка возобновляемой энергетики, в России и может использоваться для различных целей, имеющих отношение, главным образом, к производству и потреблению энергии на основе ВИЭ:

- сертификат документирует и экологическую, и соответствующую экономическую ценность энергии от ВИЭ, признанную и подтвержденную государством;
- дает право на получение генераторами надбавки за проданную энергию на ВИЭ на основе правил и процедур, установленных государством;
- служит инструментом статистического учета объемов производства энергии на основе ВИЭ с учетом разных технологий генерации и обеспечивает оценку степени достижения национальных целей в этой сфере;
- обеспечивает контроль исполнения принимаемых добровольных обязательств по потреблению энергии ВИЭ» [3].

Из вышеизложенного следует, что система «зеленой» сертификации является, прежде всего, инструментом отбора государством конкретных предприятий

ВИЭ для оказания им государственной помощи, а также инструментом учета количества таких предприятий и объемов производимой ими возобновляемой энергии.

Такой «фильтр» со стороны государства, на наш взгляд, обусловлен его целями в энергетической политике, в частности политике по развитию ВИЭ в РФ.

Дело в том, что энергетическая политика РФ в отношении ВИЭ предусматривает развитие данной отрасли поэтапно с целью координации с социально-экономическим развитием государства в целом.

Так, Энергетическая стратегия РФ на период до 2030 года [4], предусматривает три этапа реализации государственной энергетической политики. Только второй этап «переход к инновационному развитию» и третий этап «развитие инновационной экономики», которые реализуются в период 2015 – 2030 гг., предусматривают государственную поддержку (помощь) возобновляемой энергетики.

В свою очередь, такая государственная поддержка (помощь) избирательна и оказывается государством не всем предприятиям ВИЭ. Государственная поддержка (помощь) ограничивается Целевыми показателями величин объемов ввода установленной мощности генерирующих объектов по видам возобновляемых источников энергии [5], которые ежегодно устанавливаются Правительством РФ с целью реализации указанных этапов государственной энергетической политики.

Так, согласно указанным Целевым показателям, в период с 2014 года по 2024 год планируется ввести в эксплуатацию: 1) ветровые электростанции (ВЭС) – 3351,2 МВт; 2) солнечные электростанции (СЭС) - 1759,4 МВт; 3) малые ГЭС мощностью менее 25 МВт - 425,4 МВт; 4) прочие ВИЭ – 0 (ноль) МВт. Это означает, что государство заинтересовано во вводе ежегодно в эксплуатацию только ограниченного объема мощностей генерирующих объектов, функционирующих на ВИЭ. Соответственно государство отбирает предприятия ВИЭ путем процедуры квалификации («аккредитации»), которые обеспечат запланированный объем мощности.

Для учета таких предприятий государство разработало Схему размещения генерирующих объектов электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на территории Российской Федерации [6], в которой отражаются по регионам РФ все предприятия ВИЭ, прошедшие процедуру квалификации и которые пользуются государственной помощью.

При этом, как указано в Разделе III «Основных направлений государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года» [7], отбор предприятий ВИЭ для их деятельности в определенном регионе страны и включение их в указанную Схему осуществляется государством, исходя из учета производственных сил, перспективы социально-экономического развития конкретного региона и ресурсной базы. Это означает, что государство при осуществлении государственной поддержки исходит из регионального аспекта: необходимости размещения в конкретном регионе гене-

рирующих объектов, функционирующих на тех видах ВИЭ, которые целесообразно развивать в данном регионе.

Благодарность. Работа выполнена при научном руководстве НИЛ ВИЭ Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Литература

1. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 N 35-ФЗ (последняя редакция).
2. Энергетическое право России и Германии: Сравнительно-правовое исследование. Под ред. П.Г.Лахно - русск.изд. М.: Издательская группа «Юрист», 2011. С. 920.
3. Энергетическое право России и Германии: Сравнительно-правовое исследование. Под ред. П.Г.Лахно - русск.изд. М.: Издательская группа «Юрист», 2011. С. 921
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2030 года».
5. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р (ред. от 28.02.2017) «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года», Приложение №1.
6. Приказ Минэнерго России от 29.07.2011 N 316 (ред. от 19.04.2012) "Об утверждении схемы размещения генерирующих объектов электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на территории Российской Федерации" (Зарегистрировано в Минюсте России 08.11.2011 N 22236).
7. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р (ред. от 28.02.2017) «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года».

Reference

1. Federal Law "On Electric Power Industry" dated March 26, 2003 No. 35-ФЗ (last revision).
2. Energy Law of Russia and Germany: A Comparative Legal Study. Ed. PGLahno - Russian.izd. M.: Publishing Group "Lawyer", 2011. P. 920.
3. Energy Law of Russia and Germany: A Comparative Legal Study. Ed. PGLahno - Russian.izd. M.: Publishing group "Lawyer", 2011. P. 921.
4. Order of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009 No. 1715-p "On approval of the Energy Strategy of Russia for the period up to 2030".
5. Order of the Government of the Russian Federation of January 1, 2009 No. 1-p (as amended on February 28, 2017) "On the main directions of state policy in the field of increasing the energy efficiency of the electric power industry based on the use of renewable energy sources for the period up to 2024" Appendix №1.
6. Order of the Ministry of Energy of Russia dated July 29, 2011 No. 316 (as amended on 04.19.2012) "On approval of the layout of generating facilities of electric power industry

based on the use of renewable energy sources in the Russian Federation" (Registered in the Ministry of Justice of Russia 08.11.2011 N 22236).

7. Order of the Government of the Russian Federation of January 1, 2009 No. 1-p (as amended on February 28, 2017) "On the main directions of state policy in the field of increasing the energy efficiency of the electric power industry based on the use of renewable energy sources for the period up to 2024".

"Green" certificates as a legal basis for obtaining state assistance by Russian RES enterprises

E.N. Popova

Université Côte d'Azur, Batiment M, 28 Avenue de Valrose 06108 Nice CEDEX 2, France

E-mail: e.popova@lenaslaw.com

Abstract. The article discusses the system of "green" certification as a tool for selecting state-owned renewable energy enterprises to provide them with state assistance, as well as taking into account the number of such enterprises and the amount of renewable energy produced by them.

Keywords: green certificates, renewable energy, energy, economy, state support

Acknowledgement. The work was carried out with the scientific guidance of the Laboratory of RES of the Geographical Faculty of Lomonosov Moscow State University.

УДК 620.92

Состояние и территориальная организация фотовольтаической солнечной энергетики в России

К.С. Дегтярев^a

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: kir1111@rambler.ru

Аннотация. Статья содержит описание основных составляющих солнечного фотовольтаического комплекса на территории России по состоянию на конец 2018 года, включая построенные и строящиеся солнечные электростанции, компании, управляющие проектами в солнечной энергетике, производственные предприятия солнечно-энергетического комплекса. Прослеживаются ключевые тенденции и направления развития солнечной энергетики в России. В настоящее время наблюдается дефицит подробной и систематизированной информации о состоянии энергетики на ВИЭ в нашей стране, и данная работа до определённой степени восполняет данный пробел.

Ключевые слова: солнечная энергетика, солнечно-энергетический комплекс, солнечные фотовольтаические станции, энергетика на возобновляемых источниках, инвестиционные проекты в возобновляемой энергетике, география солнечной энергетики

1 Введение

Солнечная энергетика России и СССР имеет давнюю историю исследований и разработок, ведущую начало ещё с 1920-х гг. [2, 5]. К концу советского периода Россия имела развитый солнечно-энергетический комплекс (СЭК) на стадии НИР и ОКР, представленный рядом институтов и предприятий. Кроме того, существовали производства кремния солнечного (электрического) качества для нужд электронной промышленности, что можно было использовать и для строительства солнечных электростанций.

Начиная с 1990-х, в силу системного экономического кризиса, а, впоследствии, и неблагоприятной конъюнктуры на рынке кремния, производства дан-

^a ORCID 0000-0002-1738-6320

ные производства были практически свёрнуты [3]. Идеи и разработки в солнечной энергетике не находили практического выхода; отрасль в целом переживала стагнацию.

В то же время, с середины – конца 2000-х гг., наблюдается возобновление интереса к развитию энергетики на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), включая солнечную энергетику. О развитии собственных проектов в солнечной энергетике заявил ряд компаний. В конце 2000-х – первой половине 2010-х была разработана нормативно-правовая база в энергетике на ВИЭ, включая критерии и методы поддержки, требования к локализации производства, проектам и компаниям, реализующим проекты.

С 2014-2015 гг. в России идёт быстрое ускоряющееся строительство солнечных фотовольтаических станций (СЭС). В 2015-2018 гг. в России было возведено около 500 МВт в более, чем 10 субъектах РФ. Параллельно происходит создание и расширение отечественных производств комплектующих и оборудования для СЭС. Часть этих производств функционирует на производственной базе, созданной в советское время, часть относится к числу вновь созданных.

Ситуация быстро меняется, господствовавшие ещё 5-10 лет назад представления о практическом полном отсутствии в России современной энергетики на основе ВИЭ устарели (хотя и в то время они не вполне соответствовали реальности), но, по инерции, занимают заметное место в российском информационном поле. Этому отчасти способствует и то, что ситуация не отслеживается на систематической основе, отсутствует статистика по энергетике на ВИЭ, недостаточно информационно-аналитических материалов по теме.

Этот существенный пробел отчасти восполняется работами, проводимыми НИЛВИЭ географического факультета МГУ, в частности – созданием ГИС по ВИЭ в России [10]. Данная работа, в свою очередь, носит информационно-аналитический характер и даёт актуальную информацию о строящихся и построенных СЭС, компаниях и производствах, направлениях и тенденциях в солнечной энергетике в России по состоянию на конец 2018 года.

В качестве информационной основы использованы:

- Данные АТС-энерго о проектах, прошедших конкурсный отбор [7];
- Данные энергетических компаний, участвующих в энергетических проектах в солнечной энергетике;
- Данные отраслевых энергетических ресурсов;
- Информация деловых СМИ;
- Экспертные оценки и данные собственных наблюдений.

Отдельно рассматриваются крупные сетевые солнечные электростанции и малая автономная солнечная энергетика.

2 Планы и строительство крупных сетевых СЭС

Активное строительство крупных сетевых солнечных фотовольтаических электростанций (СЭС) в России начинается с 2014 года; в Крыму – с 2011 года. За этот период (2013-2018 гг.) прошли конкурсный отбор проекты общей мощ-

ностью около 2000 МВт (2 ГВт) с планируемыми датами введения в эксплуатацию до 2022 года с размещением в 20 субъектах РФ.

К концу декабря 2018 года на территории России возведено около 550 МВт СЭС в 11 субъектах РФ, или более 25% от запланированных в 2013-2018 гг. Вместе с почти 300 крымских СЭС, построенных в 2011-2013 гг., их мощность составляет почти 850 МВт (табл. 1).

Таблица 1. Запланированные (прошедшие конкурсный отбор в 2013-2018 гг.) и построенные к концу 2018 солнечные фотовольтаические станции, суммарная мощность по субъектам РФ [7, 8, 21, 24, 26]

Субъект РФ	План, МВт	Построено к концу 2018	Станции (мощность, год введения в эксплуатацию)
Алтайский край	50	0	
Астраханская область	183	135	Володаровка (15 МВт, 2018), Промстройматериалы (15 МВт, 2018), Заводская (15 МВт, 2018), Нива (15 МВт, 2018), Фунтовская (Нива -2 очередь; 60 МВт, 2018), Енотаевка (15 МВт, 2018)
Белгородская область	15	0	
Волгоградская область	205	10	СЭС на площадке Волгоградского НПЗ (10 МВт, 2018);
Забайкальский край	75	0	
Иркутская область	15	0	
Липецкая область	45	0	
Омская область	90	0	
Оренбургская область	385	195	Переволоцкая (5 МВт, 2015); Грачёвская (10 МВт, 2017), Соль-Илецкая (25 МВт, 2017), Орская им. Влазнева (40 МВт, 2017), Плешановская (10 МВт, 2017), Сорочинская (60 МВт, 2018), Новосергиевская (5 МВт, 2018)
Республика Алтай	55	40	Кош-Агачская (9 МВт, 2015), Усть-Канская (5 МВт, 2016), Онгудайская (5 МВт, 2017), Майминская (20 МВт, 2017)
Республика Башкортостан	171	50	Бурибаевская (20 МВт 2016), Бугульчанская (3 очереди, 20 МВт, 2016), Исянгуловская (10 МВт, 2017)
Республика Бурятия	145	10	Бичурская (10 МВт, 2017)
Республика Дагестан	10	1	СЭС в Каспийске (1 МВт, 2013)

Субъект РФ	План, МВт	Построено к концу 2018	Станции (мощность, год введения в эксплуатацию)
Республика Калмыкия	124	0	
Республика Крым	-	295	Родниковое (8 МВт, 2011), Перово (106 МВт, 2011), Охотниково (80 МВт, 2011), Митяево (32 МВт, 2012), Николаевка (70 МВт, 2013), Абаканская (5 МВт, 2015)
Республика Хакасия	5	5	
Самарская область	105	50	Самарской СЭС (2 очереди; 50 МВт, 2018)
Саратовская область	140	40	Пугачёвская (15 МВт, 2017); Орлов-Гайская (10 МВт, 2017); Новоузенская (15 МВт, 2018).
Ставропольский край	115	0	
Челябинская область	60	0	
Всего	2 008	830 (535 без Кры-ма)	

Темпы роста мощностей СЭС в России в 2013-2018 годах резко росли, существенно превысив мировые относительные показатели (табл.2, рис.1).

Таблица 2. Темпы роста установленных мощностей СЭС в России в 2013 – 2018 гг.

Год	Установленная мощность к концу года	Рост мощностей к предыдущему году, МВт	Темпы роста к предыдущему году, %
2013	295		
2014	300	5	1,7%
2015	320	20	6,7%
2016	360	40	12,5%
2017	529	169	46,9%
2018	829	300	56,7%

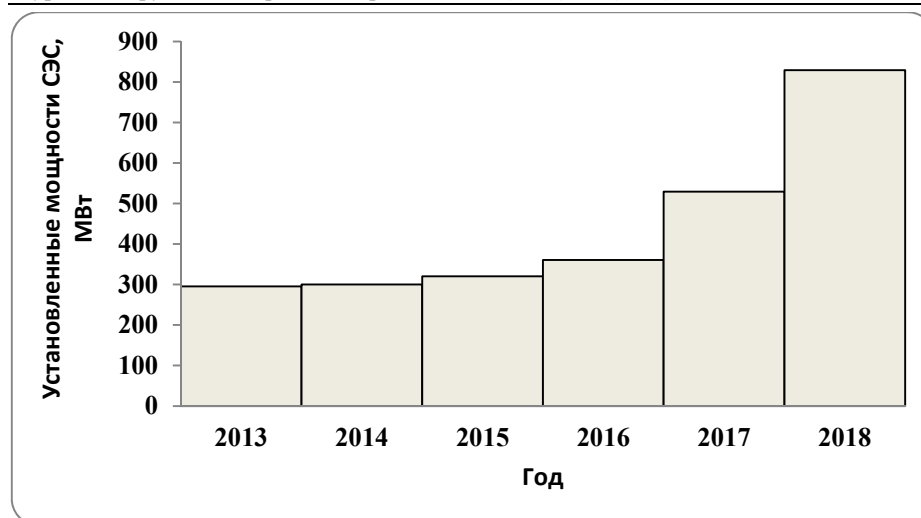


Рис. 1. Установленные мощности СЭС (МВт) в России в 2013-2018 гг.

На данный момент более 800 МВт возведённых мощностей СЭС – это порядка 0,3% от всех электроэнергетических мощностей России. Исходя из КИУМ СЭС, их выработка может составить около 0,1% всей выработки электроэнергии в России. При наращивании мощностей до 2000-2500 МВт к 2022-2024 гг. их доля в мощности и производстве электроэнергии в России может составить, соответственно, 0,8%-1% и 0,3%-0,4%.

По ряду СЭС существует информация от управляющих компаний о выработке электроэнергии (табл. 3).

Таблица 3. Выработка электроэнергии некоторыми СЭС на территории России (по данным отраслевых источников)

СЭС, регион	Период	Мощность станции	Выработка электроэнергии	Фактический КИУМ
Кош-Агачская СЭС, Республика Алтай	апрель 2015 – ноябрь 2016 (1,6 года)	5 МВт	12 000 МВтч	17,1%
Бугульчанская СЭС, Башкирия	январь – июль 2016 (0,6 года)	5 МВт	4 500 МВтч	17,1%
Абаканская СЭС, Хакасия	декабрь 2015 – октябрь 2016 (0,8 года)	5,2 МВт	6 000 МВтч	15,8%

СЭС, регион	Период	Мощность станции	Выработка электроэнергии	Фактический КИУМ
северо-восток Якутии, 4 СЭС «Сахаэнерго»	года) 2014 год	100 кВт (общая мощность)	100 000 кВтч	11,4%
Солнечные электростанции под управлением «Хевел»	III квартал 2017	около 100 МВт (общая мощность)	134 ГВтч	15,3%

В целом, они соответствуют ожидавшимся показателям выработке, а, в некоторых случаях, даже превосходят их.

3 Компании, управляющие проектами строительства сетевых СЭС

Практически всеми сетевыми проектами в солнечной энергетике России управляет несколько (менее 10) компаний или групп компаний (табл. 4).

Таблица 4. Крупнейшие компании, управляющие проектами СЭС в России

Компания/Группа компаний	Мощности запланированных СЭС	Расположение запланированных СЭС	Мощности СЭС, введенные в эксплуатацию, декабрь 2018	Расположение построенных СЭС (конец 2018)
Хевел; Авелар Солар Техно-логджи; ГринЭнерджиРус	900	Алтайский край, Астраханская, Волгоградская область, Забайкальский край, Омская, Оренбургская область, Республика Алтай, Башкортостан, Бурятия, Калмыкия, Саратовская область	260	Астраханская область, Оренбургская область, Республика Алтай, Башкортостан, Саратовская область
Энергия Солнца;	435	Астраханская,	60	Астрахан-

Компания/Группа компаний	Мощности запланированных СЭС	Расположение запланированных СЭС	Мощности СЭС, введенные в эксплуатацию, декабрь 2018	Расположение построенных СЭС (конец 2018)
МРЦ «Энергохолдинг» ; КомплексИндустрия,		Белгородская, Волгоградская область, Забайкальский край, Иркутская, Липецкая область, Бурятия, Калмыкия, Ставропольский край, Челябинская область		ская область
Солар Системс; Кремниевые технологии	305	Волгоградская, Самарская область, Башкортостан, Калмыкия, Ставропольский край	50	Самарская область
ПАО Т-Плюс; Оренбургская ТГК	230	Оренбургская, Самарская, Саратовская область	145	Оренбургская область
ПАО Фортум	115	Астраханская, Оренбургская, Саратовская область, Башкортостан, Калмыкия	5	Башкортостан
ПАО РусГидро; ООО «МЭК-Инжиниринг»	10	Дагестан	1	Дагестан
АО «Евросиб-энерго»; Красноярская ГЭС,	5	Хакасия	5	Хакасия
Всего	2 000		520	
Актив Солар		Крым	295	Крым

Группа компаний «Хевел» [26] - вертикально интегрированный холдинг, работающий в солнечной энергетике и являющийся, на данный момент, круп-

нейшим в России. «Хевел» - компания, созданная группой компаний «Роснано» <http://www.rusnano.com/> и холдингом «Ренова». В свою очередь, девелоперским подразделением «Хевел» является «ГринЭнерджиРус», находящаяся под управлением «Авелар Солар Технолоджи». В настоящее время под управлением ГК «Хевел» - проекты сетевых СЭС общей мощностью около 900 МВт (45% от всего объёма проектов в России), из них более 250 МВт построенных на конец 2018 года (около 50% общего объёма). Также «Хевел» отличается наиболее широкой географией проектов, охватывающей более 10 субъектов РФ.

Производственный актив «Хевел» – завод по производству солнечных модулей в Новочебоксарске (Чувашия) с годовым объёмом производства 160 МВт гетероструктурных солнечных модулей.

ООО «Солар Менеджмент» [13, 27] - управляющая компания ГК «Энергия Солнца», куда входят также предприятия МРЦ «Энергохолдинг» и Комплекс-Индустрия». Это, судя по объёму заявленных проектов – второй по величине игрок на рынке солнечной энергетике. Планы данной группы компаний по строительству солнечных электростанций широко анонсировались в 2014-2015 гг. Однако на данный момент из заявленных проектов реализована лишь небольшая часть (при этом часть из них - уже другими участниками рынка). В том числе, не реализовано большинство проектов с заявленными сроками введения в эксплуатацию ещё в 2015-2017 гг. По информации деловой прессы, большая часть проектов группы выкуплена другими игроками, в том числе компаниями «Хевел» и «Солар Системс» [4].

ООО «Солар Системс» [21] - предприятие, учреждённое китайской компанией Amur Sirius Power Equipment Co., Ltd. В свою очередь, Amur Sirius является специализирующимся на работе с Россией подразделением китайской группы Harbin Electric Company Limited (ранее Harbin Power Equipment Limited) [30], являющейся одной из троих крупнейших в Китае производителей энергетического оборудования.

Предприятие владеет заводом в Подольске (ООО «Солар Кремниевые технологии» (СКТ)), бывшим Подольским химико-металлургическим заводом. На данный момент предприятие производит кремниевые пластины. Используется исходное кремниевое сырьё, поставляемое из Усоля-Сибирского (Иркутская область; ООО «Группа Нитол», предприятие «Усолье-Сибирский силикон»), хотя данное предприятие пережило кризис, и судьба производства остаётся неопределённой. На предприятии в Подольске осуществляется выращивание кристаллов кремния и выплавление кремниевых слитков, далее – производство из них кремниевых пластин. Далее они поставляются в Китай, где изготавливаются солнечные ячейки (фотоэлектрические преобразователи, ФЭП), которые далее возвращаются на СКТ, осуществляющий строительство СЭС.

ПАО Т-Плюс [23], занимающая четвёртое место по общей величине портфеля проектов СЭС (в том числе второе – по объёму реализованных проектов на конец 2018 года) – бывшее ОАО «Волжская ТГК», являющаяся частью группы «Т Плюс», ранее называвшейся «КЭС Холдинг». Является одной из крупнейших в России частных компаний в сфере энергетики и теплоснабжения, объём

единяет ряд генерирующих мощностей, сбытовых и ремонтно-сервисных структур.

В Оренбургской области управлением проектами солнечной энергетики занимается также входящая в структуру компании Оренбургская ТГК (филиал «Оренбургский» ПАО Т-Плюс). Также одним из предприятий, управляющих солнечными электростанциями, является входящее в группу АО «Солнечный ветер».

ПАО «Фортум» (ранее **ОАО «Территориальная генерирующая компания № 10», ОАО «ТГК-10»**) [24] владеет восемью ТЭС в Челябинской и Тюменской областях.

Суммарная мощность генерирующих объектов «Фортум» по электрической энергии на 1.10.2018 составляет около 5 ГВт, по тепловой энергии – более 10 ГВт. В последние годы активно участвует в продвижении проектов солнечной и ветроэнергетики, а также приобретении солнечно-энергетических активов. В частности, в ноябре 2017 года между ПАО «Фортум» и группой компаний «Хевел» было заключено соглашение о продаже построенных группой «Хевел» трёх СЭС: Плешановской (10 МВт) и Грачёвской (10 МВт) в Оренбургской области и Бугульчанской (15 МВт) находится в Башкортостане. Оперативное обслуживание станций продолжает осуществлять ГК «Хевел».

ПАО «РусГидро» [17] - одна из крупнейших энергетических компаний России; контрольный пакет акций компании принадлежит государству. Общая установленная мощность электростанций РусГидро – около 40 ГВт, включая 47 ГЭС и ГАЭС (основная часть мощностей гидроэнергетики России) и электро-энергетические мощности АО «РАО Энергетические системы Востока» (Дальневосточный ФО). РусГидро – один из лидеров развития энергетики на ВИЭ в России, включая строительство и управление геотермальными станциями (Камчатка), строительство малых ГЭС, а также ветростанций и солнечных станций. Из крупных проектов солнечных станций, находящихся в управлении компании – строящаяся станция в Дагестане (Каспийск), частично введённая в эксплуатацию, и ряд автономных СЭС в Якутии.

АО «Красноярская ГЭС» [12] - дочерняя компания ОАО «ЕвроСибЭнерго», в свою очередь, наряду с компанией РусАл, входящей в холдинг En+ Group. Основной производственный актив – Красноярская ГЭС (имени 50-летия СССР) мощностью 6000 МВт. Известный проект в энергетике на ВИЭ – Абаканская СЭС в Хакасии мощностью 6 МВт, построенная в 2015 году – одной из первых в России.

В ходе строительства СЭС было организовано собственное производство по выращиванию слитков мультикристаллического кремния в г. Ангарске (Иркутская обл.) и сборка инверторов в г. Дивногорске (Красноярский край).

«Актив Солар» (Activ Solar GmbH) - австрийская компания [29], находящаяся в собственности украинских физических лиц, владевшая «Заводом полупроводников» в Запорожье и осуществлявшая ряд крупных проектов строительства СЭС на территории Украины, возвела в 2011-2013 гг. несколько СЭС в Республике Крым общей мощностью 300 МВт. С 2014 года компания сталкивается с рядом финансовых и правовых проблем [6]/ Вопрос принадлежности и даль-

нейшего функционирования возведённых ею СЭС в Крыму на данный момент находится в стадии решения.

4 Автономные солнечные станции

Крупнейшие проекты автономных солнечных электростанций в настоящее время связаны с Республикой Саха – Якутия. СЭС в Якутии возводятся АО «Сахаэнерго» [20], являющимся дочерним предприятием ПАО «Якутскэнерго» [28], в свою очередь, принадлежащим ПАО «ЕЭС Востока» (49% акций) [14], входящим в группу «РусГидро». С 2014 по 2017 гг. было установлено 18 СЭС в отдалённых посёлках Якутии. Их общая мощность – около 2 МВт, из них 1 МВт приходится на Батагайскую СЭС в Верхоянском улусе – на данный момент, это крупнейшая в мире солнечная электростанция за Полярным кругом, внесённая в данное качество в книгу рекордов Гиннеса. Также СЭС установлены в посёлках Тойон-Ары, Батамай, Ючюгей, Куду-Кюель, Дулгалах, Эйик, Джаргалах, Бетенкес, Столбы, Улуу, Эйик, Куберганя, Юнкюр, Иннях, Дельгей, Себян-Кюель, Орто-Балаган.

Помимо этого, идёт быстрое распространение автономных солнечных станций, установка солнечных панелей на объектах инфраструктуры (дороги, пешеходные переходы, детские площадки) и в частных хозяйствах России, преимущественно в южных регионах.

Из-за отсутствия системы сбора информации оценить с какой-либо степенью точности объём и динамику в этом направлении не представляется возможным. По экспертным оценкам, в частности, для одного из российских регионов – Республики Калмыкия, за последние несколько лет в частные хозяйства было поставлено около 500 панелей (порядка 50 кВт). В масштабах России общая установленная мощность автономных солнечных фотовольтаических генераторов может составлять величину от нескольких до нескольких десятков МВт. Преимущественно речь идёт о панелях китайского производства. Этому способствует отсутствие, в данном случае, требований к локализации производства, действующих для проектов сетевых СЭС. В то же время, локально приобретаются и панели отечественных производителей.

5 Российские производители и разработчики в солнечной энергетике

Выше были названы некоторые производственные предприятия в солнечной энергетике, принадлежащие компаниям, реализующим проекты строительства СЭС:

- Завод «Хевел» в Новочебоксарске производящий солнечные модули – крупнейшее российское предприятие на данный момент;

- Завод СКТ в Подольске, принадлежащий «Солар Системс», производящий кремниевые пластины для фотоэлектрических преобразователей;
- Завод в Усолье-Сибирском, производящий (или производивший) поликремний;
- Производство мультикристаллического кремния в Ангарске (созданное ОАО «ЕвроСибЭнерго»);
- Предприятие по сборке инверторов в Дивногорске (также созданное ОАО «ЕвроСибЭнерго»).

Это не полный перечень российских предприятий, участвующих в производстве оборудования для солнечной энергетики на разных стадиях технологической цепочки.

Сбор достаточно полной и адекватной информации в настоящее время затруднён, в том числе, в силу динамичной, быстро меняющейся ситуации с разнонаправленными тенденциями. В разных источниках можно встретить упоминание о нескольких десятках (возможно, и больше) российских производителей и поставщиков солнечных модулей или комплектующих к ним, а также о планах и открытии новых производств. Однако, в каждом конкретном случае, отдельной задачей является выяснение, во-первых, реального состояния данного предприятия или проекта на текущий момент; во-вторых, является ли оно производителем или только импортёром зарубежной (преимущественно китайской) продукции. Из реально действующих производителей солнечных модулей можно, в частности, назвать:

- Телеком-СТВ (Зеленоград) [22];
- Рязанский завод металлокерамических приборов (РЗМКП, Рязань) [15];
- ПАО «Сатурн» (Краснодар) [19].

В большинстве или даже во всех случаях данные предприятия отличаются следующим:

- Они созданы или существуют на базе ещё советских предприятий электронной и машиностроительной промышленности;
- Солнечная энергетика является не единственным и даже не доминирующим направлением деятельности, а одним из направлений; по оценке представителей этих предприятий, узкая специализация в данном случае убыточна;
- При производстве солнечных модулей используются, большей частью, зарубежные комплектующие при отсутствии отечественных.

Полного цикла в солнечной энергетике России пока не существует. Одна из ключевых проблем – дефицит отечественного производства солнечного кремния. Почти все производства, созданные ещё в СССР – главным образом, для нужд электроники, были остановлены в 1990-е и начале 2000-х [3]. Новые проекты (в частности, в Усолье-Сибирском) столкнулись с проблемами в связи с резким падением цен на кремний на рубеже 2000-х – 2010-х гг. При этом, создание производств солнечного кремния требует большого объёма инвестиций и далее вынуждено работать в условиях жёсткой конкуренции, прежде всего –

со стороны китайских производителей. Последнее относится ко всем стадиям производства в солнечной энергетике.

Кроме того, есть ряд научно-исследовательских предприятий и организаций, занимающихся (также, в большинстве случаев, ещё с советского периода) разработками, в том числе, в солнечной энергетике. Среди них, в частности:

- ОАО «НПП Квант» (Москва) [11];
- ВИЭСХ (ВИМ) (Москва) [9];
- ФТИ им. А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург) [25];
- Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королёва (Самара) [18].

Эти и другие предприятия в ряде случаев, помимо НИОКР, занимаются и непосредственным коммерческим производством собственных солнечных панелей и модулей, как правило, небольшими партиями.

Объёмы и динамику производства оборудования и комплектующих для солнечной энергетики в России на данный момент трудно проследить. Однако, в последние годы созданы стимулы развития в виде, прежде всего, требований к локализации производства для проектов в сфере ВИЭ, а также стимулирования проектов с использованием механизма договора поставки мощности (ДПМ), компенсирующего инвестиционные затраты данных проектов.

6 Выводы

В России идёт ускоряющийся рост солнечной энергетики, выражающийся, прежде всего, в строительстве и запуске в эксплуатацию новых солнечных электростанций. При сохранении существующих темпов роста доля СЭС в общей выработке электроэнергии в России может достичь 0,3%-0,4% к середине 2020-х (установка 2-2,5 ГВт солнечных фотовольтаических мощностей с общей годовой выработкой около или выше 2,5 ТВтч).

Установка новых генерирующих мощностей на основе солнечной энергии идёт, главным образом, в южных регионах России, в зоне, простирающейся от Крыма и Краснодарского края до Бурятии и Забайкальского края, включая Нижний Дон и Предкавказье, Нижнее и Среднее Поволжье, Южный Урал, юг Западной и Средней Сибири. Кроме того, крупные автономные СЭС строятся в Якутии. В настоящее время проекты СЭС охватывают более 20 субъектов РФ.

Управление основной частью проектов в солнечной энергетике осуществляется несколькими ведущими группами компаний: «Хевел», «Солар Системс», «Т-Плюс», «Фортум», «РусГидро», «ЕвроСибЭнерго». Идёт процесс становления рынка, происходят сделки купли-продажи активов в солнечной энергетике между компаниями.

Можно выделить два направления развития солнечной энергетики – крупные сетевые станции и малую автономную солнечную энергетику. В первом случае информации для оценки ситуации и перспектив существенно больше, чем во втором. В то же время, очевидно, что установка малых автономных мощностей ВИЭ в частных и личных хозяйствах, а также на многих инфраструктурных

объектах, также идёт высокими темпами, а общие мощности в целом по России могут быть оценены в величины порядка нескольких МВт или выше.

Малая автономная энергетика, в отличие от крупных сетевых станций, не регулируется требованиями о локализации и не стимулируется мерами поддержки; в связи с этим, на данном рынке, по экспертным оценкам, доминируют установки зарубежного (преимущественно китайского) производства.

В России существует ряд научно-производственных и производственных предприятий, производящих оборудование и комплектующие для солнечной энергетики, от стадий НИР и ОКР до серийного производства солнечных модулей, монтажа и обслуживания СЭС. Значительная их часть создана на научно-производственной базе СССР.

В то же время, в России пока отсутствует полный цикл производства в солнечной энергетике. При производстве значительная часть приходится на импортные комплектующие и сырьё. Одна из ключевых проблем – дефицит собственного производства солнечного кремния.

Меры регулирования и поддержки в ВИЭ, такие, как ДПМ и требования к локализации, уже дают положительный эффект и, вероятно, станут стимулом развития солнечной энергетики в России на всех стадиях производственного цикла.

Требуется отдельная система поддержки малой автономной энергетики на отечественной производственно-технологической базе.

Литература

1. Дегтярев К.С. Возобновляемая энергетика в Калмыкии: опыт, проблемы и перспективы региона // Журнал "С.О.К. Сантехника. Отопление. Кондиционирование". (Москва, издатель ИД "Медиа Технолоджи). — 2017. — № 7.
2. Дегтярев К.С., Залиханов А.М., Соловьев А.А., Соловьев Д.А. План ГОЭЛРО и возобновляемые источники энергии // Энергетическая политика. — 2016. — № 3. — С.55–64.
3. Наумов А. Рынок поликристаллического кремния: состояние и перспективы / Электроника НТБ, №9/2105.
4. Под солнцем вырастают конкуренты // Коммерсантъ, №9 от 21.01.2019.
5. Стребков Д.С. История развития солнечной фотоэлектрической энергетики в России // Сборник трудов XII Международной ежегодной научно-практической конференции «Возобновляемая и малая энергетика – 2015», под. Ред. П.П. Безруких, С.В. Грибкова и др., с.266-278.
6. Activ Solar может потерять солнце Крыма // Коммерсантъ, №151 от 26.08.2014.
7. Администратор торговой системы [Электронный ресурс] // URL: <http://www.atsenergo.ru/> (дата обращения 29.01.2019)
8. База данных по энергетике [Электронный ресурс] // URL: energybase.ru (дата обращения 29.01.2019).
9. ВИЭСХ [Электронный ресурс], официальный сайт // URL: <http://viesh.ru/sun-energy/> , (дата обращения – 29.01.2019).
10. ГИС Возобновляемые источники энергии России, [Электронный ресурс] // URL: gis-re.ru , (дата обращения – 29.01.2019).

11. Квант [Электронный ресурс], официальный сайт // URL: <http://npp-kvant.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
12. Красноярская ГЭС, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <https://www.kges.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
13. МРЦ «Энергохолдинг», официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://exacom.ru/company/5371796>, (дата обращения – 29.01.2019).
14. РАО «ЕЭС Востока», официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://www.rao-esv.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
15. РЗМКП [Электронный ресурс], официальный сайт // URL: <http://www.rmcp.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
16. Роснано, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://www.rusnano.com/>, (дата обращения – 29.01.2019).
17. РусГидро, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://www.rushydro.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
18. Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королёва, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <https://ssau.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
19. Сатурн, официальный сайт [Электронный ресурс], официальный сайт // URL: <http://saturn-kuban.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
20. Сахаэнерго, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://sakhaenergo.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
21. Солар Системс, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://solarsystems.msk.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
22. Телеком-СТВ, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://www.telstv.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
23. Т-Плюс, официальный сайт <http://www.tplusgroup.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019)
24. Фортум, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <https://www.fortum.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
25. ФТИ им. А.Ф. Иоффе, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://www.ioffe.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
26. Хевел, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://www.hevelsolar.com/>, (дата обращения – 29.01.2019).
27. Энергия Солнца, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://sol-en.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
28. Якутскэнерго, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <https://yakutskenergo.ru/>, (дата обращения – 29.01.2019).
29. Activ Solar GmbH, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://www.activsolar.com/>, (дата обращения – 29.01.2019).
30. Harbin Power Equipment Limited, официальный сайт [Электронный ресурс] // URL: <http://www.hpec.com/about.asp>, (дата обращения – 29.01.2019).

Reference

1. Degtyarev K.S. Renewable energy in Kalmykia: experience, problems and prospects of the region // Journal "SOK Santechnika. Heating. Conditioning." (Moscow, publisher of the publishing house "Media Technology). - 2017. - № 7.

2. Degtyarev K.S., Zalikhanov A.M., Soloviev A.A., Soloviev D.A. GOELRO Plan and Renewable Energy Sources // Energy Policy. - 2016. - № 3. - P.55–64.
3. Naumov A. The Market of Polycrystalline Silicon: State and Prospects / Electronics NTB, №9 / 2105.
4. Competitors grow under the sun // Kommersant, №9 from 01.21.2019.
5. Strebkov D.S. The history of the development of solar photovoltaic energy in Russia // Collected Works of the XII International Annual Scientific and Practical Conference "Renewable and Small Energy - 2015", under. Ed. P.P. Bezrukh, S.V. Gribkova et al., Pp.266-278.
6. Activ Solar may lose the sun of Crimea // Kommersant, №151 from 08.26.2014.
7. Administrator of the trading system [Electronic resource] // URL: <http://www.atsenergo.ru/> (contact date 01/01/2019)
8. Energy database [Electronic resource] // URL: energybase.ru (access date 01/29/2019).
9. VIESH [Electronic resource], official site // URL: <http://viesh.ru/sun-energy/>, (appeal date - 01.29.2019).
10. GIS Renewable Energy Sources of Russia, [Electronic resource] // URL: gisre.ru, (circulation date - 01.29.2019).
11. Quant [Electronic resource], official website // URL: <http://npp-kvant.ru/>, (appeal date - 01/29/2019).
12. Krasnoyarsk Hydroelectric Power Station, official website [Electronic resource] // URL: <https://www.kges.ru/>, (appeal date - 01.29.2019).
13. MRC Energoholding, official website [Electronic resource] // URL: <http://exacom.ru/company/5371796>, (appeal date - 01/29/2019).
14. RAO "UES of the East", official website [Electronic resource] // URL: <http://www.rao-esv.ru/>, (appeal date - 01.29.2019).
15. RZMKP [Electronic resource], official site // URL: <http://www.rmcip.ru/>, (the date of appeal - 01/29/2019).
16. Rosnano, official site [Electronic resource] // URL: <http://www.rusnano.com/>, (appeal date - 01.29.2019).
17. RusHydro, official site [Electronic resource] // URL: <http://www.rushydro.ru/>, (appeal date - 01.29.2019).
18. Samara National Research University. S.P. Koroleva, official site [Electronic resource] // URL: <https://ssau.ru/>, (appeal date - 01/01/2019).
19. Saturn, official site [Electronic resource], official site // URL: <http://saturn-kuban.ru/>, (appeal date - 01.29.2019).
20. Sakhaenergo, official website [Electronic resource] // URL: <http://sakhaenergo.ru/>, (appeal date - 01/29/2019).
21. Solar Systems, official website [Electronic resource] // URL: <http://solarsystems.msk.ru/>, (appeal date - 01/29/2019).
22. Telecom-STV, official site [Electronic resource] // URL: <http://www.telstv.ru/>, (appeal date - 01.29.2019).
23. T-Plus, the official website <http://www.tplusgroup.ru/>, (appeal date - 01.29.2019)
24. Fortum, official site [Electronic resource] // URL: <https://www.fortum.ru/>, (appeal date - 01.29.2019).
25. PTI them. A.F. Ioffe, official website [Electronic resource] // URL: <http://www.ioffe.ru/>, (appeal date - 01/29/2019).
26. Hevel, official site [Electronic resource] // URL: <http://www.hevelsolar.com/>, (appeal date - 01.29.2019).

-
27. Energy of the Sun, official site [Electronic resource] // URL: <http://sol-en.ru/>, (appeal date - 01.29.2019).
 28. Yakutskenergo, official website [Electronic resource] // URL: <https://yakutskenergo.ru/>, (appeal date - 01.29.2019).
 29. Activ Solar GmbH, official website [Electronic resource] // URL: <http://www.activsolar.com/>, (appeal date - 01/29/2019).
 30. Harbin Power Equipment Limited, official website [Electronic resource] // URL: <http://www.hpec.com/about.asp>, (appeal date - 01.29.2019).

Development and location of solar photovoltaic power industry in Russia

K.S. Degtyarev

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: kir1111@rambler.ru

Abstract. The paper contains description of the principle constituent parts of the solar power network in Russia as of the end of 2018, including power plants, both designed and brought into operation ones, management companies, and equipment plants for solar power industry. There are viewed also the key directions and tendencies of solar power industry development in Russia. At present there is a lack of detailed and systemized information on renewable energy and power industry in Russia, and this work contributes to replenish it.

Keywords: solar energy, solar energy complex, solar photovoltaic stations, energy on renewable sources, investment projects in renewable energy, geography of solar energy

УДК 911.9:338.45:620.91 (100)

Солнечная энергетика в XXI веке: межсекторальные комплексы, трансформация территориальной структуры

В. В. Акимова^{1,2, а}¹ МГУ имени М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1,
Российская Федерация² Центр стратегий регионального развития, Институт прикладных экономических исследований, РАНХиГС при Президенте Российской Федерации,
119571, Москва, проспект Вернадского, 84, Российская Федерация

E-mail: varvaraakimova1576@gmail.com

Аннотация. Статья представляет собой географический анализ солнечно-энергетического комплекса стран мира. В данной работе дано определение этого комплексного понятия, выявлены основные особенности и закономерности формирования его территориальной организации, представлена классификация стран в зависимости от значений рассчитанного индекса «солнечности» энергетики. В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что сейчас наблюдается постепенное расширение географии солнечно-энергетического комплекса по всему миру, способствуя трансформации территориальной структуры отрасли из евромоцентрической в полицентрическую.

Ключевые слова: экономическая география, возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, солнечно-энергетический комплекс

1 Введение

Особенностью развития производственного сектора в настоящее время является стирание границ между различными секторами экономики (первичным, вторичным, третичным) и образование конгломератов, так называемых межсекторальных комплексов: агропромышленного, военного, медицинского и многих других. Такое группирование различных отраслей экономики характерно для пост-

^а ORCID 0000-0003-0071-1307

индустриального общества, где на первый план выходит развитие высоких технологий, в том числе и в энергетической сфере.

В условиях ограниченности традиционных источников энергии, нестабильности их цен на мировом рынке, а также обеспокоенностью экологическими последствиями использования ископаемых источников энергии все больше стран пытаются найти способы обеспечения национальной энергетической безопасности. Одним из эффективных ответов на глобальный энергетический вызов является солнечная энергетика. Причины заключаются в том, что солнечная энергетика доступна всем, практически неисчерпаема и характеризуется высокой экологической безопасностью. Кроме того, солнечную энергетику отличает значительно более низкие капитальные и эксплуатационные затраты и постоянное удешевление стоимости «солнечного» киловатт-часа по сравнению с традиционной углеводородной энергетикой.

За последние несколько лет суммарные установленные мощности солнечной энергетики увеличилась более, чем в 10 раз, что более чем в три раза выше, нежели у ее главного конкурента — ветровой энергетики (2,7). На 2017 г. этот показатель составил более 400 ГВт [16].

Целью данной работы было выделить и дать определение новому понятию "солнечно-энергетический комплекс", выявить и объяснить особенности территориальной структуры мирового солнечно-энергетического комплекса и закономерности ее формирования и функционирования.

Теоретической и методологической основой исследования послужили данные Международного энергетического агентства, Управления по энергетической информации США, Европейской Гелиотермальной Электроэнергетической Ассоциации, Европейской обсерватории альтернативных источников энергии, Европейской Федерации гелиотермальной энергетики, Европейской Фотовольтаической Ассоциации, Международного агентства по возобновляемой энергетике и т. д., а также публикации основных новостных порталов в области «зеленых» технологий и солнечной энергетики в частности (CSP Today, PV Insider, Green Tech Media Research и т.д.) и отчетов национальных министерств (департамента по энергетике и изменению климата Великобритании, департамента природных ресурсов Канады, департамента энергетики США, департамента энергетики ЮАР, департамента энергетики Германии, Испании, Италии и т.д.).

2 Результаты исследования и их обсуждение

2.1 Понятие солнечно-энергетического комплекса

По результатам проведенного комплексного исследования автор предлагает ввести понятие солнечно-энергетического комплекса (далее СЭК). Под данным термином понимается межсекторальный комплекс экономики, назначение которого — производство энергии солнечного происхождения. Солнечно-энергетический комплекс представляет собой интегрированную систему различных видов деятельности, формально (статистически) относящихся к разным

секторам экономики (первичному, вторичному, третичному), но объединенных целевой функцией в экономике и обществе (в нашем случае, производство различных видов энергии) и характером слагающих элементов. То есть, солнечно-энергетический комплекс — это сложная, межсекторальная система производства разных видов энергии (электрической и иной), ее транспортировки, распределения и использования [1]. Другими словами, СЭК объединяет природный, экономический, институциональный, социальный аспекты человеческой деятельности, интегрируя экономический вектор производства с социальным вектором потребления товаров и услуг.

Несмотря на то, что солнечно-энергетический комплекс представляет собой целостную многокомпонентную систему, обладающую функциональным единством, входящие в его состав подсистемы обладают своей производственной спецификой, что обуславливает необходимость их дифференцированного изучения в рамках настоящего исследования и разделения солнечно-энергетического комплекса на два подтипа: фотовольтаический СЭК и гелиотермальный СЭК. В гелиотермальном солнечно-энергетическом комплексе для выполнения целевой функции используются технологии преобразования солнечной энергии в тепло (с помощью солнечных коллекторов) и технологии концентрирования солнечной энергии с ее последующим преобразованием в электроэнергию (КСЭ), а в фотовольтаическом СЭК — технология прямого преобразования солнечной энергии в электроэнергию. В свою очередь фотовольтаический СЭК имеет два сектора: промышленный и индивидуальный, гелиотермальный также имеет два сектора: в индивидуальном секторе применяются солнечные коллекторы, в промышленном — концентрирующие солнечные установки.

2.2 Трансформация территориальной структуры отрасли

В результате проведенного исследования было выявлено, что развитие мирового солнечно-энергетического комплекса сопровождается его пространственной экспансией. Если на ранних этапах развития солнечной энергетики её территориальная структура носила ярко выраженный «евромоцентрический» характер, то наблюдаемый в настоящее время процесс появления новых полюсов роста привел к возникновению полицентрической модели территориальной структуры отрасли. В этой модели выделяются три главных центра: европейский — во главе с Германией (на протяжении последних десяти лет сохранявшей за собой статус мирового лидера), Испанией (лидером в концентрирующей солнечной энергетике), Италией и с недавних пор Великобританией; американский — с США и азиатский — где основными полюсами роста являются две страны — Китай (с 2015 г. мировой лидер по суммарным установленным мощностям (131 ГВт) и Япония (где в результате остановки всех действующих ядерных реакторов (в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г.) с 2012 г. наблюдался настоящий «солнечный бум», призванный восполнить дефицит энергетических мощностей [2, 3]).

Наряду с динамичным развитием крупных центров, возникает масса менее значимых, способствующих изменению структуры размещения объектов отрасли. В будущем, возможно, что именно эти новые центры станут локомотивом развития мировой солнечной энергетики. Так в Северной Америке в состав «солнечного клуба», включающего до недавнего времени только США, вошла и Канада, в Европе — к Германии, Италии, Франции и Испании — присоединилась Великобритания и Бельгия, в перспективе также в лидеры могут выйти Болгария, Чехия и Румыния.

2.3 Индекс «солнечности» энергетики.

Индекс «солнечности» энергетики ($I_{\text{сол}}$) соответствует отношению доли солнечных электроэнергетических мощностей (фотовольтаика и концентрирующая солнечная энергетика) в суммарных электроэнергетических мощностях в стране к доле солнечных электроэнергетических мощностей в суммарных электроэнергетических мощностях в мире (Рис.1).

Среди 22 стран со значением индекса больше 1 (что свидетельствует о высоком уровне специализации энергетического комплекса страны на развитии солнечной энергетики) только 2 относятся к развивающимся.

Основываясь на значениях индекса «солнечности» стран и методе естественных разрывов (используемом для математически обоснованного выделения групп), можно выделить 4 группы стран:

Индекс «солнечности» энергетики равен 2 и выше. К этой группе относятся страны ЕС — Германия, Бельгия, Италия, Греция, Чехия, Великобритания, а также Гондурас и Япония. В этих странах солнечная энергетика развивается давно, именно здесь находятся многие исследовательские центры, направлением которых является оптимизация и повышение эффективности преобразования энергии Солнца в тепло- или электроэнергию. Эти страны в своей энергетической политике делают упор на «зеленые» технологии, включая и солнечную энергетику, в связи с нехваткой собственных энергоресурсов, в некоторых случаях — с отказом от использования атомной энергетики из-за давления общественности, а также обеспокоенностью широких масс населения экологическими последствиями употребления нефти, газа и угля. Несмотря на то, что Великобритания обладает своими запасами нефти и газа (запасы в акватории Северного моря), что позволяет ей стабильно вырабатывать электроэнергию, используя в том числе и эти энергоресурсы, в последнее время особое внимание уделяется именно солнечной энергетике, особенно в отношении индивидуальных солнечных установок. Во всех этих странах развитию солнечной энергетики активно способствуют государственные программы по стимулированию отрасли в виде специальных тарифов, льгот, кредитов. Исключение составляет Гондурас, где солнечную энергетику начали развивать относительно недавно благодаря специальной политике государства и сочетанию физико-географических условий (высокий уровень солнечной радиации) и экономической специфики энергопотребления (страна является нетто-импортером энергоресурсов, более

80% сельского населения не имеют доступа к электроэнергии, а 86% домохозяйств (что составляет 47% энергопотребления в стране) используют дрова как основной источник энергии).

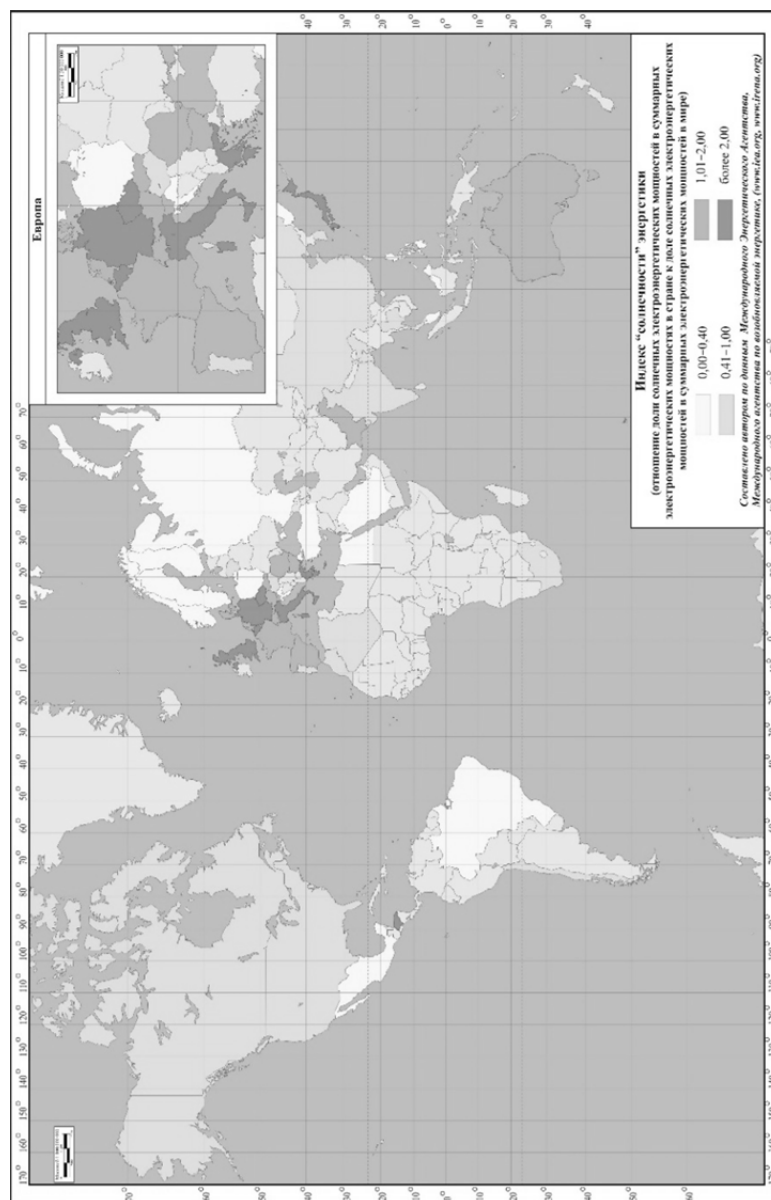


Рис. 1. Индекс «солнечности» энергетики на карте мира, 2017 г.

Источник: расчеты автора.

Индекс «солнечности» энергетики составляет от 1 до 2.

В эту группу входят европейские страны — Болгария, Словения, Словакия, Испания, Швейцария, Люксембург, Дания, Румыния, Франция, Нидерланды, Австрия, а также Австралия, Израиль, Пакистан. В этих странах солнечная энергетика стала активно развиваться относительно недавно, в соответствии с политикой ЕС в отношении ВИЭ (Болгария, Румыния — преимущественно промышленная составляющая), либо под воздействием аварии на Фукусиме в 2011 г., и, как следствие, закрытием АЭС, либо общемировой тенденцией к диверсификации источников энергии. Для всех этих стран солнечная энергия — это один из многих источников электроэнергии, ее развитию не придается такого большого значения, как в странах первой группы. Во Франции более 80% приходится на АЭС; в Словакии — более 50% [15]; в Словении — около 45% [13], причем из ВИЭ самое большое внимание уделяется использованию биомассы (дров), затем гидроэнергетике; в Швейцарии наблюдается аналогичная ситуация использования атомной энергии. В Дании, кроме традиционных электростанций, активно развивается ветроэнергетика, на которую уже приходится в районе 30% вырабатываемой электроэнергии. В Австралии — около 70% электроэнергии производится на угольных ТЭС (Австралия является одним из мировых лидеров по добыче угля [10]). В Нидерландах — более 80% на газовых (42%) и угольных (35%) ТЭС (Нидерланды являются важнейшим европейским центром переработки и транспортным хабом в отношении нефти и газа, страна — второй после Норвегии экспортер природного газа в Европе [13]). В Пакистане солнечная энергетика получила развитие в рамках диверсификации источников энергии в связи с постоянными перебоями в поставках электроэнергии, круговой задолженностью и недостатками систем передачи и распределения электроэнергии. Из-за данных проблем, прежде всего отсутствия надежного доступа к электричеству, более 1/3 первичного потребления энергоресурсов приходится на биомассу [13]. Из ВИЭ большее внимание до последнего времени уделялось гидро- и ветровой энергетике. Исключения составляют Испания, вплоть до 2013 г., относившаяся к первой группе, и Австрия. В этих странах солнечная энергетика появилась одновременно со странами первой группы, но в последние несколько лет темпы прироста новых мощностей здесь существенно замедлились, как и везде в ЕС. Решающим фактором, спровоцировавшим переход Испании во вторую группу, стало отсутствие новых проектов КСЭ — отрасли, где страна является мировым лидером.

Индекс «солнечности» энергетики от 0,4 до 1.

К этой группе относятся:

- крупные потребители электроэнергии — Китай, США, Индия, где потребление энергии намного превышает производство, поэтому необходимо развитие всех отраслей энергетики, в том числе и солнечной, дабы удовлетворить все возрастающий спрос на электроэнергию. Канада — нетто-экспортер электроэнергии за счет своих ГЭС и АЭС, развивающая солнечную энергетiku как способ увеличения уровня диверсификации источников энергии, Южная Корея — нетто-импортер энергоресурсов (9-е место в мире по объемам энерго-

потребления [12]). Кроме того, использование солнечной энергии повышает уровень энергетической и экологической (особенно важно для Китая) безопасности;

- европейские страны, заметно уступающие по темпам прироста новых электроэнергетических мощностей от своих соседей в рамках Европейского региона, — Португалия, Венгрия, Литва (начала развивать солнечную энергетику относительно недавно в соответствии с политикой ЕС. Кроме того, переход к солнечным технологиям обусловлен и необходимостью в обеспечении национальной энергетической безопасности в связи с закрытием Игналинской АЭС и нехваткой собственных энергоресурсов);
- Марокко, Алжир, Чили, Бангладеш, Таиланд, ЮАР — страны, где солнечной энергетике уделяется значительное внимание в энергетической политике. Несмотря на то, что вводить в эксплуатацию солнечные установки здесь стали лишь в последние 2-3 года, указанные страны продемонстрировали высокие темпы развития отрасли. Преимущественно приоритет сохраняется за СЭС промышленного типа, кроме Бангладеш, где фокус развития приходится на индивидуальные установки малой мощности.

Индекс «солнечности» энергетики менее 0,4.

К этой группе относятся:

- Финляндия, Швеция, Норвегия, Бразилия, Россия, Саудовская Аравия — страны, где в солнечной энергетике нет особой необходимости в связи с тем, что население полностью обеспечено электроэнергией за счет собственных энергоресурсов (99% электроэнергии в Норвегии вырабатывается на ГЭС, в районе 40% электроэнергии в Швеции вырабатывается на АЭС, 48% — на ГЭС [14], в Финляндии — 33% на АЭС, около 21% на ГЭС [11], в Бразилии — 65,2% на ГЭС [13], Россия полностью обеспечена традиционными энергоресурсами (первая в мире (2017 г.) по добыче сырой нефти [12], вторая после США по добыче природного газа, 6 в мире по добыче угля), Саудовская Аравия располагает 18% мировых запасов нефти и является крупнейшим ее экспортером.
- Польша, Хорватия — страны, где солнечная энергетика начала развиваться в последние 2 года в соответствии с энергетической политикой ЕС, но очень незначительными темпами, исключительно в рамках выполнения договоренностей. В Польше это связано с наличием значительных запасов угля (страна занимает второе место в Европе по его добыче). В результате, более 80% электроэнергии в стране вырабатывается на угольных ТЭС [13]. Мощная угольная промышленность, наличие собственных запасов угля, его конкурентоспособность по сравнению с другими энергоресурсами способствовало формированию оппозиции по отношению к экологическим мерам, введенным ЕС, что не могло не сказаться на темпах роста возобновляемой энергетики в целом. В Хорватии же около 50% всей электроэнергии вырабатывается на ГЭС, около 8% на АЭС.

- Египет, Турция, Мексика, Филиппины, Малайзия, ОАЭ – страны, где лишь в последние 2-3 года начали вводить в эксплуатацию солнечные установки, преимущественно промышленного типа.

2.4 Сохранение высокого уровня территориальной концентрации

Несмотря на пространственную экспансию, солнечно-энергетический комплекс характеризуется высокой степенью территориальной концентрации на различных уровнях: внутристрановом, страновом и макрорегиональном. На уровне макрорегионов — 42% фотовольтаических мощностей приходится на Европу, в гелиотермальной энергетике (без КСЭ) — 73% на АТР, в концентрирующей — более 50% на Европу.

На страновом уровне мировым лидером в фотовольтаике является Китай, на который приходится 33% всех электроэнергетических мощностей, в гелиотермальной — также Китай (около 70%), в концентрирующей — Испания (50%). Все данные по состоянию на 2017 г.

Особенно заметна тенденция к увеличению территориальной концентрации на внутристрановом уровне, где ядро образуют 3-4 региона, в отдельных случаях 1-2. Ганьсу, Цинхай, Цзянсу, Внутренняя Монголия в Китае, Бавария, Баден-Вюртемберг и Северный Рейн-Вестфалия в Германии, Эстремадура и Андалусия в Испании. Калифорния, Северная Каролина и Аризона в США, Оита, Айти, Аомори и Хоккайдо в Японии и т. д.

2.5 «Восточный дрейф»

Важнейшей тенденцией территориального развития мирового солнечно-энергетического комплекса в последние годы является его ускоренный рост в странах Восточной Азии и так называемый дрейф на восток. За период 2012-2017 гг. доля азиатских стран в мировых фотовольтаических мощностях выросла с менее чем 20% до более 40%, а в гелиотермальной энергетике — с 68% до 74%. Тогда как доля европейских стран упала — с 69% до 42% и с 17% до 11%, соответственно (согласно расчетам автора по [4, 5, 6, 7, 8, 9, 16]). Аналогичная «смена вектора развития наблюдалась в производстве комплектующих и оборудования для отрасли, а также в сфере услуг (дизайн, мониторинг, реклама и т. п.), то есть в секторах, где зачастую действуют одни и те же компании.

Основным мировым центром производства солнечных установок и комплектующих для них стал Китай, с которым конкурируют европейские страны и США. Китай занимает лидирующие позиции за счет того, что технологии по использованию энергии Солнца, впервые появившиеся в развитых странах Европы и США, в китайском исполнении оказываются гораздо дешевле (разница цен составляет порядка 20-25%), что связано со следующими факторами:

- экономия на масштабе. Китайские заводы обладают значительно большими производственными мощностями и объемом выхода продукции, чем заводы остальных стран. Крупнейший завод по производству солнечных модулей в

Китай имеет мощности в 3,2 ГВт, в то время как самый большой завод в Европе и США — 650 МВт.

- близость к поставщикам дешевого сырья.
- специализация на выпуске стандартных модулей (мультикристаллических модулей размером 60х60). Для сравнения компании США, Западной Европы и Японии исторически оперировали в рыночных сегментах, предоставляя больший диапазон размеров и технологий солнечных модулей.

В результате на Китай приходится более 60% мирового производства фотоэлементов, 70% солнечных модулей. В сложившейся ситуации европейским и американским компаниям ничего другого не остается, кроме как искать новые высокотехнологичные решения выхода из сложившейся ситуации, например, за счет специализации на производстве тонкопленочных солнечных модулей с меньшей эффективностью преобразования, но и с меньшими капитальными затратами.

Китай является бесспорным лидером и на рынке солнечных коллекторов, при этом он специализируется на производстве самых совершенных и технологически сложных, в то время как Европа и США активно развивают производство простейших дешевых гелиоустановок. Это связано с тем, что европейские и американские компании не выдерживают ценовую конкуренцию с Китаем в рамках производства технологически сложных коллекторов, которые благодаря своим техническим характеристикам наиболее эффективны для применения в самом Китае (кроме того, они требуют меньших денежных вложений в течение срока эксплуатации системы по сравнению с газовыми аналогами, что и определяет их популярность в стране).

Концентрирующая солнечная энергетика еще очень молодая отрасль, поэтому лидеры на мировом рынке еще не закрепились и меняются в зависимости от технологии и проекта. Тем не менее, концентрирующая солнечная энергетика является перспективной отраслью именно для развивающихся стран. Причины носят экономический и географический характер. Концентрирующая солнечная энергетика наиболее эффективна при размещении в районах тропического пояса с высоким уровнем солнечной радиации, выигрывает от эффекта масштаба и не имеет потребности в дорогих фотовольтаических материалах.

3 Выводы

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено, что сочетание традиционного ресурсного вектора и новых технологий позволило солнечной энергетике на равных конкурировать с традиционной углеводородной энергетикой и постепенно начать выигрывать государственные и индивидуальные потребительские предпочтения у своего главного конкурента — ветровой энергетике.

Было установлено, что результатом активного развития солнечно-энергетического комплекса является его пространственная экспансия. Если на

ранних этапах развития его территориальную структура носила ярко выраженный «евромоноцентрический» характер, то в последние десятилетия наблюдается процесс появления новых полюсов роста (особенно в Азиатской части), которые плавно превращают структуру комплекса в полицентрическую с тремя главными многоядерными центрами: европейским (Германия, Испания, Италия, Великобритания), североамериканским (США) и азиатским (Япония и Китай).

Выявлено, что важнейшей тенденцией территориального развития мирового солнечно-энергетического комплекса в последние годы является его ускоренный рост в странах Восточной Азии и так называемый дрейф на восток.

Литература

1. Акимов В. В., Типология стран по уровню развития солнечной энергетики. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2015. №4. С. 89–95.
2. Akimova V., Tikhotskaya I., A way to a sustainable future: the solar industry in Japan // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. 2015. Vol. 8, no. 03. P. 92–100.
3. Akimova V. Solar energy production: specifics of its territorial structure and modern geographical trends // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. 2018. Vol. 11, no. 3. P. 100–110.
4. Jäger-Waldau A. PV status report 2017: Research, Solar Cell Production and Market Implementations of Photovoltaics, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Italy, 2017. 90 p.
5. Информационно-аналитические сборники IRENA [Электронный ресурс] // IRENA. Режим доступа: <https://www.irena.org/publications> (дата обращения 10.02.2019).
6. Информационно-аналитические сборники National Renewable Energy laboratory [Электронный ресурс] // NREL. Режим доступа: <https://www.nrel.gov/research/publications.html> (дата обращения 10.02.2019).
7. Информационно-аналитические сборники Photovoltaics report 2009-2017 [Электронный ресурс] // Fraunhofer Institute for Solar Energy. Режим доступа: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/renewable-energy-data.html> (дата обращения 10.02.2019).
8. Информационно-аналитические сборники Solar Power Europe [Электронный ресурс] // Solar Power Europe. Режим доступа: <http://www.solarpowereurope.org/reports/global-market-outlook/> (дата обращения 10.02.2019).
9. Информационно-аналитические сборники Solar thermal markets in Europe - trends and market statistics [Электронный ресурс] // European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF). Режим доступа: <http://www.estif.org/publications/> (дата обращения 10.02.2019).
10. Информационно-аналитические сборники World Energy Resources 2017 [Электронный ресурс] // World Energy Council. Режим доступа: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/04/1.-World-Energy-Issues-Monitor-2017-Full-Report.pdf> (дата обращения 10.02.2019).
11. Официальный сайт финского статистического портала [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.stat.fi (дата обращения 10.02.2019).
12. Статистическая база данных BP Statistical Review of World Energy 2017 [Электронный ресурс] // BP. Режим доступа: <https://www.bp.com/content/dam/bp->

- country/de_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report. (дата обращения 08.02.2019).
13. Статистическая база данных EIA [Электронный ресурс] // EIA. Режим доступа: <http://www.eia.gov/beta/international/?fips=su> (дата обращения 10.02.2019).
 14. Consulting early on Swedish new nuclear build [Электронный ресурс]. // World Nuclear News. Режим доступа: www.world-nuclear-news.org/NN-Consulting-on-Swedish-new-build-1601141.html (дата обращения 10.02.2019).
 15. Nuclear power in Slovakia [Электронный ресурс] // World Nuclear Association. Режим доступа: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/slovakia.aspx> (дата обращения 10.02.2019).
 16. Renewables 2017 (2017), Global status report. Ren 21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf (дата обращения 10.02.2019).

References

1. Akimova V.V., Typology of countries in terms of the development of solar energy. Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography, 2015. №4. Pp. 89–95.
2. Akimova V., Tikhotskaya I., A way to a sustainable future: the solar industry in Japan // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. 2015. Vol. 8, no. 03. P. 92–100.
3. Akimova V. Solar energy production: specifics of its territorial structure and modern geographical trends // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. 2018. Vol. 11, no. 3. P. 100–110.
4. Jäger-Waldau A. PV status report 2017: Research, Solar Cell Production and Market Implementations of Photovoltaics, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Italy, 2017. 90 p.
5. Informational and analytical dataset IRENA [Online] // IRENA. Available at: <https://www.irena.org/publications> (accessed 10.02.2019).
6. Informational and analytical dataset National Renewable Energy laboratory [Online] // NREL. Available at: <https://www.nrel.gov/research/publications.html> (accessed 10.02.2019).
7. Informational and analytical dataset Photovoltaics report 2009-2017 [Online] // Fraunhofer Institute for Solar Energy. Available at: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/renewable-energy-data.html> (accessed 10.02.2019).
8. Informational and analytical dataset Solar Power Europe [Online] // Solar Power Europe. Available at: <http://www.solarpowereurope.org/reports/global-market-outlook/> (accessed 10.02.2019).
9. Informational and analytical dataset Solar thermal markets in Europe - trends and market statistics [Online] // European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF). Available at: <http://www.estif.org/publications/> (accessed 10.02.2019).
10. Informational and analytical dataset World Energy Resources 2017 [Online] // World Energy Council. Available at: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/04/1.-World-Energy-Issues-Monitor-2017-Full-Report.pdf> (accessed 10.02.2019).
11. Official website of the Finnish statistical portal [Online]. Available at: www.stat.fi (дата обращения 10.02.2019).

12. Statistical dataset BP Statistical Review of World Energy 2017 [Online] // BP. Available at: https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report. (accessed 08.02.2019).
13. Statistical dataset EIA [Online] // EIA. Available at: <http://www.eia.gov/beta/international/?fips=su> (дата обращения 10.02.2019).
14. Consulting early on Swedish new nuclear build [Online]. // World Nuclear News. Available at: www.world-nuclear-news.org/NN-Consulting-on-Swedish-new-build-1601141.html (accessed 10.02.2019).
15. Nuclear power in Slovakia [Online] // World Nuclear Association. Available at: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/slovakia.aspx> (accessed 10.02.2019).
16. Renewables 2017 (2017), Global status report. Ren 21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [Online]. Available at: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf (accessed 10.02.2019).

Solar energy in the XXI century: intersectoral complexes, the transformation of the territorial structure

V. V. Akimova ^{1,2}

¹ Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia

² Centre for strategies of regional development, Institute of Applied Economic Research, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Vernadskogo prospect, 84, 119571, Moscow, Russia

E-mail: varvaraakimova1576@gmail.com

Abstract. The article is dedicated to a geographical analysis of the solar energy complex of the world. In this paper, the definition of this concept is given, the main features and patterns of formation of its territorial organization are revealed, the classification of countries is presented depending on the values of the calculated index of the "solar specialization" of national energy complex. As a result of this profound study, we can conclude that there is now a gradual expansion in the geography of the solar energy complex around the world, contributing to the transformation of its territorial structure from the euromonocentric to the polycentric.

Keywords: economic geography, renewable energy sources, solar energy, solar-energy complex.

УДК 911.3:620.9(476).

ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ

Л. О. Жигальская^а

Институт экономики НАН Беларуси, 220072, г. Минск, ул. Сурганова 1, корп. 2, Республика Беларусь

E-mail: zhigalsk.geo1@mail.ru

Аннотация. Статья содержит экономико-географический анализ динамики развития гидроэлектроэнергетической отрасли в Республике Беларусь за период 2000 – 2017 гг. В работе рассматриваются особенности динамики производства электрической энергии, установленных мощностей и размещения гидроэлектроэнергетики в стране. В результате проведенного исследования сделан вывод о резком росте мощностного потенциала и расширении географии гидроэлектроэнергетики Беларуси в последние годы благодаря реализации государственных программ, что привело к сдвигам в региональной структуре и переходу территориальной структуры отрасли от очагово-локализованной к дискретно-локализованной.

Ключевые слова: экономическая география, гидроэлектростанция, динамика, территориальная структура, размещение.

1 Введение

Наблюдаемое активное развитие возобновляемой энергетики в Республике Беларусь с начала XXI века связано с глобальными тенденциями в данной сфере, направленными на решение проблем энергетического, экономического и экологического характера. Учитывая тот факт, что в Беларуси недостаточно углеводородного сырья для обеспечения нужд энергетического комплекса, увеличение использования возобновляемых энергоресурсов видится весьма перспективным направлением развития энергетики.

^аORCID 0000-0002-5313-0170

Важность развития гидроэлектроэнергетики в Беларуси обусловлено стремлением к комплексному развитию электроэнергетической отрасли в стране для обеспечения энергетической безопасности в сложившейся экономической ситуации. Несмотря на то, что в сравнении с другими странами мира (Китай – 1260 млрд кВт·ч; Россия – 850; Бразилия – 765 и т.д. [5]) гидроэнергетический потенциал республики невелик (2,5 – 3 млрд кВт·ч/год), в стране активно развивается гидроэлектроэнергетика, что позволяет снизить импортозависимость Беларуси от углеводородных ресурсов (нефть и природный газ), диверсифицировать энергоисточники, способствовать развитию возобновляемой энергетики и снижать экологическую нагрузку на окружающую среду, за счет отсутствия выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Актуальность данного исследования состоит в получении эмпирических данных об экономико-географических тенденциях, имеющих место в гидроэлектроэнергетике Беларуси, пространственной трансформации отрасли и ее региональной дифференциации на современном этапе с целью дальнейшего использования полученной информации при разработке программ и стратегий перспективного развития энергокомплекса страны и отдельных регионов.

2 Постановка проблемы

Активное развитие гидроэлектроэнергетики на территории Беларуси началось с 1935 г. Всего выделяется три временных периода активного развития гидроэлектроэнергетики: с 1935 г. до начала 1940-х гг. создавались гидроэлектростанции путем реконструкции бывших водяных мельниц; в 1950-х – начале 1960-х гг. проходило массовое строительство ГЭС, многие из которых были выведены из эксплуатации в связи с организацией централизованной энергосистемы в 1962 г.; с конца 1990-х по настоящее время были восстановлены многие гидроэлектростанции, что вызвано необходимостью наращивания производства электроэнергии, с одной стороны, и экономии органического топлива, с другой. За период 2000 – 2017 гг. гидроэлектроэнергетическая отрасль Беларуси претерпела изменения в территориальной структуре благодаря реализации положений государственных программ [1, 2, 6], стратегий [7, 11] и концепций [4], нацеленных на восстановление и строительство гидроэлектростанций в стране. Целью данного исследования выступает определение направленности процессов динамики и ее интенсивности в пространственной структуре гидроэлектроэнергетики Беларуси. Задачи исследования состоят в анализе показателей, характеризующих развитие данной отрасли в стране, определении специфики регионализации и размещения отрасли, выявлении характера изменений в территориальной структуре.

3 Результаты и обсуждение

В общей структуре производства электроэнергии на ГЭС в 2017 г. было выработано 1,17 %. Несмотря на то, что это очень низкое значение, учитывая ресурсные возможности для развития данной подотрасли, этот показатель существенно вырос за последние 17 лет. В 2000 г. удельный вес вырабатываемой на ГЭС электроэнергии в стране составлял 0,1 %, существенно он увеличился после 2012 г. (0,23 %).

За период с 2000 г. по 2011 г. производство электроэнергии на ГЭС в Беларуси оставалось достаточно стабильным с тенденцией медленного роста и колебалось в пределах 27 – 45 млн кВт·ч в год (рисунок 1). Резкое возрастание производства электроэнергии на ГЭС наблюдается в 2012 г. (до 70 млн кВт·ч), что обусловлено вводом в эксплуатацию Гродненской ГЭС (крупнейшей ГЭС на тот момент в Беларуси). Дальнейший рост генерации электрической энергии на ГЭС в стране связан с все большим вовлечением ГЭС в электроэнергетический баланс страны, а также с началом эксплуатации построенных в 2011 – 2017 гг. гидроэлектростанций (Витебская и Полоцкая ГЭС).



Рис. 1. Динамика производства электроэнергии на ГЭС в Республике Беларусь, 2000 – 2017 гг. Источник: составлено автором по данным [13].

Динамика установленных мощностей гидроэлектростанций на территории Беларуси характеризуется медленным ростом с 2000 по 2011 гг. (с 9 до 15 МВт) и резким увеличением за последние 5 лет с 31 МВт в 2012 г. до 88 МВт в 2017 г. Нарастание установленных мощностей в области гидроэлектроэнергетики Беларуси обусловлено стремлением страны к полному обеспечению потребностей в электроэнергии за счет использования местных энергоресурсов. В настоящее время установленные мощности всех электрических установок, использу-

ющих энергию естественного движения водных потоков, в стране составляют 96 МВт.

Водно-энергетический потенциал Беларуси свидетельствует о возможности развития малой гидроэлектроэнергетики. В настоящее время не существует единых критериев для всех стран мира при отнесении ГЭС к категории малых. При классификации малых ГЭС по общей установленной мощности в Австрии, Германии, Индии, Канаде, Китае, Франции к малым ГЭС относят электростанции мощностью до 5 МВт, в Венесуэле, Италии, Норвегии, Швейцарии, Швеции – до 2 МВт, в США – до 30 МВт, в России – 25 – 30 МВт [9]. Согласно классификации ЮНИДО к малым ГЭС относятся ГЭС с мощностью до 10 МВт, которые в свою очередь подразделяются на малые ГЭС – от 1 до 10 МВт, мини-ГЭС – от 0,1 до 1 МВт, микро-ГЭС – от 0,1 до 0,005 МВт, пико-ГЭС – менее 0,005 МВт.

В Беларуси принята следующая классификация ГЭС в зависимости от установленной мощности:

- крупные ГЭС – от 10 МВт и выше;
- малые ГЭС – от 1 до 10 МВт;
- мини-ГЭС – от 100 кВт до 1 МВт;
- микро-ГЭС – менее 100 кВт [9].

За период 2000 – 2017 гг. количество гидроэлектростанций в Беларуси увеличилось более чем в 3 раза с 15 до 50 ГЭС. Всего в республике в настоящее время (2017 г.) насчитывается 50 источников, производящих электроэнергию за счет использования энергии естественного движения водных потоков, в том числе 3 ГЭС (6 % от общего количества) относятся к категории крупных (Витебская, Полоцкая и Гродненская гидроэлектростанции), 3 (6 %) – к категории малых ГЭС (Чигиринская, Вилейская и Осиповичская гидроэлектростанции), 35 (70 %) – к мини-ГЭС и 9 (18 %) – к микро-ГЭС (таблица 1).

Таблица 1. Классы гидроэлектростанций Республики Беларусь

Классы ГЭС	Количество ГЭС					Доля класса ГЭС, %				
	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2017 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2017 г.
Крупные (от 10 МВт)	–	–	–	1	3	–	–	–	2	6
Малые (1 – 10 МВт)	2	3	3	3	3	13	12	8	7	6
Мини (0,1 – 1 МВт)	12	20	28	34	35	80	80	74	74	70
Микро (менее 0,1)	1	2	7	8	9	7	8	18	17	18
Всего	15	25	38	46	50	100	100	100	100	100

Источник: составлено автором по данным [3, 10].

Современная гидроэлектроэнергетика в Беларуси представлена предприятиями ГПО «Белэнерго» и объектами, находящимися в собственности других государственных организаций и предпринимательства, причем их соотношение установленных мощностей составило в 2017 г. 92 и 8 % соответственно, что говорит о доминировании ГПО «Белэнерго» в данном электроэнергетическом секторе.

Таблица 2 демонстрирует существенные изменения в региональной структуре установленных мощностей гидроэлектроэнергетики Республики Беларусь. В 2000 г. наибольшие мощности гидроэлектростанций Беларуси (4,0 МВт или 45 % от общего количества установленных мощностей ГЭС в Беларуси) были сконцентрированы в Могилевской области, в 2017 г. лидером становится Витебская область (65 МВт или 69 %). Доля Гродненской области существенно возросла после ввода в строй Гродненской ГЭС в 2012 г. с 18 % до 62 %, однако после строительства Полоцкой и Витебской ГЭС в Витебской области, снизилась до 21 % (2017 г.) к тому же в абсолютном выражении мощности Гродненской области в настоящее время составляют 19,8 МВт. Несмотря на то, что в Брестской и Минской областях удельные мощности ГЭС постоянно возрастают, их доля в 2017 г. составила 2 % и 4,2 % соответственно. В Гомельской области ГЭС отсутствуют, но запланировано строительство мини-ГЭС на р. Ипуть [8].

Таблица 2. Динамики структуры установленных мощностей гидроэлектроэнергетики в разрезе областей Республики Беларусь, 2000 – 2017 гг.

Области	Установленные мощности электроэнергетической системы					
	2000 г.		2010 г.		2017 г.	
	ГВт	%	ГВт	%	ГВт	%
Брестская	0,1	1,0	0,9	6,7	2,0	2,1
Витебская	2,2	24,7	3,0	21,8	65,4	68,5
Гомельская	—	—	—	—	—	—
Гродненская	1,5	17,1	2,5	18,1	19,8	20,7
Минская	1,1	12,5	3,4	24,3	4,2	4,4
Могилевская	4,0	44,7	4,0	29,1	4,1	4,3
Республика Беларусь	9,1	100,0	13,9	100,0	95,5	100,0

Источник: составлено автором по данным [3, 10].

Региональные особенности развития гидроэлектроэнергетики связаны в первую очередь с наличием ресурсного потенциала для развития данной подотрасли, т.к. именно ресурсная составляющая определяет уровень и возможность развития гидроэлектроэнергетики в том или ином регионе страны.

Административные районы Беларуси, где развивается гидроэлектроэнергетика, разделяются на два типа по динамике установленных мощностей за период 2000 – 2017 гг.: 1 Тип. Районы с положительной динамикой установленных мощностей и 2 Тип. Районы со стабильной динамикой, соотношение которые 28 % (10 районов) и 72 % (26 районов) соответственно (таблица 3). К районам с

положительной динамикой установленных мощностей гидроэлектроэнергетики относятся те, где увеличились мощности ГЭС либо были введены в эксплуатацию новые гидроэлектростанции при уже существующих ГЭС. Среди них Браславский, Вилейский, Витебский, Гродненский, Дятловский, Жабинковский, Минский, Молодечненский, Слонимский, Смолевичский районы (рисунок 2). Отметим, что районы, где увеличились мощности гидроэлектроэнергетики сосредоточены преимущественно на северо-западе страны, что обусловлено ресурсным фактором, с одной стороны, и потребительским, с другой.

Таблица 3. Структура административных районов по характеру динамики установленных мощностей гидроэлектроэнергетики Республики Беларусь, 2000 – 2017 гг.

Типы районов по характеру динамики установленных мощностей ГЭС	Количество районов	% от общего числа районов, имеющих на своей территории ГЭС	% от общего количества районов страны
Тип 1. Районы с положительной динамикой	10	28	8
Тип 2. Районы со стабильной динамикой	26	72	22
Районы не располагающие мощностями ГЭС	82	—	70

Источник: составлено автором.



Рис. 2. Типология административных районов Республики Беларусь по характеру динамики установленных мощностей гидроэлектростанций, 2000 – 2017 гг. Источник: составлено автором.

Имеет место трансформация гидроэлектроэнергетики в разрезе административных районов Беларуси. Отметим рост числа административных районов, располагающих мощностями гидроэлектроэнергетики: если в 2000 г. ГЭС были

сосредоточены в 15 районах, то к 2017 г. в 36 районах (таблица 4). Кроме того заметна тенденция к территориальной деконцентрации подотрасли: снижается удельный вес районов, сосредотачивающих более 1 % от всех мощностей гидроэлектроэнергетики страны с 19 % от общего числа районов страны в 2010 г. до 7 % в 2017 г. Более 10 % мощностей гидроэлектроэнергетики страны в 2000 г. было сосредоточено в трех административных районах Осиповичском (24 % от общего объема установленных мощностей), Кировском (17 %) и Браславском (11 %), где соответственно располагались крупнейшие по мощности ГЭС страны: Осиповичская (2175 кВт), Чигиринская (1500 кВт) и Богинская (958 кВт).

Таблица 4. Динамика структуры административных районов Республики Беларусь по доле установленных мощностей гидроэлектроэнергетики в районе, 2000 – 2017 гг.

Доля мощностей гидро- электроэнергетики в районе, % от страны	2000 г.			2005 г.			2010 г.			2015 г.			2017 г.		
	1*	2**	3***	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Менее 0,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4	11	3
0,1 – 1	1	7	1	4	18	3	8	26	7	20	57	17	24	67	20
1 – 10	11	73	9	14	64	12	20	65	17	14	40	12	5	14	4
Более 10	3	20	3	4	18	3	3	10	2	1	3	1	3	8	3
Всего	15	100	13	22	100	18	31	100	26	35	100	30	36	100	30
Районы не располагаю- щие мощностями ГЭС	103	–	87	96	–	82	87	–	74	83	–	70	82	–	70

Примечание: 1* – количество районов; 2** – % от общего числа районов, имеющих на своей территории ГЭС; 3*** – % от общего количества районов страны

Источник: составлено автором по данным [3, 10].

Оценка процесса географической концентрации установленных мощностей отрасли была выполнена с использованием анализа индекса Херфиндаля – Хиршмана (ННН), рассчитанным в динамике за период 2000 – 2017 гг. по формуле (1):

$$ННН = \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (1)$$

где ННН – индекса Херфиндаля – Хиршмана; n – количество единиц совокупности; d_i – доля (удельный вес) i -й единицы в общем объеме изучаемого признака [12].

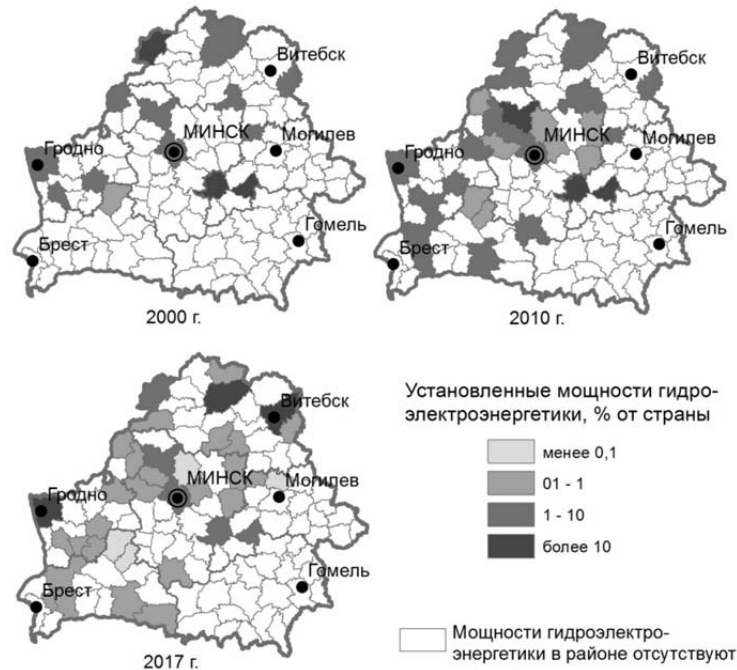


Рис. 3. Доля мощностей гидроэлектроэнергетики в разрезе административных районов Республики Беларусь, 2000 – 2017 гг. Источник: составлено автором.

Согласно таблице 5 на уровне областей за исследуемый период концентрация отрасли в целом возросла, испытав территориальную деконцентрацию, но начиная с 2012 г. наблюдается процесс концентрации. Значение индекса Херфиндаля – Хиршмана для электроэнергетики составило 5159 % в 2017 г., что указывает на очень высокую концентрацию мощностей предприятий отрасли на уровне областей. Анализ распределения установленных мощностей электроэнергетики на уровне административных районов Беларуси (значение *HHI* колеблется от 734 % (2011 г.) до 3147 % (2012 г.) за период 2000 – 2017 гг.) позволил выявить тренд к повышению территориальной концентрации отрасли.

Таблица 5. Концентрация мощностей электроэнергетики Республики Беларусь (индекс Херфиндаля – Хиршмана), 2000 – 2017 гг., %

Территориальный уровень	Год					Тренд процесса территориальной концентрации за период 2000 – 2017 гг. / степень территориальной концентрации на конец периода
	2000	2005	2010	2015	2017	
Области	3058	2547	2285	3850	5159	рост концентрации / высококонцентрированное
Районы	1233	968	751	2822	2692	рост концентрации / высококонцентрированное

Источник: составлено автором.

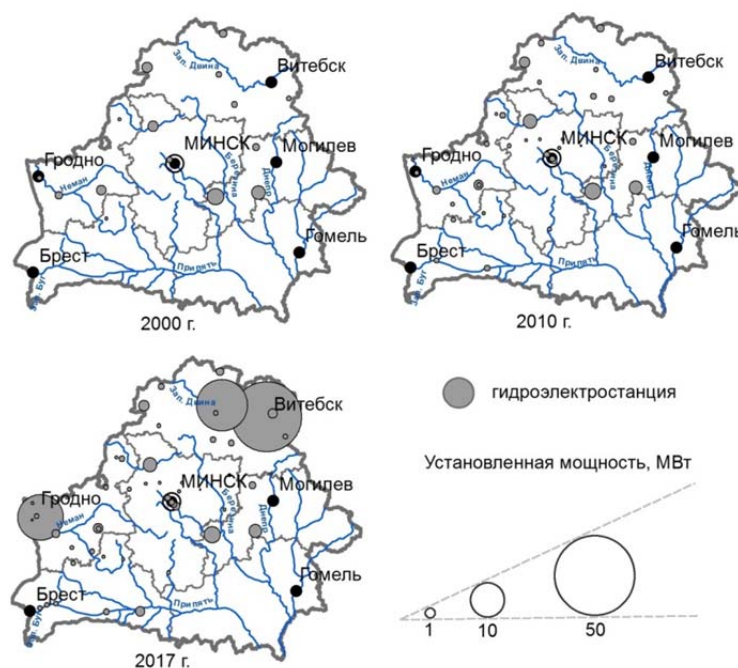


Рис. 4. Динамика размещения гидроэлектростанций в Республике Беларусь, 2000 – 2017 гг. Источник: составлено автором.

За период 2000 – 2017 гг. произошли пространственные сдвиги в распределении мощностей ГЭС по территории Беларуси. До 2000 г. основные мощности были сконцентрированы в бассейне Днепра, с 2000 по 2010 гг. растут мощности в бассейне Немана и Вилии (рисунок 4). К 2017 г. введены в эксплуатацию мощности в бассейне Западной Двины и Припяти. Таким образом, гидроэлектроэнергетика Беларуси имеет тенденцию к территориальному распространению по всей стране, за исключением ее восточной (восток Могилевской области) и юго-восточной части (Гомельская область).

Современная территориальная структура гидроэлектроэнергетики Беларуси является результатом поступательного управляемого развития всей электроэнергетической отрасли. Размещение ГЭС, их мощности и производительность находятся в непосредственной зависимости от ресурсного потенциала территории. Гидроэнергетические условия республики позволяют развивать преимущественно малую гидроэнергетику, однако, в последнее время в стране были осуществлены и продолжают осуществляться ряд проектов по строительству и вводу в эксплуатацию крупных ГЭС – Гродненской, Полоцкой, Витебской, Бешенковичской, Верхнедвинской, Немновской, Шкловской и других, что связано с необходимостью снижения импортозависимости от энергоисточников и повышения энергетической самостоятельности страны.

Для комплексного анализа изменений в территориальной структуре гидроэлектроэнергетики Беларуси была построена территориальная модель отрасли в динамике, которая представляет собой картографическую схему «ядро – зона», где ядра (центры) подотрасли отображают отдельные или совокупность крупнейших по мощности гидроэлектростанций, и две зоны: полупериферии (районы, где производится электроэнергия на ГЭС) и периферии (районы, производящие электроэнергию на данном типе электростанций), выделенные по административным районам страны.

Территориальная структура гидроэлектроэнергетики Беларуси оценивалась с двух позиций:

1) пространство, охваченное процессами производства и потребления электроэнергии на ГЭС, дифференцировалось в зависимости от интенсивности данных процессов на уровне административных районов, которые объединяясь либо разграничиваясь в пространстве, представляют свойство территориальной целостности (очаговость, дискретность, континуальность);

2) расположение отдельных предприятий отрасли и их совокупностей в пределах выделенных пространственных зон определялось по количественным (количество ядер) и качественным (удаленность ядер друг от друга и их порядковая значимость) характеристикам, которые позволяют сделать вывод о локализованном либо рассредоточенном размещении.

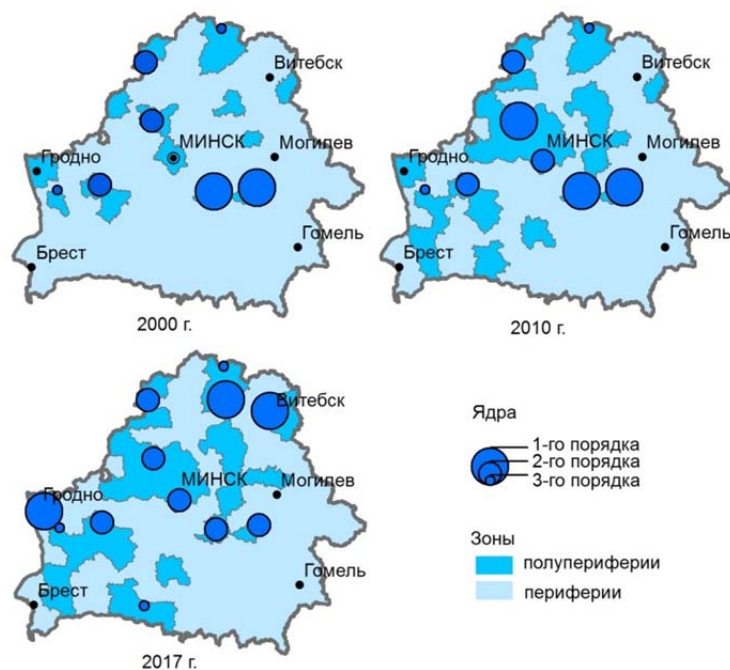


Рис. 5. Территориальная модель гидроэлектроэнергетики Республики Беларусь, 2000 – 2017 гг. Источник: составлено автором.

Таким образом, территориальная структура гидроэлектроэнергетики Беларуси претерпела изменения: расширилась зона полупериферии, если в 2000 г. ею было охвачено 13 % от общего количества административных районов Беларуси, то в 2017 г. – 31 %, увеличилось количество ядер в территориальной структуре гидроэлектроэнергетики с 7 до 12 за период 2000 – 2017 гг. (рисунок 4). Современная территориальная структура гидроэлектроэнергетики Беларуси представляет собой целостный комплекс с тремя крупными центрами, 2 из которых находятся на севере страны и представлены Полоцкой и Витебской ГЭС (р. Западная Двина), и одним на западе – Гродненская ГЭС. Средние по мощности центры подотрасли (6) находятся на северо-западе страны – Богинская и Вилейская ГЭС, в центральной и центрально-западной частях страны – Гезгальская ГЭС и ряд ГЭС, расположенных близ Минска (Заславская ГЭС, МГЭС «Дрозды», МГЭС на Минской очистной станции, МГЭС ТЭЦ-2 и МГЭС ТЭЦ-3) и в центрально-восточной части – Осиповичская и Чигиринская ГЭС. Малые ядра отрасли представлены МГЭС «Стахово» (Столинский район), Клястицкой ГЭС (Россонский район) и Волпянской ГЭС (Волковысский район), которые суммарно составляют 2 % от общего объема установленных мощностей ГЭС в Беларуси. В гидроэлектроэнергетике страны произошел переход от очагово-локализованной к дискретно-локализованной территориальной структуре.

Гидроэлектроэнергетика Беларуси к настоящему моменту представляет собой часть электроэнергетического комплекса с устойчивыми позициями в наращивании мощностей посредством строительства новых электростанций, что способствует расширению ее географии, и ростом в общей структуре электрогенерации. Однако изменения, происходящие в отрасли, не являются кардинальными на фоне всего электроэнергетического комплекса страны, за исключением строительства и ввода в эксплуатацию крупных гидроэлектростанций, что привело к существенным изменениям в территориальной структуре самой гидроэлектроэнергетики Беларуси.

4 Заключение

Таким образом, в результате проведенного исследования были определены экономико-географические тенденции развития гидроэлектроэнергетики в Республике Беларусь за период 2000 – 2017 гг., которые заключаются в следующем:

- за исследуемый период произошел существенный рост (в 15 раз) производства электроэнергии на ГЭС в Беларуси, что обусловлено стремительным ростом установленных мощностей (в 10 раз);
- значительно возросла доля электрической энергии, производимой на гидроэлектростанциях в общей структуре производства;
- для страны характерно преимущественно развитие малой гидроэнергетики локального значения, со строительством единичных крупных электростанций

в последние годы, предусмотренным программными документами развития электроэнергетического сектора Беларуси;

- пространственно-временная динамика развития подотрасли характеризуется резким изменением региональной структуры гидроэлектроэнергетического производства в сторону преобладания северных и западных регионов (Витебская и Гродненская области) и расширением географии отрасли: все большее число административных районов участвует в производстве электроэнергии на ГЭС;
- прослеживается общая тенденция на разных территориальных уровнях (области, административные районы) к повышению территориальной концентрации установленных мощностей отрасли, размещение которых по территории страны оценивается как высококонцентрированное (значение ННІ более 2000 %);
- построенная обобщенная территориальная модель гидроэлектроэнергетики Беларуси в динамике за период 2000 – 2017 гг., позволила сделать вывод о переходе территориальной структуры от очагово-локализованной к дискретно-локализованной, характеризующаяся расширением зоны полупериферии и появлением новых ядер развития отрасли в связи с вводом в эксплуатацию Гродненской, Полоцкой и Витебской ГЭС.

Литература

1. Государственная программа строительства в 2011–2015 годах гидроэлектростанций в Республике Беларусь: постановление Совета Министров, 17 дек. 2010 г., № 1838 // Официальный сайт Министерства энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/arhiv-programmy-2010-2015/> (дата обращения 29.06.2017).
2. Государственная программа «Энергосбережение» на 2016 – 2020 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 марта 2016 г., № 248 // Официальный сайт Министерства энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/koncepcii_i_proframmi/ (дата обращения 29.06.2017).
3. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://minpriroda.of.by/Charts> (дата обращения 24.01.2019).
4. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 дек. 2015 г., №1084 // Официальный сайт Министерства энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://minenergo.gov.by/wp-content/uploads/%D0%9F23.12.2015%E2%84%961084-%D0%B8-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf> (дата обращения 09.04.2017).
5. Максаковский В.П. Географическая картина мира. В 2 кн. Кн. 1. Общая характеристика мира. М.: Дрофа, 2008. 495 с.
6. Отраслевая программа развития электроэнергетики на 2016 – 2020 годы: постановление Министерства энергетики Респ. Беларусь, 31.03.2016 № 8 // Официальный

- сайт Министерства энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/zakoni_rb_v_energetiki/ (дата обращения 07.02.2017).
7. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. // НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.economy.gov.by/dadvfiles/001251_55175_NSUR.pdf (дата обращения 19.05.2016).
 8. Оценка воздействия на окружающую среду реализации мероприятий по объекту «Строительство МГЭС на реке Ипуть в г. Добруш Гомельской области» / РУП «ЦНИИКИВР»; рук. В.Н. Корнеев. Минск, 2017. 102 с. Режим доступа: <http://www.dobrush.gomel-region.by/uploads/files/Otchet-OVOS-Dobrush.pdf> (дата обращения 27.06.2018).
 9. Разработка алгоритма расчетов гидроэнергетического потенциала средних и малых рек Беларуси с учетом естественных и антропогенных изменений: отчет о НИР (промежуточный) / РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»; рук. темы П.П. Рутковский. Минск, 2016. 81 с. № ГР 20163206.
 10. Реестр выданных сертификатов о подтверждении происхождения энергии по состоянию на 28.09.2017 / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Reestr-sertifikatov-na-20092017.docx (дата обращения 30.01.2017).
 11. Стратегия развития энергетического потенциала Республики Беларусь: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 августа 2010 г. № 1180 // Официальный сайт Министерства энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/arhiv-programmy-2010-2015/> (дата обращения 18.01.2016).
 12. Толмачев М.Н. Методология расчета показателей концентрации сельскохозяйственного производства. Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки. 2010. Том 10, выпуск 2. С. 103 – 111.
 13. Энергетический баланс Республики Беларусь: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И.В. Медведева (председ. редкол.) [и др.]. Минск, 2018. 154 с.

References

1. State programme for the construction of hydroelectric power stations in the Republic of Belarus in 2011 – 2015: Resolution of the Council of Ministers, December 17. 2010, № 1838 // Official website of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus [Electronic resource]. Available at: <http://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/arhiv-programmy-2010-2015/> (accessed 06.29.2017).
2. The state programme «Energy Saving» for 2016 – 2020: Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, March 28, 2016, No. 248 // Official website of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus [Electronic resource]. Available at: http://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/kon-cepicii_proframmi/ (accessed 06.29.2017).

3. State cadastre of renewable energy sources // Ministry of Natural Resources and Environmental Protection [Electronic resource]. Available at: <http://minpriroda.of.by/Charts> (accessed 01.24.2019).
4. The concept of energy security of the Republic of Belarus: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, Dec 23 2015, №1084 // Official website of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus [Electronic resource]. Available at: <http://minenergo.gov.by/wp-content/uploads/%D0%9F23.12.2015%E2%84%961084-%D0%B8-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf> (accessed 04.09.2017).
5. Maksakovsky V.P. Geographical picture of the world. In 2 books. Prince 1. General characteristics of the world. M.: Drofa, 2008. 495 p.
6. Sectoral programme for the development of the electric power industry for 2016 – 2020: Decree of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus, 03/31/2016 No. 8 // Official website of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus [Electronic resource]. Available at: http://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/zakoni_rb_v_energetiki/ (accessed 07.02.2017).
7. National strategy for sustainable socio-economic development of the Republic of Belarus for the Period up to 2030. // SRIE of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus [Electronic resource]. Available at: http://www.economy.gov.by/dadvfiles/001251_55175_NSUR.pdf (accessed 05.19.2016).
8. Environmental impact assessment of the implementation of measures for the project «Construction of a small hydropower station on the Iput river in the town of Dobrush, Gomel region» / RUE «CRICUWR»; head V.N. Korneyev. Minsk, 2017. 102 p. Available at: <http://www.dobrush.gomel-region.by/uploads/files/Otchet-OVOS-Dobrush.pdf> (accessed 27.06.2018).
9. Development of an algorithm for calculating the hydropower potential of medium and small rivers of Belarus taking into account natural and anthropogenic changes: research report (intermediate) / RUE «CRICUWR»; head of project P.P. Rutkovsky. Minsk, 2016. 81 p. No. GR 20163206.
10. Register of issued certificates of confirmation of the origin of energy on the 28.09.2017/ Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus [Electronic resource]. Available at: www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Reestr-sertifikatov-na-20092017.docx (accessed 01.30.2017).
11. Strategy for the development of the energy potential of the Republic of Belarus: approved. Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of August 9, 2010 No. 1180 // Official website of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus [Electronic resource]. Available at: <http://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/arhiv-programmy-2010-2015/> (accessed 01.18.2016).
12. Tolmachev M.N. Methodology for calculating the concentration of agricultural production. Bulletin of the NSU. Series: Socio-economic sciences. 2010. Volume 10, Issue 2. S. 103 – 111.
13. Energy balance of the Republic of Belarus: statistics / National Statistical Committee of the Republic of Belarus; Editor.: I.V. Medvedeva [et al.]. Minsk, 2018. 154 p.

ECONOMIC AND GEOGRAPHICAL FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF HYDROELECTRIC POWER INDUSTRY IN BELARUS

L.O. Zhigalskaya

Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus, 220072, Minsk, Sur-
ganova st. 1/2, Republic of Belarus

E-mail: zhigalsk.geo1@mail.ru

Annotation. The article contains an economic and geographical analysis of the dynamics of the development of the hydroelectric power industry in the Republic of Belarus for the period 2000 – 2017. The paper discusses the features of the dynamics of the production of electric energy, installed capacity and location of hydroelectric power industry in the country. As a result of the study, we can conclude, that there are the sharp growth of the power potential and geography expansion of the hydroelectric power industry in Belarus in recent years thanks to the implementation of state programmes, which led to shifts in the regional structure and the transition of the territorial structure of the industry from focal-localized to discrete-localized.

Keywords: economic geography, hydroelectric power station, dynamics, territorial structure, location.