

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА В КОНТЕКСТЕ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Учебное пособие



**Коллектив авторов:
Е.И. Голубева, С.В. Киселёва, Н.И. Чернова,
Ю.Ю. Рафикова, А.А. Саянов, Л.В. Нефёдова,
А.И. Прасолова, Н.И. Тульская**

Москва
Издательство «Наука»
2021

УДК 620
ББК 31.15
В64

*Печатается по решению Ученого совета
географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова*

Рецензенты:

главный научный сотрудник Объединенного института высоких температур РАН
д-р техн. наук, проф. О.С. Попель,
директор Института региональных исследований Балтийского федерального университета
имени И. Канта д-р геогр. наук, проф. Г.М. Фёдоров

Коллектив авторов:

Е.И. Голубева (предисловие; раздел 1.1; глава 9), *С.В. Киселёва* (предисловие; глава 1;
главы 2 и 4), *Н.И. Чернова* (главы 3 и 8), *Ю.Ю. Рафикова* (главы 6 и 7), *А.А. Саянов* (глава 9),
Л.В. Нефёдова (глава 5), *А.И. Прасолова* (главы 6 и 7), *Н.И. Тульская* (главы 6 и 7)

В64 Возобновляемая энергетика в контексте регионального развития:
учебное пособие / Е.И. Голубева, С.В. Киселёва, Н.И. Чернова, Ю.Ю. Рафикова
и др.; под общей ред. Е.И. Голубевой и С.В. Киселёвой. – М.: Издательство
«Наука», 2021. – 248 с.: табл., ил. – ISBN 978-5-907279-40-7.

В пособии рассматриваются актуальные проблемы и перспективы использования возобновляемой энергетики в региональном развитии. Разделы пособия включают современную классификацию возобновляемых источников энергии, характеристику технологий возобновляемой энергетики и «зеленого» строительства, тенденций развития возобновляемой энергетики в мире и в России, региональных особенностей использования возобновляемых источников энергии, рисков в возобновляемой энергетике, методику оценок потенциалов возобновляемой энергетики на региональном уровне и их картографирования. Издание содержит результаты научных исследований и методические разработки, созданные совместно сотрудниками научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии, кафедры рационального природопользования и кафедры картографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Для магистрантов, а также студентов, обучающихся по программам энергетики, рационального природопользования и геоэкологии, экономики природопользования.

R48 Renewable energy in the context of regional development: tutorial / E.I. Golubeva,
S.V. Kiseleva, N.I. Chernova, Yu.Yu. Rafikova et al.; edited by E.I. Golubeva, S.V. Kiseleva. –
M.: Publishing House “Science”, 2021. – 248 p.: table., pic. – ISBN 978-5-907279-40-7.

The tutorial discusses current problems and prospects for the use of renewable energy in regional development. The sections of the manual include a modern classification of renewable energy sources, a description of renewable energy technologies and "green" construction, trends in the development of renewable energy in the world and in Russia, regional features of the use of renewable energy sources, risks in renewable energy, a methodology for assessing the potential of renewable energy at the regional level and its mapping. The paper contains the results of scientific research and methodological developments, created jointly by employees of the Research Laboratory of Renewable Energy Sources, the Department of Environmental Management and the Department of Cartography of the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University.

The tutorial is recommended for undergraduates, as well as students studying energy, environmental management and geocology, environmental economics programs.

*Пособие подготовлено при поддержке Благотворительного фонда Владимира Потанина
в рамках проекта «Разработка учебного курса
«Возобновляемая энергетика в контексте регионального развития»»*

ISBN978-5-907279-40-7

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021
© Коллектив авторов, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Foreword.....	10
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ: ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ И НЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ	13
1.1. Роль энергетических ресурсов в истории развития человечества. Доиндустриальные, индустриальные и постиндустриальные общества и преобладающие виды используемых энергетических ресурсов.....	14
1.2. Возобновляемые источники энергии: определения, классификация.....	21
1.3. Запасы возобновляемых и не возобновляемых источников энергии, их географическое распределение	24
1.4. современное состояние использования возобновляемых источников энергии	29
1.5. география возобновляемой энергетики российской федерации	36
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>44</i>
<i>Литература по разделу.....</i>	<i>45</i>
ГЛАВА 2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	47
2.1. Технологии солнечной энергетики.....	48
2.2. Технологии ветроэнергетики	51
2.3. Технологии гидроэнергетики	54
2.4. Краткая характеристика технологий геотермальной энергетики.....	60
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>62</i>
<i>Литература по теме.....</i>	<i>62</i>

ГЛАВА 3. БИОЭНЕРГЕТИКА: ИСТОЧНИКИ БИОМАССЫ, ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ, ВИДЫ БИОТОПЛИВА	63
3.1. Традиционные виды биомассы для получения энергии	64
3.2. Технологии получения энергии из биомассы	67
3.3. Получение жидких биотоплив	80
<i>Контрольные вопросы и задания.</i>	93
<i>Литература по разделу</i>	93
ГЛАВА 4. РЕСУРСЫ И ПОТЕНЦИАЛЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ: МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ	95
4.1. Ресурсы солнечной энергии. Источники данных для определения ресурсов солнечной энергии. Методика определения ресурсов и потенциалов солнечной энергии	96
4.2. Ресурсы ветровой энергии. источники данных для определения ресурсов ветровой энергии. Методика определения потенциалов ветровой энергии	106
4.3. Ресурсы биоэнергетики: источники данных и методики определения	117
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	126
<i>Литература по разделу</i>	128
ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИНАНСОВЫЕ РИСКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	129
5.1. Воздействие объектов возобновляемой энергетики на окружающую среду. Экологические и финансовые риски при использовании возобновляемых источников энергии	130
5.2. Экологическое воздействие и экологические риски в возобновляемой энергетике	131
5.3. Анализ рисков и риск-менеджмент в возобновляемой энергетике	151
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	163
<i>Литература по разделу</i>	165

ГЛАВА 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К КАРТОГРАФИРОВАНИЮ РЕСУРСОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	166
6.1. Последовательность региональной оценки и картографирования ресурсов возобновляемой энергетики	167
6.2. Особенности картографирования характеристик ветровой и солнечной энергии	173
6.3. Особенности картографирования факторов, влияющих на размещение объектов солнечной и ветровой энергетики	175
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	185
<i>Литература к разделу</i>	186
ГЛАВА 7. ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ	187
7.1. Геоинформационные системы глобального масштаба	188
7.2. Региональные геоинформационные системы	197
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	205
<i>Литература по разделу</i>	205
ГЛАВА 8. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БИОЭНЕРГЕТИКИ	207
8.1. Микроводоросли как нетрадиционный вид биомассы для энергетических целей	208
8.2. Получение бионефти из микроводорослей технологиями пиролиза и гидротермального сжижения	217
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	221
<i>Литература по разделу</i>	221
ГЛАВА 9. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ «ЗЕЛЁНОГО» СТРОИТЕЛЬСТВА	223
9.1. Зеленое строительство: основные понятия, стандарты и географические факторы развития	224
9.2. Энергопотребление систем жизнеобеспечения в зданиях	229

9.3. Международные и российские системы сертификации «зеленых» зданий	239
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	244
<i>Литература по разделу</i>	244
Сведения об авторах	246

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная энергетика является базовой отраслью промышленности всех стран мира и создает (генерирует) продукт, являющийся основой жизни современного человеческого общества. Озабоченность человечества проблемами, связанными с влиянием на окружающую среду традиционной энергетике – тепловой и атомной, – стремление к диверсификации источников энергии, развитие науки и техники, а также ряд других факторов привели в последние десятилетия к значительному росту интереса к возобновляемым источникам энергии и развитию технологий, их использующих. Россия, начав развитие собственной возобновляемой энергетике (ВЭ) позднее современных лидеров возобновляемой энергетике, в 2010-х годах, создав государственную систему поддержки отрасли, поддержав развитие технологий и создание собственного производства оборудования для отрасли. Позиция эта понятна и определяется в первую очередь колоссальными запасами углеводородных ресурсов, развитой атомной энергетикой, колоссальным опытом строительства и эксплуатации крупных гидроэлектростанций. Одним из основных стимулов развития ВЭ в России в этих условиях является необходимость развития широко востребованных в мире технологий, создание производственных цепочек с перспективой выхода на мировой рынок. В определенной степени развитие возобновляемой энергетике в России становится актуальным также в связи с усилившимся в последние годы давлением климатической повестки, поддержанной большинством стран запада, и способным привести к снижению конкурентоспособности ряда российских компаний – экспортеров на европейском рынке. В связи с этим чрезвычайно важным становится развитие образования в области возобновляемой энергетике, причем не только в технических вузах, но и в вузах географического профиля.

Роль специалистов – географов и экологов в области возобновляемой энергетике не ограничивается только оценкой воздействия на окружающую среду станций большой мощности. Важными направлениями практических работ и научных исследований, для проведения которых требуются компетенции географа, являются оценка ресурсов, потенциальной производительности станций, выбор площадок для строительства объектов возобновляемой энергетике с учетом физико-

географических и социально-экономических условий и т.д. При этом необходимым является формирование у будущих специалистов объективного и взвешенного отношения к возобновляемой энергетике, которая должна быть использована там и тогда, где она востребована, обеспечена достаточными ресурсами и конкурентоспособна по сравнению с технологиями традиционной энергетики.

В связи с этим большое значение в возобновляемой энергетике следует уделять детальному анализу территории, в том числе с использованием методов картографии и ГИС-технологий и привлечением современных источников метеорологических (в том числе актинометрических) и статистических данных. Поскольку как ресурсы, так и ниши использования возобновляемых источников энергии в пределах огромной территории России чрезвычайно разнообразны, это заставляет рассматривать потенциал развития ВЭ в нашей стране на уровне отдельных регионов. Именно такой масштаб исследований позволяет перейти к более конкретным объектам исследования и получить результаты, дающие основу для решения практических задач этой интересной и перспективной отрасли современной энергетики.

Основной целью учебного курса «Возобновляемая энергетика в контексте регионального развития» является формирование у студентов базовых представлений о современных инновационных технологиях в области возобновляемой энергетике, «зеленом» строительстве и устойчивом ландшафтном дизайне, экологических и ресурсных аспектах их использования с учетом региональной специфики.

В курс включены разделы, раскрывающие современные технологии возобновляемой энергетике, масштабы использования возобновляемых источников энергии в странах мира и регионах России, механизмы поддержки развития ВЭ на страновом и региональном уровне, задачи и методы оценки ресурсов различных видов ВИЭ, направления использования географических методов (сравнительно-географических, картографических, метеорологических, социально-экономических) при решении задач современной возобновляемой энергетике, зеленого строительства и ландшафтного проектирования. Студенты будут ознакомлены с методами оценки потенциалов и производительности энергетических объектов на ВИЭ и экологических аспектов их деятельности с

учетом физико-географических и социально-экономических особенностей регионов России.

Данный курс восполняет направления в образовательном процессе, которые в настоящее время не присутствуют в ВУЗах на факультетах географической направленности, но которые тем не менее становятся весьма востребованными в современной энергетике и особенно в возобновляемой энергетике, «зеленом» строительстве, устойчивом ландшафтном дизайне.

Учебное пособие соответствует требованиям ФГОС ВО и предназначено для студентов ВУЗов, обучающихся по направлениям подготовки:

03.03.06 – Экология и природопользование (уровень бакалавриата);

05.04.06 – Экология и природопользование (уровень магистратуры).

Каждый раздел пособия снабжен списком литературы и контрольными вопросами и заданиями, которые позволяют учащимся – самостоятельно или совместно с преподавателем – проверить усвоение материала и выполнить практические задания. Интернет-источники, в том числе видео-материалы, интерактивные карты, атласы, ГИС, открытые программные продукты позволяют более результативно усвоить учебный материал и получить ряд практических навыков.

Авторский коллектив: Е.И. Голубева (Предисловие, раздел 1.1 главы 1, глава 9), С.В.Киселева (Предисловие, главы 1, 2 и 4), Н.И. Чернова (главы 3 и 8), Ю.Ю. Рафикова (главы 6 и 7), А.А. Саянов (глава 9), Л.В.Нефедова (глава 5), А.И. Прасолова (главы 6 и 7), Н.И. Тульская (главы 6 и 7).

Пособие подготовлено при поддержке Благотворительного фонда Владимира Потанина в рамках проекта «Разработка учебного курса «Возобновляемая энергетика в контексте регионального развития»» (руководитель проекта: профессор, д-р биол. наук Елена Ильинична Голубева) и Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

FOREWORD

Modern energy is the basic industry of all countries of the world and creates (generates) a product that is the basis of the modern human society life. The concern of humanity with the problems associated with the environmental impact of traditional energy - thermal and nuclear - the desire to diversify energy sources, the development of science and technology, as well as a number of other factors have led in recent decades to a significant increase in interest in renewable energy sources and the development of renewable energy technologies. Russia began the development of its own renewable energy (RE) later than the modern leaders of renewable energy, in the 2010s, by creating a state support system for the industry, supporting the development of technologies and creating its own production of equipment for the industry. This position is understandable and is determined primarily by the colossal reserves of hydrocarbon resources, the developed nuclear power industry, and the colossal experience in building and operating large hydroelectric power plants. One of the main incentives for the development of renewable energy in Russia in these conditions is the need to develop technologies that are widely in demand in the world, the creation of production chains with the prospect of entering the world market. To a certain extent, the development of renewable energy in Russia is also becoming relevant due to the increased pressure of the climate agenda in recent years, supported by most Western countries, and which can lead to a decrease in the competitiveness of a number of Russian exporting companies in the European market. In this regard, it becomes extremely important to develop education in the field of renewable energy, not only in technical universities, but also in universities of a geographical profile.

The role of specialists - geographers and environmentalists in the field of renewable energy is not limited to assessing the environmental impact of high power plants. Important areas of practical work and scientific research, which require the competence of a geographer, are the assessment of resources, the potential productivity of stations, the selection of sites for the construction of renewable energy facilities, taking into account physical-geographical and socio-economic conditions, etc. At the same time, it is necessary to form an objective and balanced attitude towards renewable energy among future specialists, which should be used where and when it is in demand,

provided with sufficient resources and competitive compared to traditional energy technologies.

In this regard, great importance in renewable energy should be given to a detailed analysis of the territory, including use of cartography methods and geoinformational (GIS) technologies and use of modern sources of meteorological (including actinometric) and statistical data. Since both the resources and the niches for the use of renewable energy sources within the vast territory of Russia are extremely diverse, this makes us consider the potential for the development of renewable energy in our country at the level of individual regions. It is this scale of research that makes it possible to move on to more specific objects of research and obtain results that provide a basis for solving practical problems in this interesting and promising branch of modern energy.

The main goal of the training course "Renewable Energy in the Context of Regional Development" is to form students' basic ideas about modern innovative technologies in the field of renewable energy, "green" construction and sustainable landscape design, environmental and resource aspects of their use, taking into account regional specifics.

The course includes sections that reveal modern renewable energy technologies, the scale of the renewable energy sources use in the countries of the world and regions of Russia, mechanisms to support the development of renewable energy at the country and regional levels, tasks and methods for assessing the resources of various types of renewable energy, directions for using geographical methods (comparative geographic , cartographic, meteorological, socio-economic) in solving the problems of modern renewable energy, green building and landscape design. Students will be familiarized with the methods for assessing the potentials and performance of renewable energy facilities and the environmental aspects of their activities, taking into account the physical, geographical and socio-economic characteristics of Russian regions.

This course fills the areas in the educational process that are currently not present in universities at the faculties of geographical orientation, but which nevertheless become very popular in modern

energy and especially in renewable energy, green building, sustainable landscape design.

The tutorial complies with the requirements of the Federal State Educational Standard of Higher Education and is recommended for students of universities studying in the areas of training:

03.03.06 - Ecology and nature management (bachelor's level)

05.04.06 - Ecology and nature management (Master's level).

Each section of the manual is provided with a list of literature and control questions and tasks that allow students - alone or together with the teacher – to check the assimilation of the material and complete practical tasks. Internet sources, including video materials, interactive maps, atlases, GIS, open source software products, make it possible to more effectively master the educational material and gain a number of practical skills.

Author's team: E.I. Golubeva (Foreword, section 1.1 of chapter 1, chapter 9), S.V. Kiseleva (Foreword, chapters 1, 2 and 4), N.I. Chernova (chapters 3 and 8), Yu.Yu. Rafikov (chapters 6 and 7), A.A. Sayanov (Chapter 9), L.V. Nefedova (Chapter 5), A.I. Prasolova (chapters 6 and 7), N.I. Tulsakaya (chapters 6 and 7).

The manual was prepared with the support of the Vladimir Potanin Charitable Foundation within the framework of the project “Development of the training course “Renewable Energy in the Context of Regional Development”” (project leader: Professor, Doctor of Biological Sciences Golubeva Elena Ilyinichna) and the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Lomonosov Moscow State University “The future of the planet and global changes in the environment.

ГЛАВА 1

СОВРЕМЕННОЕ МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ: ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ И НЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

1.1. РОЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА. ДОИНДУСТРИАЛЬНЫЕ, ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ И ПОСТИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ОБЩЕСТВА И ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ ВИДЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Динамика использования энергоресурсов на протяжении истории человечества, показывает, что изменения вплоть до XX века происходили достаточно медленно. В период палеолита существовало два основных источника энергии – это мускульная сила человека и животных, а также энергия растительной биомассы. В течение трех тысячелетий до нашей эры, когда основная масса людей проживала в теплом климатическом поясе Земли, этих источников было достаточно. В период неолита появились орудия труда, для использования которых все в большей степени стали применяться энергия текущей воды и ветра (плавильные печи и кузнечные меха, водоподъемники, гончарные круги, морские и речные суда). Изменялось и среднее энергопотребление. В ряде исследований показано, что к началу новой эры среднее душевое энергопотребление составляло 5 ГДж/чел год или 1385 кВтч/чел. в год.

Из этого количества на возобновляемые энергоресурсы в виде биомассы (дрова) приходится 60%, порядка 10% – на ветровую и гидроэнергию, остальное – на мускульную силу человека и животных. Такая структура энергоресурсов удовлетворяла человечество вплоть до XI века н.э. Средневековье явилось своеобразной границей, обозначившей начало снижения уровня использования возобновляемых источников энергии. При этом до начала промышленной революции (до 1850-х гг.) основными энергоресурсами человечества оставались именно возобновляемые источники энергии – биомасса (в основном дровяное топливо), гидроэнергия, ветровая энергия, мускульная сила человека и животных. Единственным не возобновляемым источником энергии, который довольно рано стал использоваться в хозяйстве, а затем в производственных процессах, стал уголь, который в наиболее развитых странах уже в XIX веке занимал значительную долю в составе ТЭР (топливно-энергетических ресурсов). Изменения источников энергии происходили под влиянием растущего потребления энергии, требований к качеству энергии, с одной стороны, и развития технологий, с другой. Один вид

энергоресурсов заменялся на другой постепенно. Замена, как правило, совершалась частично, когда предшествующий энергоноситель не выпадал полностью из общего энергетического баланса, но его доминанта неуклонно снижалась.

Промышленная революция вследствие развития фабричного массового производства стимулировала технологические прорывы в производстве энергии с включением в состав ТЭР различных видов ископаемого углеводородного топлива. Возникновение в XX веке атомной энергетики привело к использованию энергии ядерного топлива, причем вытеснение одних видов энергоресурсов другими в это столетие происходили гораздо более динамично (рис. 1.1). С началом господства углеводородных топлив в составе ТЭР ведущих мировых держав практически все виды возобновляемых энергоресурсов, кроме гидроэнергии крупных рек и биомассы, выходят из употребления. И только в 1990-х годах снова становится заметной доля возобновляемых источников энергии (солнце, ветер).

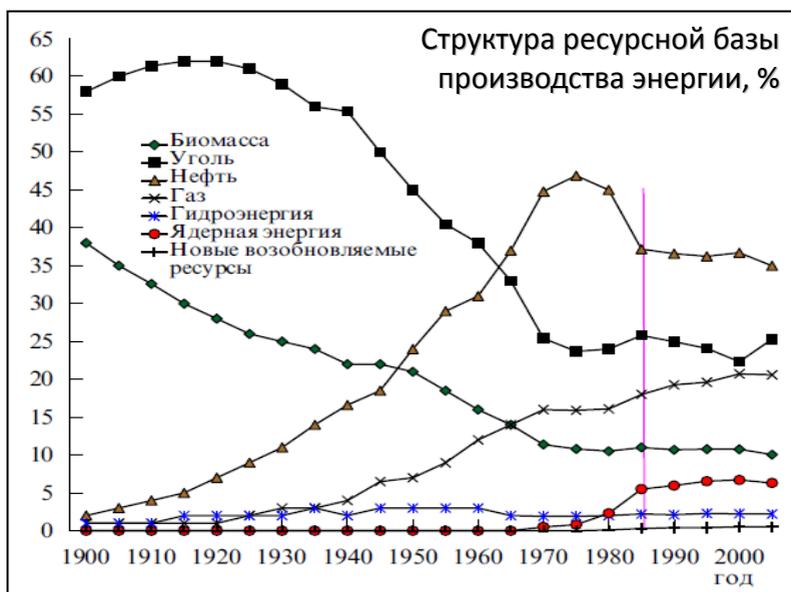


Рис. 1.1. Динамика структуры энергетических ресурсов мира.

Источник: [1].

Динамика энергопотребления на душу населения в единицах мощности с доисторического периода до настоящего времени

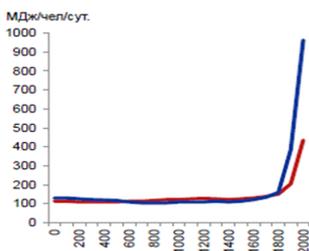
приведено в таблице 1.1. При этом данные о потребляемой мощности в настоящее время приведено только с учетом электроэнергии (без тепловой энергии) на основе суммарной мощности всех электростанций мира (7,139 ТВт) и численности населения (на 2021 г., согласно данным Всемирного банка, 7,674 млрд. человек). С учетом потребляемой тепловой энергии эти удельные показатели должны быть увеличены, по крайней мере, в 2 раза.

ТАБЛИЦА 1.1.

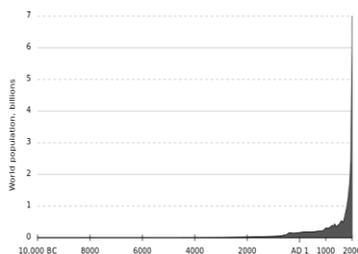
ДИНАМИКА СРЕДНЕГО МИРОВОГО ДУШЕВОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ. Источник: [1, 2].

Исторический период	Душевое потребление энергии, Вт/человека	Примечание
Доисторическое время	100-150	Энергопотребление в основном через пищу; соответствует 2000 – 3000 ккал/день.
Эпоха освоения огня	300	
Настоящее время	1000	С учетом только потребления электрической энергии.

Таким образом, на протяжении истории человечества шло постепенное увеличение душевого потребления энергии (рис. 1.2а). Одновременный рост населения Земли (рис. 1.2б) усиливал положительную динамику суммарного мирового энергопотребления (таблица 1.2). В результате в начале XXI века мировое потребление (и производство) энергии превысило 500 ЭДж/год (1 ЭДж = 10^{18} Дж) или около 13млрд. т н.э./год.



а



б

Рис. 1.2. Динамика душевого энергопотребления (а) и численности населения мира (б).

ТАБЛИЦА 1.2.

ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННОГО МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА
И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

(Источники: Международное энергетическое агентство (IEA), U.S. Energy Information Administration (EIA), BP и др.). Согласно данным IEA, в 2017 г. мировое производство первичной энергии выросло до 13 972 млн. т н.э.

Наименование ресурса	2006 г.	2011 г.	2015 г.	2016 г.	Изменение, среднее значение, %	
					2006 – 2015 гг.	2015 – 2016 гг.
Производство:	11 172	12 467	13 275	13 173	1,2	0,8
Нефть	3964	4007	4360	4382	1,0	0,5
Газ	2597	2967	3195	3213	2,3	0,6
Уголь	3195	3897	3887	3656	2,2	-6,0
АЭС	635	600	583	592	-0,9	1,5
ГЭС	688	792	883	910	2,8	3,1
ВИЭ	93	204	367	420	39,5	14,4
Потребление	11 267	12 455	13 105	13 276	1,2	1,0
Баланс	-95	12	170	-103	...	

Источник: рассчитано по данным BP Statistical Review of World Energy, June 2017 [6].

Прогнозы роста энергопотребления неоднозначны. Действительно, с одной стороны, имеются различные прогнозы (рис. 1.3), которые указывают на продолжение абсолютного прироста населения мира, по крайней мере, на период до 2050 г. С другой стороны, идет снижение темпов роста удельного (душевого) энергопотребления.

Неоднозначность динамики мирового производства (и потребления) энергии наблюдалась и ранее, например, со времени начала промышленной революции. В определенной степени эта динамика коррелирует с длинными волнами развития мировой экономики (рис. 1.4). Первая волна в этой динамике охватывала так называемый угольный период (преимущественное использование угля в качестве топливно-энергетического ресурса), длилась 70 лет (с 1860 г. до начала великой депрессии 1929–1933 гг.) и привела к увеличению мирового производства первичной энергии в 4,5 раза (с 0,36 до 1,6 млн. т н.э.). При этом средний по миру душевой расход энергии увеличился всего в 2,6 раза (с 0,29 до 0,7–0,8 т н.э. в год). Причиной роста потребления и производства энергии в этот

период можно считать технологический прорыв – изобретение паровых машин и методов преобразования химической энергии топлива и механической энергии в электрическую, а также передачи ее на большие расстояния.

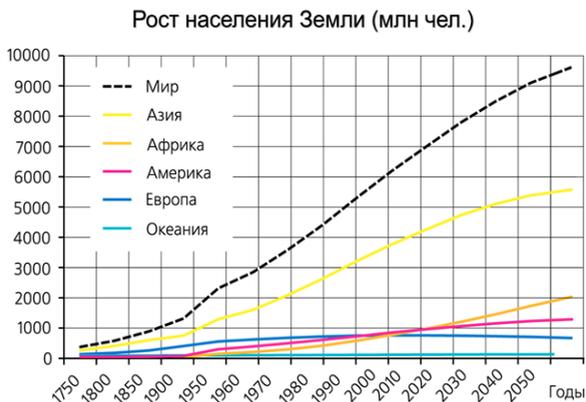


Рис. 1.3. Реальная динамика численности населения и прогноз до 2050 г. для различных регионов мира.

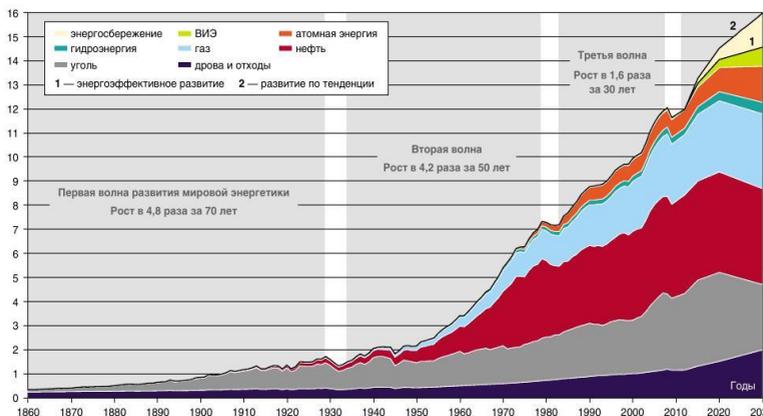


Рис. 1. Динамика мирового производства энергоресурсов, млрд т н.э.
 Источник: А. Makarov. Laws of Power Industry Development: Elusory Essence. Thermal Engineering, Vol. 57, No 13, 2010.

Рис. 1.4. Фактическое (до 2010 г.) и прогнозное производство энергетических ресурсов с детализацией структуры мирового энергодобавления. *Источник указан на рисунке.*

Вторая волна (с 1930 по 1980 гг.), которую часто называют нефтяным периодом, «нарастила» производство энергоресурсов

еще в 4,2 раза (с 1,6 до 7,3 млн. т н.э.) при очередном удвоении их среднедушевого расхода до 1,65 т н.э. Вторая волна, как видно, длилась 50 лет с «пиком нефти» в США, пришедшем примерно на 1972 г., и «пиком нефти» в СССР, приуроченным к 1980 г. Нефтяной период (период доминирования нефти в структуре ТЭР мира) завершился в период 1975-1980 гг. нефтяным кризисом. Технологическим прорывом, с которым в определенной степени связывают вторую волну, и причиной роста энергопроизводства, в этот период считается освоение нового источника энергии – энергии распада атомного ядра.

Третью волну развития мировой энергетики (период с 1980 г. по 2010-е гг.) иногда называют «пиком всего», когда в мировой структуре энергоресурсов представлены все виды ископаемого топлива – нефть, газ, уголь, ядерное топливо. Другой особенностью третьей волны мировой энергетики является влияние так называемого постиндустриального периода, который определил новые черты динамики производства/потребления энергии. А именно, на протяжении большей ее части впервые в индустриальную эпоху среднедушевой расход энергии в мире практически не менялся (1,56–1,68 т н.э. в год). Производство энергии в мире при этом увеличилось в 1,6 раза (до 12 млрд. т н.э.), то есть **почти втрое меньше**, чем на каждой из предшествующих волн развития. Эта волна длилась около 30 лет и завершилась в 2008 г. глобальным финансово-экономическим кризисом. Таким образом, рывок в среднедушевом потреблении энергии в мире закончился в 1980 г. и с тех пор этот показатель не растет уже более 40 лет (рис. 1.5). А рост общего потребления энергии в мире определяется в основном ростом населения планеты.

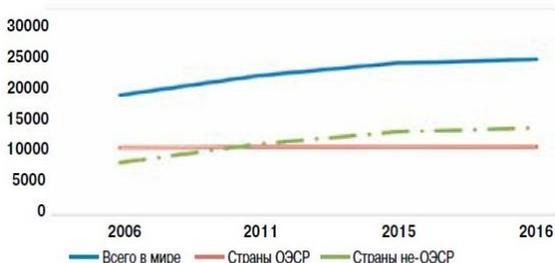


Рис. 1. Производство электроэнергии в мире в 2006 г., 2011 г., 2015 г. и 2016 г., ТВт·ч

Источник: рассчитано по данным BP Statistical Review of World Energy, June 2017 [6].

Рис. 1.5. Динамика производства электроэнергии в мире в период 2006-2016 гг. Источник указан на рисунке.

Одной из причин снижения поддушевого потребления энергии является повышение энергоэффективности различных технологий, которое в свою очередь было стимулировано дороговизной топливно-энергетических ресурсов и стремлением снижения издержек (повышения прибыли) бизнеса на производство товаров и услуг. Результативность усилий по увеличению энергоэффективности определяется тем, что все процессы преобразования энергии природных источников и получения энергии потребительского качества (электрической, тепла, холода) сопровождаются большими потерями энергии. Схематически уровень потерь в процессах использования энергии угля, нефти, газа показан на рис. 1.6. Видно, что доля потерь энергии составляет более 60%. Причиной сохраняющегося высокого уровня потерь энергии при достаточно высоком росте КПД многих технологий преобразования энергии является объективная сложность получения энергии все более высокого качества, востребованной потребителем (как промышленностью, так и бытовым потреблением). В качестве примера, подтверждающего этот тезис, в таблице 1.3 приведены конечные (суммарные) КПД преобразования энергии с учетом конечного потребителя.

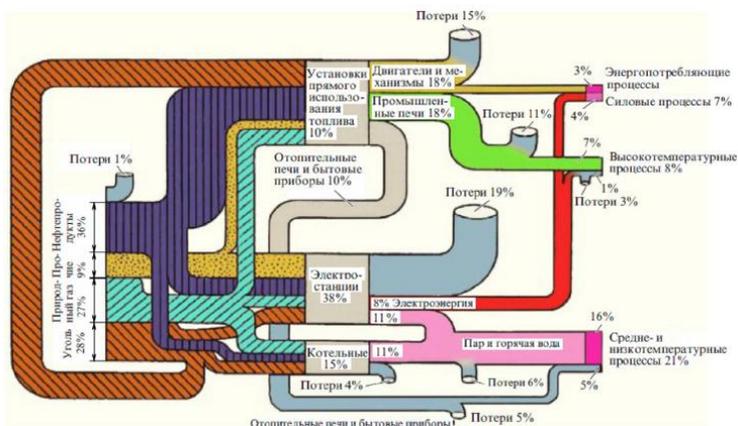


Рис. 1.6. Структура потоков энергии от первичных не возобновляемых источников энергии и уровень потерь в современных технологических процессах производства электроэнергии, пара, горячей воды, производства и потребления моторного топлива. *Источник: [1].*

Таблица 1.3.

КОНЕЧНЫЙ (СУММАРНЫЙ) КПД ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАЧЕСТВА ПОЛУЧАЕМОЙ ЭНЕРГИИ (в предположении получения 1 МДж конечной энергии).

Конечный вид энергии (конечный потребитель энергии)	КПД процесса (доли единицы)
Тепловая энергия для обогрева помещения	0,9
Тепловая энергия для плавки металлов (высокотемпературная тепловая энергия)	0,45-0,5
Электроэнергия	0,35-0,42
Энергия движения автомобиля	0,25-0,3

На современном этапе для решения задач энергообеспечения человечество в той или иной степени ставит перед собой задачи повышения энергоэффективности технологий, а также смягчения неравномерности энергообеспечения населения различных стран и регионов мира, поскольку именно энергия была и остается основой уровня развития стран и благосостояния людей.

1.2. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ: ОПРЕДЕЛЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – источники энергии, образующиеся на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе, а также жизненном цикле растительного и животного мира и жизнедеятельности человеческого общества. Изучение возобновляемых источников энергии проводится методами естественных и гуманитарных наук и включает в себя:

- изучение закономерностей формирования, пространственно-временного распределения ресурсов ВИЭ,
- оценки ресурсов и потенциалов возобновляемых источников энергии; картографическое представление этих ресурсов (в виде печатных и электронных карт, атласов, геоинформационных систем);
- разработку методов и технологий использования ВИЭ,
- разработку и апробацию методов оптимизации энергосистем с применением возобновляемых источников энергии;
- оценку технико-экономических показателей установок и станций на ВИЭ (сетевых и автономных) с учетом природных и инфраструктурных характеристик конкретных регионов;
- определение физико-географических, экологических, экономических и социальных условий, определяющих возможность и необходимость использования ВИЭ на заданной территории;

- определение экономических и социальных последствий развития ВЭ как отрасли энергетики отдельных стран и мира в целом и т.д.

Возобновляемая энергетика как отрасль знания и научное направление представляет собою комплексную область науки, объединяющую прикладные и фундаментальные, технические, географические, экономические, социальные исследования. Видно, что целый ряд задач в области возобновляемой энергетики могут быть решены только на основе методов и инструментов физической и социально-экономической географии.

В связи с большим разнообразием возобновляемых источников энергии, важно провести их классификацию. В качестве основы классификации ВИЭ часто используют природные процессы и явления, которые являются первопричиной их проявления на Земле. В этом смысле выделяют следующие глобальные первичные источники энергии:

- энергия Солнца;
- тепловая энергия глубинных слоев Земли;
- энергия гравитационного взаимодействия планет солнечной системы и Солнца.

Соответственно к возобновляемым источникам энергии солнечного происхождения относят:

- собственно энергию солнечного излучения;
- гидравлическую энергию рек;
- энергию ветра;
- энергию, заключенную в биомассе;
- энергию океана, которая проявляется в виде волн, а также термогалинных градиентов (градиентов температуры и солености морской воды).

К ВИЭ не солнечного происхождения относят:

- геотермальную энергию,
- энергию приливов.

Кроме того, в качестве возобновляемых источников энергии в настоящее время принято рассматривать различные органические отходы и источники низкопотенциального тепла. В качестве последнего рассматривают энергию теплоносителей (вода, воздух, жидкости, твердые тела), имеющих невысокую температуру (сбросные воды ТЭС/ТЭЦ, грунт на глубинах более 2 м и др.).

Запасы возобновляемых источников энергии принято оценивать с помощью величин, называемых **потенциалами**. Потенциал определяет полезную работу, которая может быть совершена в единицу

времени источниками возобновляемой энергии. Так как энергоресурсы возобновляются, их потенциалы обычно относят к некоторому промежутку времени, например, к суткам, году и т.д. В научно-технической литературе часто используется также понятие «ресурсы возобновляемых источников энергии». Для разделения указанных двух терминов предлагается обозначать термином «ресурсы» физические носители энергии возобновляемых источников, а именно, падающую солнечную радиацию, движение воздушных масс, органические отходы и т.п. [5]. Соответственно характеристиками ресурсов будут выступать их доступные физические объемы в единицу времени, например, суточные суммы приходящей солнечной радиации на единичную поверхность (горизонтальную или наклонную), скорости и повторяемости ветра, масса органических отходов, напор гидравлического потока в створе реки и т.д. Тогда под термином «потенциал», как указано выше, понимается энергия (или полезная работа), заключенная в эти ресурсах. Для подчеркивания энергетической направленности также используется термин «энергетический потенциал». При этом вводятся понятия «валовый», «технический» и «экономический» потенциалы ВИЭ.

Валовый (теоретический) потенциал – это годовой объем энергии возобновляемого источника в заданной точке (или в пределах заданной территории) при полном её превращении в полезно используемую энергию.

Технический потенциал – часть валового потенциала, преобразование которого в полезную энергию возможно при существующем уровне развития технических средств и соблюдении требований по охране природной среды. Технический потенциал составляет от долей процента (солнечная энергия) до десятков процентов (гидроэнергия) от валового потенциала. Он постоянно увеличивается по мере совершенствования технологий возобновляемой энергетики. В практическом плане технический потенциал – это потенциальная производительность установок возобновляемой энергетики (ветроэнергоустановок, фотоэлектрических модулей, котельных или энергостанций, использующих в качестве топлива отходы биомассы, малых гидроэлектростанций и т.д.) единичной мощности, установленных в заданной точке или занимающих заданную территорию. При этом технические характеристики этих станций должны соответствовать современным наилучшим технологиям (иметь наибольшую технически достижимую эффективность).

Экономический потенциал ВИЭ – часть технического потенциала, преобразование которого в полезную используемую

энергию экономически целесообразно при текущем уровне цен на ископаемое топливо, тепловую и электрическую энергию, оборудование, материалы, транспортные услуги, оплату труда и т.д.

1.3. ЗАПАСЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И НЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ, ИХ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

К не возобновляемым источникам энергии принято относить те источники, которые не восполняются в пределах исторически обозримого периода. Таковыми являются все виды ископаемого топлива (нефть, уголь, газ, горючие сланцы, торф, урановые руды). Оценка имеющихся в мире в целом и в отдельных его регионах запасов/ресурсов не возобновляемых источников энергии является важной задачей геологических служб и аналитических агентств, которые обобщают текущую ситуацию, в первую очередь, балансы добытых и обнаруженных ресурсов. При этом публикуемые данные часто противоречивы, что связано как с трудностями оценки ресурсов ископаемого топлива, так и с различием методик, момента времени, к которому относятся оценки и т.д. В качестве достаточно надежных данных в таблице 1.4 приведены актуальные оценки запасов не возобновляемых углеводородных энергетических ресурсов. Эти же масштабы ресурсов указаны в разделе общей статистики источника [2] на основе данных Международного энергетического агентства (IEA) и других мировых аналитических агентств.

ТАБЛИЦА 1.4.
ОЦЕНКИ ТЕКУЩИХ РЕСУРСОВ (ЗАПАСОВ) НЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.

Источник: [3].*

Ресурсы ископаемого органического топлива (млрд т у.т.)

Вид топлива	Традиционные	Нетрадиционные		Всего
	Доказанные извлекаемые запасы [4]	Дополнительные ресурсы [13]	Технически извлекаемые ресурсы [14]	Окончательные извлекаемые ресурсы
Нефть	331	69	250	650
Газ	241	429	300	970
Уголь	616	1000	700	2300

* Источники, указанные в таблице:

[4]. BP Statistical Review of World Energy 2017. BP p.l.c., 2017. 52 p.

[13]. Survey of Energy Resources 2001. London: World Energy Council, 2001. 396 p.

[14]. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources in 41 Countries Outside the US. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration / Department of Energy, 2013. 730 p.

Что касается распределения запасов не возобновляемых энергоресурсов по странам мира, то общее представление может дать диаграмма на рис. 1.7.

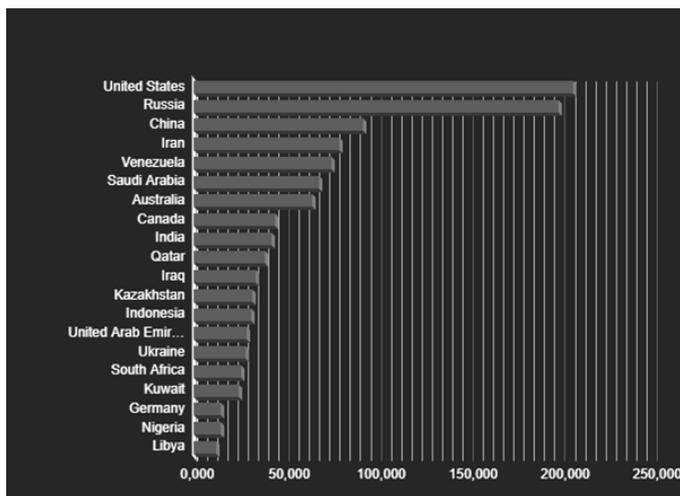


Рис. 1.7. Топ- 20 стран мира по суммарным запасам энергоносителей (в порядке убывания), млрд. т у.т. *Источник: [2, раздел сайта: <https://www.eeseaec.org/zapasy-energonositelej-energeticeskij-potencial>].*

Ресурсы и валовый потенциал ежегодно образующихся возобновляемых источников энергии на Земле (солнечная, ветровая, геотермальная энергия, энергия рек и биомассы), согласно оценкам, во много раз превосходят запасы углеводородного топлива, урановых руд и в сотни раз – мировое энергопотребление. Безусловно, эти выводы носят оценочный характер, поскольку суммарную энергию всех видов ВИЭ, доступных на Земле, оценить сложно. По данным [2], мощность всех видов ВИЭ на Земле составляет величину порядка $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт, а мощность солнечной энергии, приходящей на всю поверхность Земли, составляет порядка $8,9 \cdot 10^{16}$ Вт.

Детальные оценки ресурсов ВИЭ имеют весьма значительные расхождения в силу сложности задачи, поэтому конкретные цифры следует воспринимать с определенной погрешностью. В таблице 1.5 приведены некоторые оценки валового (теоретического) и технического потенциала возобновляемых источников энергии для мира в целом. Картографическое представление распределения мировых ресурсов возобновляемой энергии (рис. 1.8) позволяет говорить о достаточно неравномерном их распределении, что

связано в первую очередь с природными условиями, а также с особенностями хозяйственной организации территории (этот фактор значим для распределения биомассы отходов как ресурсов для биоэнергетики). В то же время можно утверждать, что в любой точке земной поверхности может быть значимым ресурс/потенциал хотя бы одного возобновляемого источника энергии.

В качестве комментария к рис. 1.8 следует напомнить, что тонна условного топлива (тонна условного топлива в угольном эквиваленте – т у. т. у.э.) – единица измерения энергии, равная $2,93 \times 10^{10}$ Дж. Она определяется как количество энергии, выделяющееся при сгорании 1 тонны топлива с теплотворной способностью 7000 ккал/кг (соответствует типичной теплотворной способности каменного угля). На карте энергетические потенциалы представлены в нефтяном эквиваленте (т у.т. н.э.), для которого верно следующее соотношение 1 т у.т. у.э. = 0,7 т у.т. н.э.

ТАБЛИЦА 1.5.
ПОТЕНЦИАЛЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ ЭНЕРГИИ В МИРЕ [6]

Виды энергии	Ресурсы, ТВт-ч/год	
	теоретические	технические
Энергия Солнца, в том числе:	334826	11416
на верхней границе атмосферы Земли	183000	-
на поверхности Земли	75913	5708
на поверхности суши	26370	2283
на поверхности мирового океана	49543	3425
Энергия атмосферы	1982	21
Энергия гидросферы, в том числе	40016	404
крупных водотоков	3,7	1,7
малых водотоков	1,7	0,85
изливающихся источников	34	0,4
градиентов солености	39954	399
температурных градиентов	11,5	0,6
океанских течений	8	0,14
приливов	3	0,8
волн	3,4	0,13
Геотермальная энергия, в том числе:	45503	2990
гидротермальные ресурсы	1256	137
петрогеотермальные ресурсы	34247	2853
ВСЕГО	412330	14830

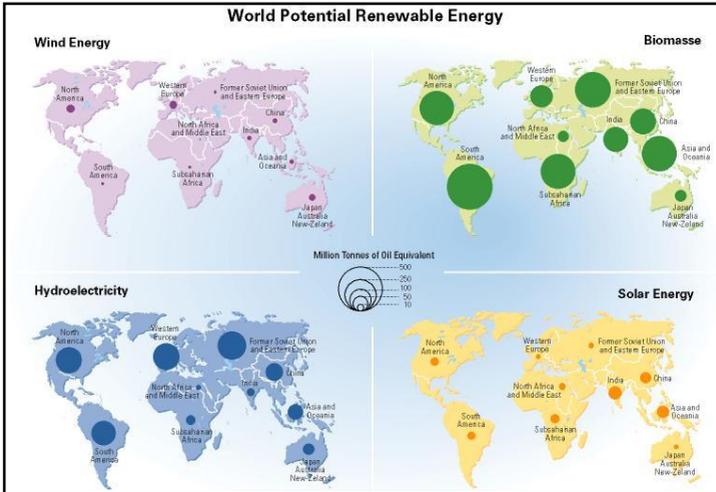


Рис. 1.8. Пространственное распределение технического потенциал ветровой, солнечной энергии, энергии рек и биомассы (наземные растения). Значения представлены в млн. т условного топлива в нефтяном эквиваленте (по данным *Survey of Energy Resources. Elsevier, Oxford, 2008, 600 p.*)

Потенциалы на рис. 1.8 приведены для крупных регионов мира и не отражают их детальное пространственное распределение. Для этих целей служат более подробные печатные и электронные атласы ресурсов и потенциалов возобновляемых источников энергии, которые в настоящее время разработаны как на глобальном уровне, так и для отдельных стран, и имеют пространственную детализацию до единиц и долей градуса (см, например, [7, 8]). Так, на интернет-ресурсах GlobalSolarAtlas и GlobalWindAtlas представлены как характеристики ресурсов (приходящая солнечная радиация, скорости ветра, мощность воздушной струи и т.д.), так и технические потенциалы в виде среднегодовой производительности солнечных и ветровых установок в расчете на единичную мощность (рис. 1.9, 1.10).

Из рис. 1.9 видно, что потенциал ветровой энергии, который определяется скоростью ветра, гораздо выше в прибрежных районах, чем в континентальной части материков. Этим объясняется оправданный интерес к использованию ветровых ресурсов побережья и открытого моря. Однако, оценивая степень равномерности распределения запасов возобновляемых энергоресурсов на Земле, можно утверждать, что сравнительно высокие запасы отдельных видов возобновляемой энергии: солнечной, гидравлической, ветровой, океанической, биоэнергетической и геотермальной имеются на каждом континенте.

Значительные ресурсы солнечной энергии имеются в тропических и экваториальных зонах. Океанические побережья характеризуются высокими потенциалами энергии ветра, волн и приливов. Большие ресурсы биоэнергетики свойственны субтропическим регионам (лесная биомасса), развитым сельскохозяйственным и лесохозяйственным регионам (отходы сельского хозяйства и лесозаготовок), а также крупным урбанизированным территориям (твердые коммунальные отходы, осадки сточных вод).

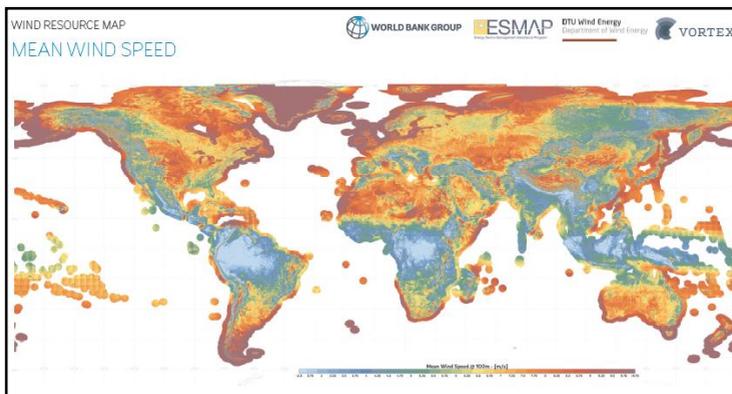


Рис. 1.9. Распределение средней годовой скорости ветра на высоте 100 м (высота современных ветроэнергостановок (ВЭУ) мегаваттной мощности). *Источник: [5].*

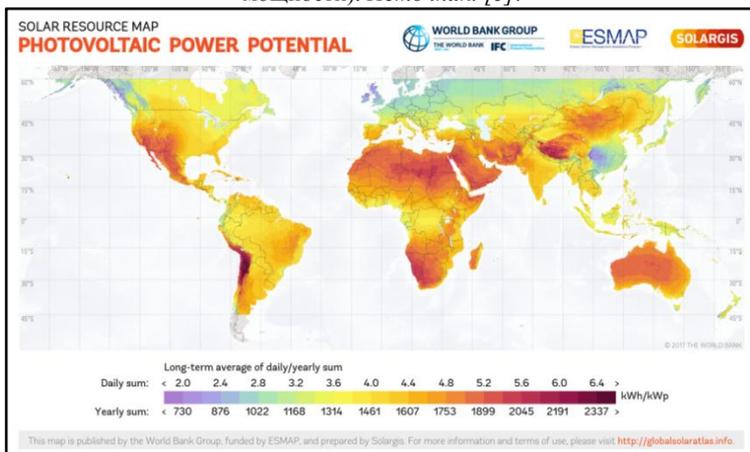


Рис. 1.10. Распределение средней суточной и средней годовой удельной производительности солнечных установок (кВтч/кВт установленной мощности). *Источник: [6].*

1.4. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Введем определения различных отраслей возобновляемой энергетики.

Солнечная энергетика – отрасль энергетики, основанная на использовании энергии солнечного излучения для получения тепловой и электрической энергии.

Ветроэнергетика – отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую или в любую другую форму энергии.

Геотермальная энергетика – отрасль энергетики, основанная на производстве тепловой и электрической энергии за счет энергии, содержащейся в недрах Земли.

Биоэнергетика – отрасль энергетики, основанная на использовании источников энергии органического происхождения для получения тепловой, электрической, механической энергии и производства моторных топлив.

Гидроэнергетика – отрасль энергетики, связанная с использованием механической энергии водных потоков для получения электрической энергии.

Малая гидроэнергетика – составная часть гидроэнергетики, связанная с использованием механической энергии малых водных потоков при помощи гидроэнергетических установок малой мощности.

За последние 20 лет ВЭ, базирующаяся на использовании экологически чистых ВИЭ, прежде всего, солнечной энергии, энергии ветра и энергии биомассы, доказала свою состоятельность и заняла устойчивое место в мировой энергетике. Отрасль демонстрирует значительные успехи в улучшении технико-экономических показателей и повышении конкурентоспособности в сравнении с энергетическими технологиями, основанными на использовании традиционных органических топлив. Современный уровень установленной мощности станций на ВИЭ, относящихся к различным технологиям возобновляемой энергетики, представлен на рис. 1.11. Детальные данные по производству энергии от станций, установленной мощности и т.д. по миру в целом и различным регионам можно найти в материалах аналитического агентства REN21 [9].

TABLE 1.
Renewable Energy Indicators 2020

		2019	2020
INVESTMENT			
New investment (annual) in renewable power and fuels ¹	billion USD	298.4	303.5
POWER			
Renewable power capacity (including hydropower)	GW	2,581	2,838
Renewable power capacity (not including hydropower)	GW	1,430	1,668
 Hydropower capacity ²	GW	1,150	1,170
 Solar PV capacity ³	GW	621	760
 Wind power capacity	GW	650	743
 Bio-power capacity	GW	137	145
 Geothermal power capacity	GW	14.0	14.1
 Concentrating solar thermal power (CSP) capacity	GW	6.1	6.2
 Ocean power capacity	GW	0.5	0.5
HEAT			
 Modern bio-heat demand (estimated) ⁴	EJ	13.7	13.9
 Solar hot water demand (estimated) ⁵	EJ	1.5	1.5
 Geothermal direct-use heat demand (estimated) ⁶	PJ	421	462
TRANSPORT			
 Ethanol production (annual)	billion litres	115	105
 FAME biodiesel production (annual)	billion litres	41	39
 HVO biodiesel production (annual)	billion litres	6.5	7.5

Рис. 1.11. Инвестиции и установленная мощность (ГВт) станций возобновляемой энергетики в мире (производство электрической и тепловой энергии, производство биотоплива). *Источник: [10].*

Динамика установленной мощности солнечных, ветровых, малых гидроэлектростанций, а также других типов электростанций на ВИЭ представлена на рис. 1.12. Видно, что лидирующее место в установленной мощности занимает современная солнечная электроэнергетика с использованием фотоэлектрических преобразователей, на втором месте – ветровая энергетика. По данным международных энергетических агентств, начиная с 2012 г., ввод энергоустановок на ВИЭ стал устойчиво превышать ввод традиционных энергоустановок. В 2019 году на ВИЭ пришлось 2/3 вновь введенных электрогенерирующих мощностей в мире. Суммарная установленная мощность энергоустановок на новых технологиях использования ВИЭ (без учета объектов крупной гидроэнергетики) сегодня приблизилась к 1,5 ТВт – более 20% суммарной мощности всех действующих в мире энергоустановок (около 7 ТВт), в то время как в 2009 году она составляла всего 300 ГВт.

FIGURE 7.
Annual Additions of Renewable Power Capacity, by Technology and Total, 2014-2020

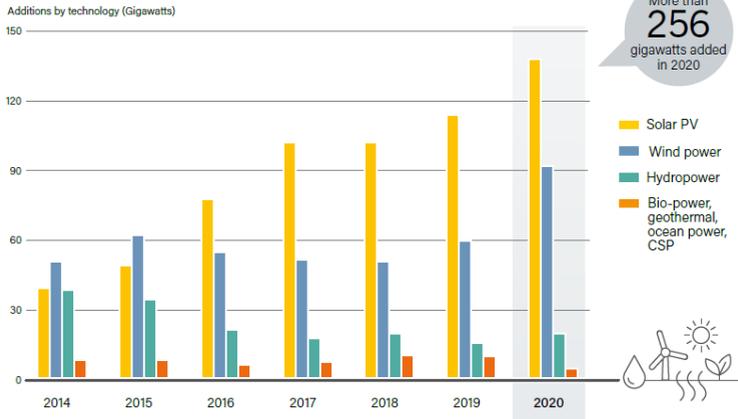


Рис. 1.12. Динамика установленной мощности (ГВт) станций на ВИЭ различного типа в мире. *Источник: [10].*

В настоящее время наибольший удельный вес в мировой возобновляемой энергетике приходится на гидроэнергетические системы большой мощности. И в целом, несмотря на высокие темпы ввода новых мощностей в суммарном мировом производстве энергии станции на ВИЭ продолжают занимать незначительную долю (рис. 1.13, 1.14).

FIGURE 6. Renewable Share of Total Final Energy Consumption in Industry and Agriculture, 2017

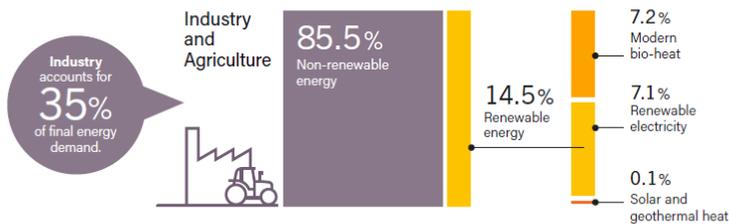


Рис. 1.13. Доля возобновляемых источников в общем потреблении энергии (тепловой и электрической) в мировой промышленности и сельском хозяйстве. *Источник: [10].*

Причиной этого является сохраняющаяся в целом более высокая себестоимость энергии от ВИЭ (кроме гидроэнергетики больших

мощностей) по сравнению с себестоимостью энергии от тепловых и атомных станций.

FIGURE 7. Renewable Share of Total Final Energy Consumption in Transport, 2017

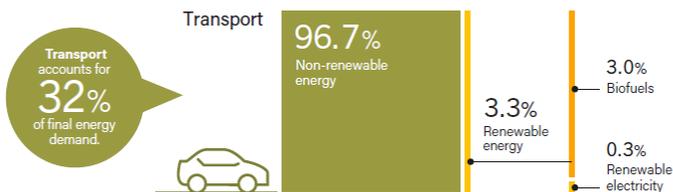


Рис. 1.14. Доля возобновляемых источников в общем потреблении энергии (моторного топлива и электроэнергии) в мировой транспортной отрасли.

Источник: [2].

Приоритетное развитие ВЭ получило в регионах и странах – импортерах энергоресурсов (лидеры: Китай – 420 ГВт; ЕС – 350 ГВт, в т.ч. Германия – 120 ГВт; США – 200 ГВт; Индия – 80 ГВт; Великобритания – 45 ГВт), имеющих, как правило, высокие тарифы на электрическую энергию. В ряде стран доля выработки электрической энергии на ВИЭ уже составляет значительную величину: Дания – 52%, Уругвай – 36%, Ирландия – 30%, Германия – 27%, Португалия – 23%, Испания и Греция – 22%, Великобритания – 21%). Сводные данные установленной мощности станций различных отраслей возобновляемой энергетики в странах-лидерах представлены на рис. 1.15.



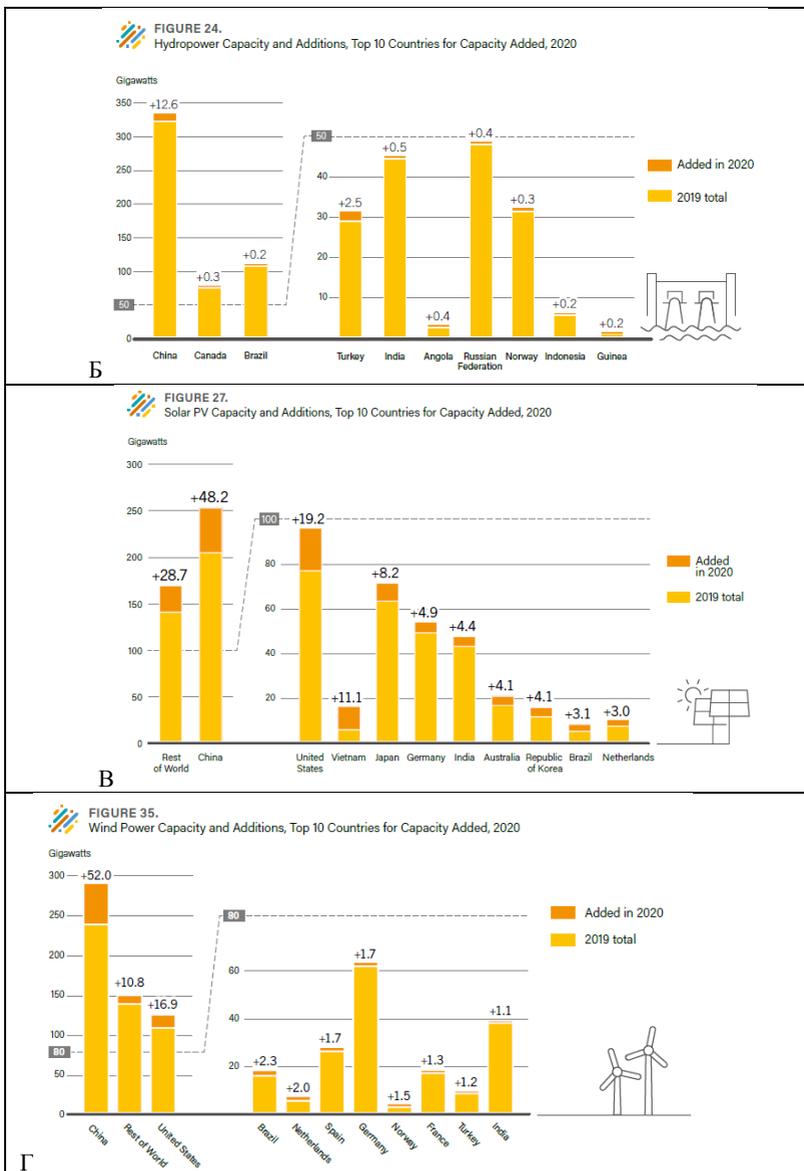


Рис. 1.15. Установленная мощность (суммарно к 2019 г. и рост в 2020 г.) в странах лидерах по следующим отраслям ВЭ; А – геотермальная энергетика, Б – гидроэнергетика, В – солнечная фотоэнергетика, Г – ветровая энергетика. *Источник: [10].*

Высокая средняя себестоимость энергии (тепловой, электрической, моторного топлива) от возобновляемых источников связана с природными свойствами этих источников, а именно, малой плотностью потоков энергии (солнечной, ветровой, геотермальной и т.д.), а также значительной нерегулярностью этих потоков (суточные и сезонные колебания прихода солнечной радиации, скорости ветра; сезонность роста биомассы и образования отходов в сельском хозяйстве и т.д.). Характерная плотность потоков энергии от возобновляемых источников приведена на рис. 1.16. В результате для достижения мощности станций на ВИЭ, сравнимых с тепловыми и атомными станциями, требуется установка большого количества оборудования на значительных площадях (солнечных фотоэлектрических модулей, ветроэнергоустановок), бурения значительного количества глубоких скважин для подъема геотермального флюида на поверхность Земли и т.д. А для устойчивого снабжения потребителя энергией от возобновляемых источников требуется либо сооружение дублирующих мощностей традиционной энергетики (например, тепловых станций и установок), либо аккумуляторов электроэнергии, что приводит к дополнительным значительным затратам.

ПОЧЕМУ ЭНЕРГИЯ, ПРОИЗВОДИМАЯ УСТАНОВКАМИ НА ВИЭ, ОКАЗЫВАЕТСЯ В БОЛЬШИНСТВЕ СЛУЧАЕВ ДОРОГОЙ?

Основная фундаментальная физическая причина – низкая плотность потоков энергии и их нерегулярность
(суточная, сезонная, погодная и др.)

ПЛОТНОСТИ ПОТОКОВ НЕКОТОРЫХ ВИЭ

Солнечное излучение:

ясный полдень – **1000 Вт/м²**
в среднем за год – **150–250 Вт/м²**

Ветровой поток:

при $v=10$ м/с – **500 Вт/м²**
при $v=5$ м/с – **60 Вт/м²**

$$N \sim v^3$$

Водный поток:

при $v=1$ м/с – **500 Вт/м²**

В традиционных энергоустановках плотность энергетических потоков достигает сотен кВт или даже нескольких МВт/м²

Результат: потребность в больших поверхностях для сбора энергии и необходимость использования больших аккумуляторов энергии, что обуславливает рост стоимости

Рис. 1.16. Характерные значения плотности потоков энергии от возобновляемых источников. Для солнечной энергии указана плотность потока энергии, падающего на горизонтальную площадку на поверхности Земли, для ветрового и водного потока – через перпендикулярную потоку площадку.

Следует отметить, что в последние десятилетия вследствие значительного прогресса технологий стоимость оборудования практически для всех отраслей возобновляемой энергетики существенно уменьшается. В результате в ряде стран, обладающих хорошими ресурсами ВИЭ и использующих оборудование, преобразующее энергию возобновляемых источников с высоким КПД, достигается (в моменте или в некоторый период года) сетевой паритет, когда себестоимость энергии от ВИЭ равна таковой от ископаемых источников энергии (рис. 1.17).

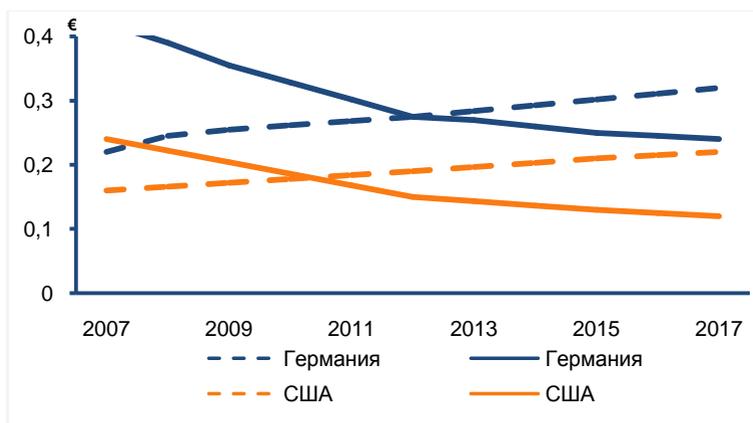


Рис. 1.17. Пример достижения сетевого паритета: равенства себестоимости электроэнергии от традиционной энергетики (пунктир) и от возобновляемой энергетики (сплошная линия). По оси ординат – себестоимость энергии в Евро/кВтч.

Себестоимость энергии (тепловой и электрической) от возобновляемых источников в силу физико-географических особенностей, технических характеристик используемого оборудования, различного уровня затрат на доставку оборудования, инфраструктуру объектов и т.д. существенно разнятся в зависимости от региона. Однако можно привести некоторые средние значения себестоимости энергии, представленные в [10] на основе обобщения значительного объема статистических данных (рис. 1.18).

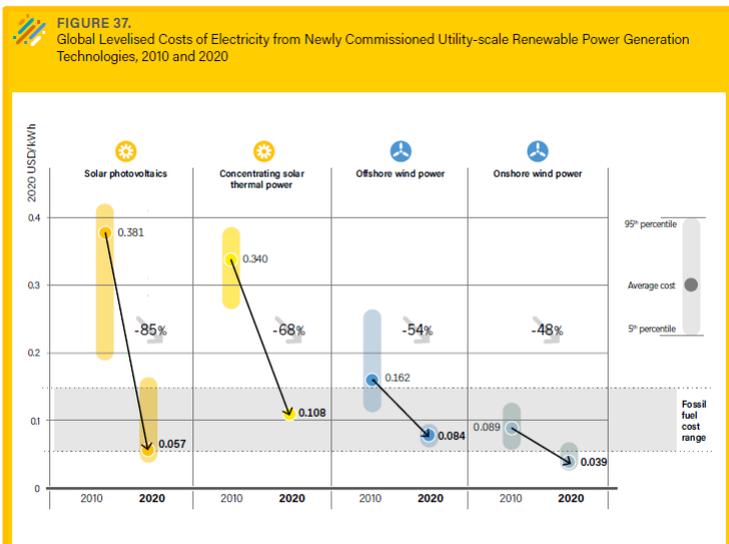


Рис. 1.18. Средние по миру оценки себестоимости электроэнергии в фотоэнергетике, солнечной теплоэнергетике, оффшорной и наземной ветроэнергетике в 2010 и 2020 гг. (\$/кВтч, покупательная способность доллара – на уровне 2020 г.). Серая полоса – средний мировой разброс себестоимости электроэнергии, полученной из ископаемого топлива.

Источник: [10].

1.5. ГЕОГРАФИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Современное состояние использования возобновляемых источников энергии в России характеризуется в первую очередь большими масштабами (установленная мощность и производство энергии) крупной гидроэнергетики (рис. 1.19). Однако в последние годы в связи с ростом введенных мощностей солнечных и ветровых (сетевых и автономных) станций, эти объекты также начали вносить заметный вклад в суммарное производство электрической энергии.

При общей установленной мощности электростанций в РФ порядка 246 ГВт установленная мощность электростанций на ВИЭ (не считая ГЭС) составляет порядка 2 ГВт. Детальные актуальные данные о распределении действующих, строящихся и проектируемых сетевых и автономных станций и установок на

различных видах ВИЭ в России можно найти на сайте геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии России» (ГИС ВИЭР) (<http://gisre.ru/>). Интерактивная карта объектов солнечной энергетики имеет вид, представленный на рис. 1.20.



Рис. 1.19. Структура производства электроэнергии в РФ в динамике с 2011 по 2019 гг. (Источник: Отчеты о функционировании ЕЭС России)



Рис. 1.20. Объекты солнечной энергетики на территории РФ. Величина окружности соответствует мощности станций. Серые окружности – планируемые или строящиеся объекты. (Источник: ГИС ВИЭР).

Анализ материалов сайта ГИС ВИЭР, а также данных Ассоциации «НП Совет рынка» дает региональное распределение

действующих квалифицированных объектов солнечной и ветровой энергетики (рис. 1.21). На рисунке показаны абсолютные значения мощности объектов, что позволяет определить регионы-лидеры: по мощности солнечных станций – Астраханская и Оренбургская область (300 и 255 МВт), ветровых станций – Ростовская область и Ставропольский край.

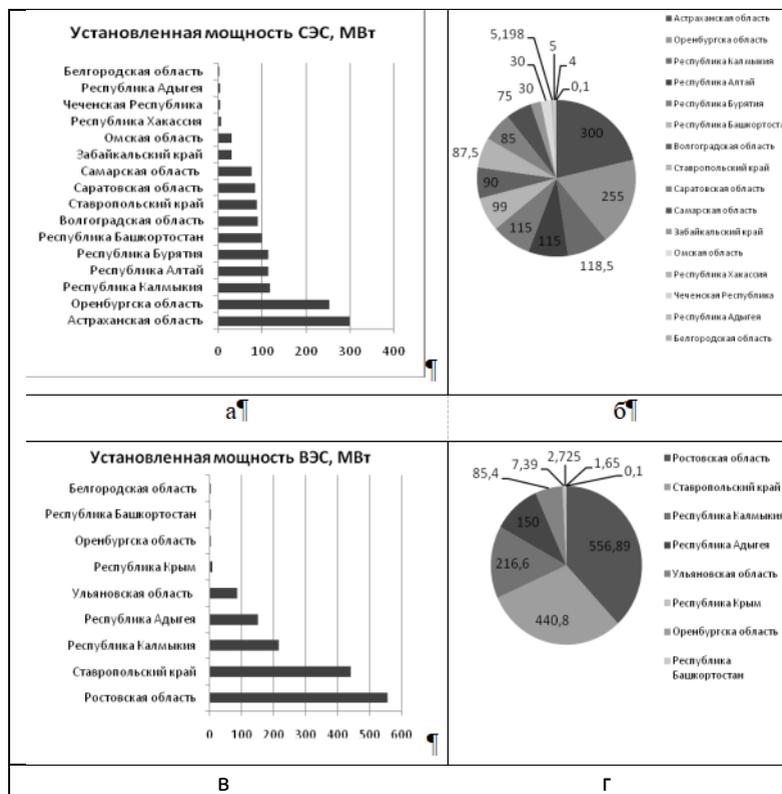


Рис. 1.21. Региональное распределение действующих в РФ квалифицированных объектов на ВИЭ: а, б – установленная мощность солнечных электростанций (СЭС), МВт; в, г – установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС), МВт. (Источник данных: Ассоциация «НП Совет рынка»)

Мощность ВЭС в регионах-лидерах более чем в два раза превосходят мощность СЭС на территории регионов-лидеров по солнечной генерации; при этом общая установленная мощность

квалифицированных объектов солнечной и ветровой генерации в РФ в настоящее время практически сравнялась (порядка 1,4 ГВт суммарная мощность станций каждого типа). Перечень регионов, которые на своей территории реализовали проекты солнечной энергетики существенно шире по сравнению с теми, где построены ветровые станции. При этом объекты как солнечной, так и ветровой энергии в основном возведены в европейской части страны (регионы Юга и Поволжья), остальные регионы России в меньшей степени вовлечены в строительство объектов ВЭ. Однако строящиеся в настоящее время крупные ВЭС в Мурманской области могут изменить это положение.

Пространственное распределение малых ГЭС на территории РФ также характеризуется большой неравномерностью. Это определяется как наличием ресурсов, так и потребностями в энергии от такого рода генерирующих объектов. В результате максимальное количество МГЭС из общей установленной мощности (объекты, приведенный на карте, рис. 1.22) 781,08 МВт, расположены в Северо-Западном Федеральном округе (Мурманская область, Республика Карелия), Южном и Северо-Кавказском Федеральных округах. В Сибири и на Дальнем Востоке эксплуатируются единичные МГЭС, в основном на юге Сибири и на Камчатке. Количественные характеристики малой гидроэнергетики в регионах активного развития этой отрасли ВЭ представлены в таблице 4.6.

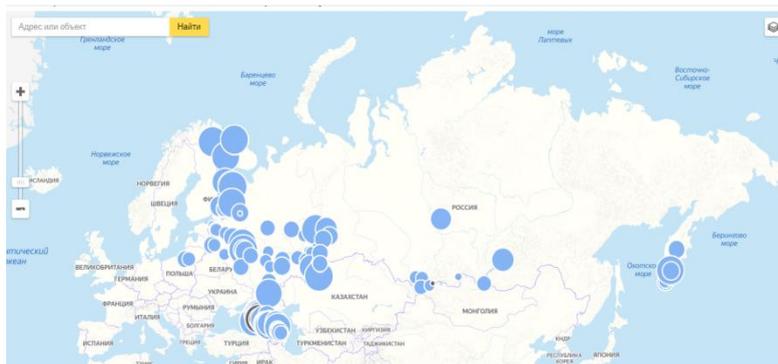


Рис. 1.22. Объекты малой гидроэнергетики на территории РФ. Величина окружности соответствует мощности станций. Серые окружности – планируемые или строящиеся объекты.
(Источник: ГИС ВИЭ России).

ТАБЛИЦА 1.6.

ПОКАЗАТЕЛИ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ МГЭС В РЕГИОНАХ РФ.

Источник: лекция Я.И. Бляшко (к.т.н. Генеральный директор АО «МНТО ИНСЭТ») на XII Молодежной научной школе с международным участием «Возобновляемые источники энергии»,

Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова. 24-25 ноября 2020 г.

№ п/п	Регион	Кол-во станций, шт.	Установленная мощность, МВт
1	Республика Тыва	18	8,0
2	Республика Алтай	35	104,7
3	Республика Бурятия (Прибайкалье)	12	18,0
4	Северная Осетия-Алания	17	230
5	Кабардино-Балкария	11	2,5
6	Республика Карелия:		
	- восстановление	27	6,5
	- новое строительство	17	24,6
7	Республика Коми	22	14,4

Геотермальные электростанции сооружены и действуют в России только на Камчатке и Курильских островах – технологически изолированных энгергорайонах, которые обеспечены высокопотенциальными ресурсами геотермальной энергии. В остальных регионах РФ геотермальные ресурсы (в основном низко- и среднепотенциальные, характеризующиеся температурой геотермального флюида менее 100°C) используются для отопления и горячего энгергоснабжения, в том числе с использованием тепловых насосов. Общая мощность геотермальных установок и станций, показанные на карте (рис. 1.23) составляет 133,57 МВт.



Рис. 1.23. Объекты геотермальной энгергетики на территории РФ.

Величина окружности соответствует мощности станций. Красные окружности – геотермальные электростанции, фиолетовые окружности – теплонасосные станции или системы горячего водоснабжения.

(Источник: ГИС ВИЭР).

Что касается объема ежегодно вырабатываемой энергии от станций на ВИЭ в РФ, то после принятия мер государственной поддержки этой отрасли (2013 г.), производство энергии от введенных в строй квалифицированных (в основном сетевых) объектов показывает стабильный рост (рис. 1.24), причем лидирует солнечная энергетика.

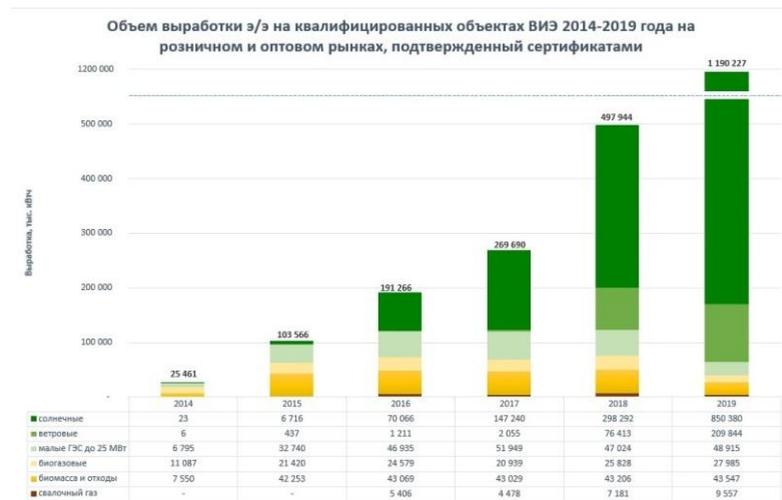


Рис. 1.24. Динамика производства энергии от квалифицированных объектов на ВИЭ в РФ. (Источник: Ассоциация «НП Совет рынка»)

В последние годы возрастает также интерес к автономным и сетевым станциям малой мощности – как в зонах централизованного энергоснабжения, так и вне таковых. Особенно значимые проекты солнечных автономных станции, начиная с 2010-х гг. были осуществлены на территории Якутии, Республики Алтай и других изолированных от централизованных энергосетей регионов, что дало устойчивое энергоснабжение сельским населенным пунктам, ранее обеспеченным только дизель-генерацией, причем с низким уровнем гарантированности.

В России понимание необходимости развивать перспективные технологии использования ВИЭ проявилось позднее, чем в других странах. Разработка законодательной базы поддержки ВЭ в РФ началась лишь в 2007 году, а реализация государственной программы – с 2015 года. Основными целями этой программы являются:

– накопление в стране научно-технологических компетенций по перспективным технологиям использования ВИЭ и недопущение технологического отставания от передовых стран в этой быстро развивающейся области энергетики;

– создание отечественных наукоемких промышленных производств основных компонентов ВЭ с высокой долей локализации производств, ориентированных, в том числе, на экспорт конкурентоспособной продукции;

– создание предпосылок для уже сегодня экономически эффективного применения энергоустановок на ВИЭ для энергоснабжения удаленных от сетей централизованного энергоснабжения потребителей (Арктика, Дальний Восток и др.).

Именно в рамках программы государственной поддержки за последние годы в стране были введены десятки объектов ВЭ (в основном солнечные электростанции). К 2035 году предполагается ввести в различных регионах страны около 3 ГВт ветровых, 2,2 ГВт солнечных электростанций и около 200 МВт малых ГЭС. При этом доля выработки электрической энергии объектами ВЭ в энергобалансе России составит к этому времени всего около 1,5%.

Новые вызовы для российской энергетики, которые определяют сложности в масштабировании генерации на возобновляемых источниках энергии, связаны с тем, что в нашей стране:

- относительно малая часть территории обладает достаточным потенциалом ветровой или солнечной энергии для экономически оправданного освоения, при этом наиболее развитые в экономическом плане территории Центрального региона, где высоки потребности в энергоснабжении, к ней не относятся;

- страна обладает крупными запасами ископаемых топлив, прежде всего – природного газа и угля, которые, в настоящее время, не всегда используются с должной эффективностью в силу использования морально и физически устаревших технологий и оборудования;

- в бюджете страны существенную долю занимают доходы от экспорта энергоносителей.

В этой связи усилия по ускорению перехода от преимущественного использования ископаемых органических и ядерного топлив к широкому применению ВИЭ и водорода для России смысла не имеют. В то же время участие в этом процессе крайне важно, как указано выше, в силу необходимости освоения новых перспективных энергетических технологий, недопущения технологического отставания от ведущих зарубежных стран и

экономически эффективного позиционирования российской продукции в международном пространстве.

Таким образом, возобновляемая энергетика как отрасль находится на этапе становления, в том числе с точки зрения нормативно-правовых механизмов поддержки.

В Российской Федерации использование энергии возобновляемых источников субсидируется государством. Для стимулирования внедрения электростанций на ВИЭ используются Договоры о предоставлении мощности (ДПМ) (Федеральный закон РФ от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике»). При этом проводятся конкурсные отборы проектов по строительству генерирующих объектов на ВИЭ, с которыми заключаются ДПМ (Постановление Правительства РФ от 28.05.2013 N 449). В результате принятия такого метода поддержки возобновляемой энергетики, главным источником возврата затрат инвестора являются платежи за поставку мощности, продажа электроэнергии на оптовом рынке энергии и мощности (ОРЭМ) – второстепенна. Подобная система отличается от принятого в большинстве стран использования повышенного тарифа на покупку энергии от объектов возобновляемой энергетики, в том числе СЭС.

Для каждого типа объекта ВИЭ в РФ были установлены целевые объемы ввода в эксплуатацию и требования по степени локализации с разбивкой по годам. Детальное планирование позволяет инвесторам и производителям генерирующего оборудования рассчитывать сроки возврата инвестиций и разворачивать производственные площади на территории РФ. Последнее необходимо для выполнения целевых показателей по локализации. Кроме того, достигаются условия для создания конкурентной среды на рынке генерирующего оборудования, что может способствовать снижению стоимости энергии.

Таким образом, развитие возобновляемой энергетики в России прошло длительный путь. Наиболее широко ВИЭ (малые ГЭС и ветроустановки) применялись в сложные периоды восстановления народного хозяйства после гражданской и Великой Отечественной войны. В связи с развитием энергетики больших мощностей возобновляемая энергетика испытала длительный период спада в период с 1960 по 2010 гг. В последние десятилетия темпы ввода мощностей и производства энергии от различных видов ВИЭ в России демонстрируют значительную динамику, достигнув 2 ГВт установленной мощности и 1,2 млрд. кВтч/год производства электроэнергии к 2020 г. Значительный рост мощностей станций на

ВИЭ в определяется главным образом развитой в 2000-2015 гг. системой государственной поддержки отрасли. Эта система (для крупных сетевых станций) включает в себя установленные целевые показатели ввода объектов, гарантии покупки энергии от станций на ВИЭ сетевыми организациями, торговлю мощностью станций на ВИЭ на оптовом рынке в рамках долгосрочных договоров на поставку мощности, гарантирующих инвесторам возврат вложенных средств с приемлемым уровнем прибыли.

Подробный анализ истории развития отдельных отраслей возобновляемой энергетики в СССР и России можно найти в [11-14].

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы тенденции общего мирового энергопотребления и удельного (душевого) энергопотребления? На основе открытых источников данных (см. литературу к разделу) в табличном и графическом виде представьте динамику душевого и суммарного мирового потребления энергии в XX-XXI вв.
2. Охарактеризуйте длинные волны экономического развития на протяжении индустриального периода в связи с развитием энергетических технологий. Какие технологические новации обеспечивали рост энергопотребления в отдельные периоды?
3. Составьте схему классификации возобновляемых источников энергии. Какие природные и антропогенные источники определяют ресурсы каждого вида ВИЭ?
4. На основе материалов раздела 2.2 или открытых интернет-источников проведите сравнение запасов традиционного ископаемого топлива и технического потенциала (ресурсов) возобновляемых источников энергии.
5. Каковы особенности распределение ресурсов отдельных видов ВИЭ по территории мира. С какими физико-географическими факторами оно связано?
6. На основе материалов раздела 2.3 или открытых интернет-источников постройте диаграммы изменения установленной мощности различных отраслей возобновляемой энергетики (солнечная фотоэнергетика, ветровая, гидро-, геотермальная энергетика) в мире в целом или в странах-лидерах (по выбору).
7. Какова физическая причина низкой конкурентоспособности установок на возобновляемых источниках энергии? При каких условиях произведенная энергия от солнечных/ветровых установок (станций) конкурентоспособна.

Литература по разделу

1. Энергетика в современном мире: научное издание/ В.Е. Фортов, О.С. Попель – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. 168 с.
2. Сайт EES EAEC. Мировая энергетика. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.eeseaec.org/energeticeskaa-statistika>.
3. В.В. Клименко, А.Г. Терешин, Е.В. Федотова. Мировая энергетика, энергетические ресурсы планеты и глобальные изменения климата в XXI веке и за его пределами//Энергетика и климат. 2017. Выпуск 4. С. 26-36.
4. Официальный сайт Международного энергетического агентства (IEA). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iea.org/>.
5. Ресурсы возобновляемой энергетики: методы оценки и картографирование/ С.В. Киселева, Ю.Ю.Рафикова, Т.И.Андреенок и др. — М.: Наука, 2019. — 194 с. Книга находится в открытом доступе на сайте ГИС ВИЭР (<https://gisre.ru/useful/publishing/828-resursy-vozobnovlyaemoj-energetiki-metody-otsenki-i-kartografirovanie>) или представляется в электронном виде по запросу слушателя.
6. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива: (показатели по территориям) / Под ред. д.т.н. Безруких П.П. – Москва: ИАЦ Энергия, 2007. – 272 с. Введение к книге представлено на электронном ресурсе <https://www.bookvoed.ru/files/3515/75/46/7.pdf>.
7. Официальный сайт Международного агентства по возобновляемой энергетике IRENA. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://globalatlas.irena.org>
8. Официальный сайт Национальной лаборатории возобновляемой энергии США. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nrel.gov/gis/about.html>
9. Сайт группы REN21. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ren21.net/?gclid=CjwKCAjw55-NBhANEiwARMCszltfXoNDDL4ZpFOJQOJpXepn4o-8Tx_F-kFZcDWRa9j5q84jT_C1lhoCv9cQAvD_BwE.
10. Сайт группы REN21. GLOBAL STATUS REPORT. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf.

11. Бутузов В.А. Фотоэнергетика России//С.О.К. 2020, № 7. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/fotoenergetika-v-rossii>.
12. Бутузов В.А. Геотермальные электростанции России//С.О.К. 2020, № 3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/geotermalnye-elektrostantsii-rossii>.
13. Бутузов В.А. Геотермальное теплоснабжение: российские научные и инженерные школы//С.О.К. 2018, № 11. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/geotermalnoe-teplosnabzhenie-rossiyskie-nauchnye-i-inzhenernye-shkoly>.
14. Бутузов В.А. Советское и российское солнечное теплоснабжение – научные и инженерные школы//С.О.К. 2018, № 8. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/sovetskoe-i-rossiyskoe-solnechnoe-teplosnabzhenie-nauchnye-i-inzhenernye-shkoly/>

ГЛАВА 2

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

2.1. ТЕХНОЛОГИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время существуют различные технологии использования солнечной энергии. Основными из них являются:

- технология получения тепловой энергии в водонагревательных установках;
- технология получения электрической энергии с помощью фотоэлектрических преобразователей, объединенных в фотоэлектрические модули.

Рассмотрим кратко принципы работы обоих типов преобразователей энергии Солнца.

Солнечная водонагревательная установка (СВУ) состоит из солнечного коллектора и теплообменника-аккумулятора (рис. 2.1). Через солнечный коллектор (рис. 2.2) циркулирует теплоноситель (вода или специальный антифриз). Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе энергией солнца и отдает затем тепловую энергию воде через теплообменник, (обычно вмонтированный в бак-аккумулятор, но может быть и отдельным). В баке-аккумуляторе хранится горячая вода до момента ее использования, поэтому он должен иметь хорошую теплоизоляцию. В первом контуре, где расположен солнечный коллектор, может использоваться естественная или принудительная циркуляция теплоносителя. В бак-аккумулятор может устанавливаться электрический нагреватель-дублер. В случае понижения температуры в баке-аккумуляторе ниже установленной (при продолжительной пасмурной погоде или малом количестве часов солнечного сияния зимой) нагреватель-дублер автоматически включается и догревает воду до заданной температуры. Очень часто солнечные нагреватели используют совместно с другими источниками тепла — газовыми, жидкотопливными и другими бойлерами.

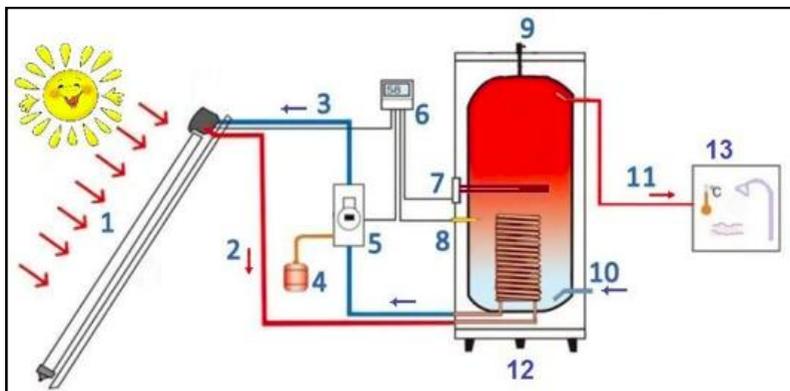


Рис. 2.1. Схема солнечной водонагревательной установки: 1 – солнечный коллектор, 2 – подающая труба для подачи горячей воды в бак-накопитель 9, 3 – подающая труба для подачи холодной воды; 5 – насосное оборудование; 4 – расширительный бачок; 6 – управляющее устройство (контроль температуры, управление режимом работы насоса), 10 – теплонагревательный элемент для дополнительного подогрева воды, 11 – подающая труба для подачи воды потребителю 13.

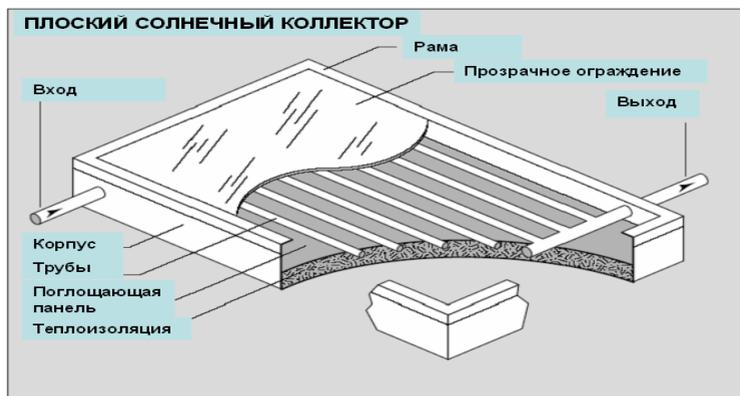


Рис. 2.2. Типичная конструкция плоского солнечного коллектора

Солнечные фотоэлектрические модули состоят из набора солнечных элементов (фотоэлектрических преобразователей), которые преобразуют солнечную энергию в электрическую. Большинство солнечных элементов производят из кремния. Преобразование энергии электромагнитного солнечного излучения в фотоэлектрических преобразователях (ФЭП) основано на внутреннем фотоэффекте, который возникает в неоднородных

полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения (рис. 2.3).

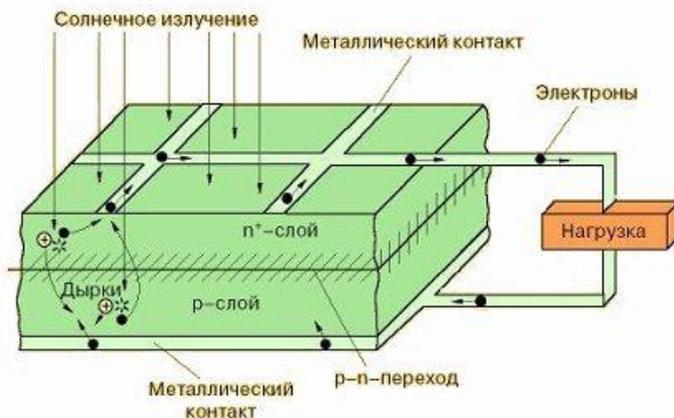


Рис. 2.3. Схема и принцип работы фотоэлектрического преобразователя

Помимо внутреннего фотоэффекта в полупроводниках в ФЭП используется эффект деления фотогенерированных носителей зарядов (электронов и дырок) электронно-дырочным переходом или потенциальным барьером типа металл–диэлектрик–полупроводник. Фотоэффект имеет место, когда фотон (световой луч) падает на элемент из двух материалов с разным типом электрической проводимости (дырочной или электронной). Попав в такой материал, фотон выбивает электрон из его среды, образуя свободный отрицательный заряд и «дырку» (вакантное место на орбиталях атома после высвобождения электрона). В результате равновесие так называемого p – n -перехода нарушается и в цепи возникает электрический ток.

Взаимодействие фотонов с материалом фотоэлектрического элемента (ФЭ), определяется энергией фотона:

$$E_h = h \times \nu,$$

где h – постоянная Планка ($6,63 \times 10^{-34}$); ν – частота электромагнитного излучения (солнечного света).

Образование свободных электронов и «дырок» под действием фотонов происходит, если энергия поглощенных фотонов превышает ширину зоны запрещенных энергий полупроводника ($E_h > E_{з.зоны}$). Для различных полупроводников существует граничное значение частоты $\nu_{мин}$, определяемой шириной запрещенной зоны, ниже которой разделения зарядов не происходит.

2.2. ТЕХНОЛОГИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Ветроэнергетика – это отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании энергии ветра в электрическую, механическую, тепловую или другие удобные для использования виды энергии. Поскольку именно Солнце является тем первоисточником, который влияет на погодные явления и вызывает движение воздушных масс в атмосфере (ветер), ветровую энергию по своей сути можно рассматривать как одну из форм проявления солнечной энергии, вследствие чего она повсеместно доступна и неисчерпаема.

В современной ветроэнергетике используются ветроэнергетические установки (ВЭУ) различных мощностей и типов. Основная классификация проходит по признаку расположения оси ветрогенератора, в зависимости от которого вынуждающей силой, обеспечивающей вращение ветроколеса, является либо подъемная сила (ВЭУ с горизонтальной осью), либо сила сопротивления стороны лопастей (ВЭУ с вертикальной осью) (схема на рис. 2.4).

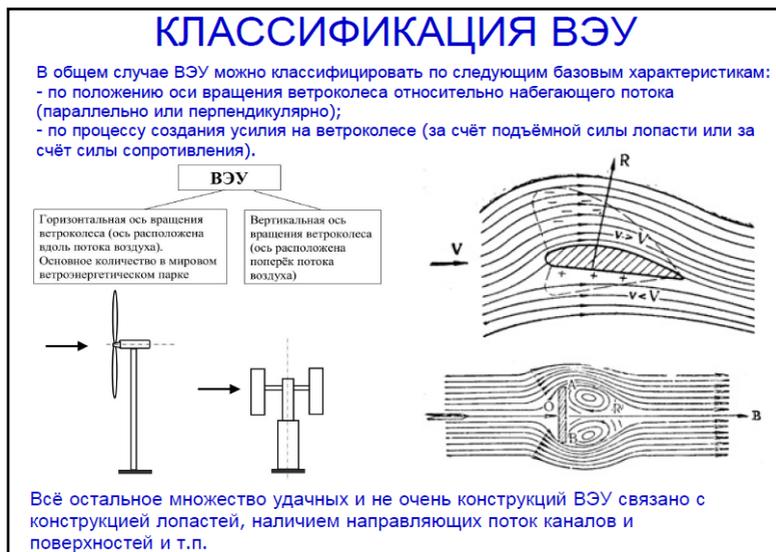


Рис. 2.4. Схема к классификации ветроустановок (Источник: доклад Ныркковского В.И. (к.т.н., ОАО ГосМКБ «Радуга» им. А.Я. Березняка», Корпорация тактическое ракетное вооружение) «Российский опыт производства ВЭУ мегаваттного класса и анализ предлагаемых технологий». Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова, Школа ВИЭ, 2016 г.)

Наиболее широко в настоящее время в ветроэнергетике больших мощностей используются горизонтально-осевые ВЭУ. Это связано с существенно более высоким теоретическим (и практически достигнутым) коэффициентом преобразования энергии ветра ξ (рис. 2.5). Этот коэффициент равен отношению энергии вращения ветроколеса к энергии набегающего ветрового потока в пределах площади, ометаемой ветроколесом. Согласно закону Жуковского-Бецца, теоретический предел коэффициента преобразования энергии ветра в энергию вращения колеса для горизонтально-осевых ветрогенераторов равен 0,593 (59,3%).

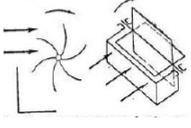
Сравнение типов ветротурбин по аэродинамической характеристике ξ (коэф. использования энергии ветра = КПД ветротурбины)			
Тип ветротурбины	Коэф. ξ теоретич.	Коэф. ξ практич.	Рисунок ВЭУ
Крыльчатая с горизонтальной осью вращения параллельной потоку воздуха (классическая)	0,593	0,52	
Карусельная крыльчатая ветротурбины с вертикальной осью вращения перпендикулярной направлению движения потока	0,42	0,39	
Роторная карусельная с осью перпендикулярной направлению движения потока	0,192	0,1	

Рис. 2.5. Сравнение коэффициентов (теоретических и практически достигнутых) использования энергии ветра в ветротурбинах различного типа. (Источник: доклад Нырковского В.И. (к.т.н., ОАО ГосМКБ «Радуга» им. А.Я. Березняка», Корпорация тактическое ракетное вооружение) «Российский опыт производства ВЭУ мегаваттного класса и анализ предлагаемых технологий» Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова, Школа ВИЭ, 2016 г.)

Кратко рассмотрим принципы работы ветрогенератора, которые в упрощенном виде можно представить следующим образом. Сила ветра приводит в движение лопасти, которые через специальный

привод приводят к вращению ротор электрогенератора (рис. 2.6). Благодаря наличию статорной обмотки, механическая энергия превращается в обмотке статора в электрическую энергию (электрический ток). Вследствие большого непостоянства скорости ветра и значительной зависимости мощности ветрогенератора ($P_{ВГ}$) от скорости ветра ($P_{ВГ} \sim V^3$) выработка ветроустановки (производительность ВЭУ в единицу времени) очень существенно изменяется во времени. Это создает большие проблемы как для потребителя в случае работы ВЭУ в составе автономной системы энергоснабжения, так и для электросетей в случае значительной доли ВЭС в составе генерирующих мощностей, подключенных к данной сети. Подобного рода проблемы в настоящее время являются значимыми для стран ЕС, где мощность ВЭС в ряде стран составляет десятки процентов от установленной мощности электрической генерации в целом. В случае автономных систем (рис. 2.7) для устойчивости энергоснабжения в состав системы вводят аккумуляторные батареи (АКБ) и инверторы, которые обеспечивают для потребителя электрическую энергию потребительского качества (для переменного тока – заданные значения напряжения, частоты, доли активной и реактивной составляющей мощности). Более детальное обсуждение принципов работы, характеристик ВЭУ различного типа можно найти, например, в [1, 2].



Рис. 2.6. Схема работы ветрогенератора: показан принцип преобразования энергии ветра и состав ветрогенератора

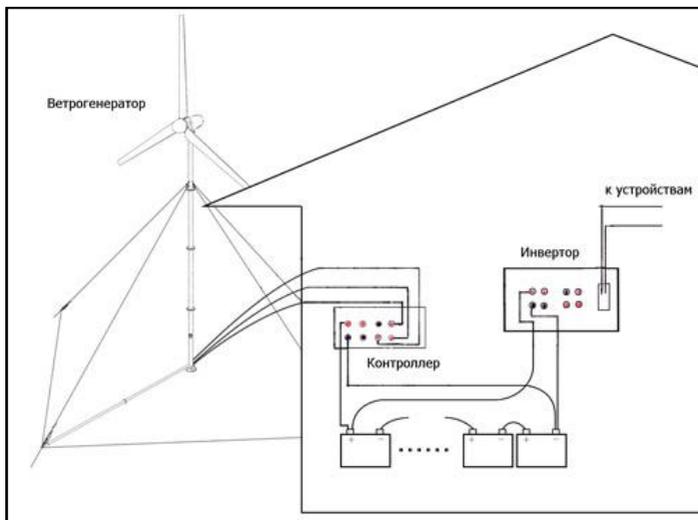


Рис. 2.7. Схема работы ветрогенератора в составе автономной системы энергоснабжения

2.3. ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

Современная гидроэнергетика является крупнейшей отраслью возобновляемой энергетики. Согласно докладу REN21, к 2020 г. [10] суммарная мощность всех ГЭС мира составила 1 170 ГВт. Безусловно, наибольшую долю мощности составляют крупные станции, однако и малая гидроэнергетика в отдельных регионах мира играет большую роль в энергоснабжении, особенно в сельских или удаленных от централизованного энергоснабжения районах. Лидеры по установленной мощности гидроэнергетики представлены на рис. 2.8, и этот перечень остается примерно постоянным в течение ряда десятилетий. Это связано как с наличием в странах – лидерах физико-географических условий для развития гидроэнергетики, так и конкурентоспособностью данной отрасли возобновляемой энергетики, которая демонстрирует минимальную себестоимость электроэнергии среди всех отраслей как возобновляемой, так и не возобновляемой энергетики.

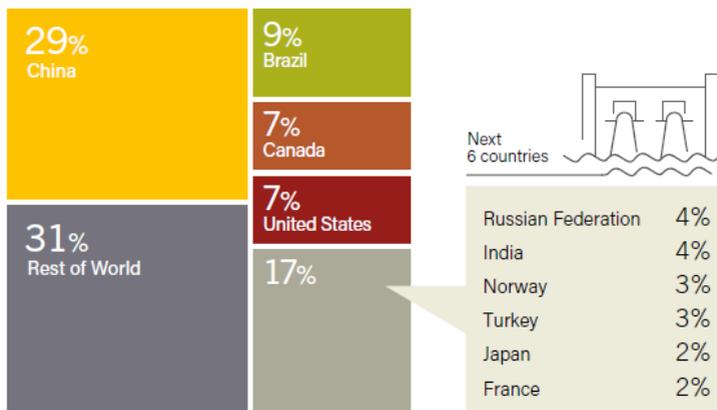


Рис. 2.8. Страны с максимальной установленной мощностью гидроэлектростанций в мире (на 2020 г.). *Источник: [10].*

Годовая производительность всей мировой гидроэнергетики в 2020 г. составила 4 370 ТВтч/год, что соответствует 16,8% от глобальной электрогенерации. При этом доля лидера – Китая – составила 1 360 ТВтч, что обеспечивает 18% электропотребления в стране. Детальное распределение установленной мощности ГЭС в странах-лидерах представлено на рисунке 1.15-Б (в главе 1). Видно, что во всех странах идет рост этого показателя по сравнению с 2019 г.

Следует отметить важную роль гидроэлектростанций в составе генерирующих станций, объединенных сетью: в них ГЭС выполняют важную роль балансирующих мощностей. Ввиду возрастания доли станций солнечной и ветровой энергетики, производительность которых непостоянна в связи с вариациями характеристик солнечной и ветровой энергии, значение ГЭС (в том числе гидроаккумулирующих станций – ГАЭС) для поддержания устойчивой работы сетей еще более возрастает. Поэтому среди современных инноваций в возобновляемой энергетике наиболее масштабной является привязка объектов на ВИЭ (солнечных, ветровых станций) к ГЭС – как по величине установленной мощности, так и по месторасположению. Выдающимся достижением в области гидроэнергетики является также рост единичной мощности гидротурбин в составе ГЭС, количество которых может достигать несколько десятков (рис. 2.9). В 2020 г. в Китае компанией China Three Gorges Corporation была введена в эксплуатацию турбина рекордной единичной мощности в 1 ГВт.

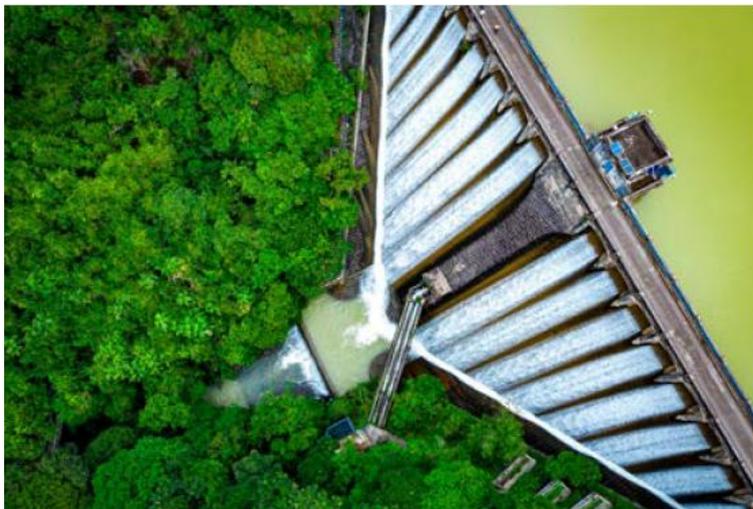


Рис. 2.9. Крупная ГЭС (Индия): вид сверху позволяет увидеть расположение гидрагрегата (в центральной части) и затворов ГЭС для поддержания необходимого уровня водохранилища и мощности ГЭС.
Источник: [10].

Итак, согласно статистическим данным, именно гидроэнергетика (а точнее гидроэнергетика больших мощностей) обеспечивает более половины установленной мощности все возобновляемой энергетики мира. Установленную мощность малых ГЭС в последние годы и их место среди других ВИЭ можно видеть из диаграммы на рис. 2.10, где под гидроэнергетикой понимается именно малая гидроэнергетика.

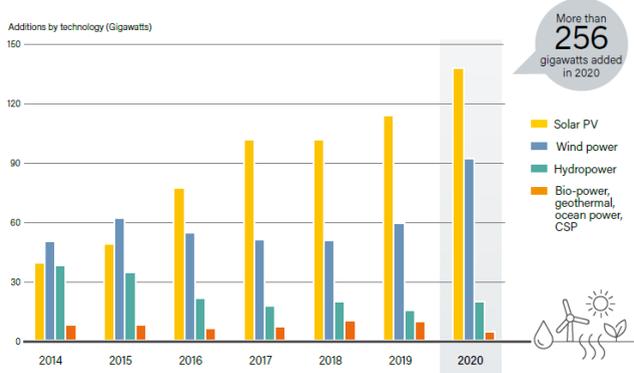


Рис. 2.10. Годовая установлена мощность станций на различных видах ВИЭ в мире. *Источник: [10].*

Отнесение гидроэлектростанции к разряду малых (МГЭС) определяется исключительно мощностью станции. Причем, классификация в зависимости от мощности разнится в зависимости от страны/региона, что связано в первую очередь с принятыми в стране мерами поддержки гидроэнергетики, а также наличием природных ресурсов (неиспользованного гидроэнергетического потенциала) (таблица 2.1). В соответствии с ГОСТ Р 51238-98. «Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая. Термины и определения», в Российской Федерации к малым ГЭС (МГЭС) принято относить ГЭС с установленной мощностью от 100 до 30000 кВт, к микрогидроэлектростанциям (микроГЭС) – МГЭС с установленной мощностью до 100 кВт. При этом характеристики гидроагрегата ограничиваются установленной мощностью 10000 кВт и диаметром рабочего колеса 3,0 м.

ТАБЛИЦА 2.1

ПРИМЕРЫ КЛАССИФИКАЦИИ МГЭС.

Страна	Классификация МГЭС в зависимости от мощности
Германия	ГЭС мощностью до 5 МВт
Франция	ГЭС мощностью до 12 МВт
Люксембург	ГЭС мощностью до 3МВт
Китай	ГЭС мощностью до 50 МВт

Источники ресурсов малой гидроэнергетики отличаются от таковых для крупных ГЭС и существенно шире по номенклатуре:

- естественные и искусственные водотоки (малые и средние реки, ручьи, оросительные и судоходные каналы);
- водосбросы из водохранилищ, искусственных прудов, шлюзов;
- гидравлические системы (питьевые водоводы, технологические водотоки, водосбросы ТЭЦ и АЭС).

Возможности развития малой гидроэнергетики в России определяются колоссальными водными ресурсами. В России насчитывается около 2,5 млн. малых рек, сток которых составляет до 50% общего стока. На территории бассейнов малых рек проживает до 44% городского населения и до 90% сельского населения страны. Однако современное состояние малой гидроэнергетики России не соответствует этому потенциалу, количество и мощность МГЭС в РФ в динамике показаны в таблице 2.2.

ТАБЛИЦА 2.2.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ В РЕГИОНАХ
РОССИИ (ПО СОСТОЯНИЮ НА 2020 г.)**

Регион	Кол-во станций, шт.	Установленная мощность, МВт
Республика Тыва	18	8,0
Республика Алтай	35	104,7
Республика Бурятия	12	18,0
Северная Осетия-Алания	17	230
Кабардино-Балкария	11	2,5
Республика Карелия: - восстановление	27	6,5
- новое строительство	17	24,6
Республика Коми	22	14,4

Рынок крупных ГЭС определяют несколько производителей основного оборудования и большое число поставщиков вспомогательных компонентов и систем. В отличие от этого рынок малых гидросооружений представлен значительным количеством производителей оборудования, которое более технологично для применения огромного разнообразия конструкций и новых материалов. Поэтому в настоящее время на мировом рынке имеется большое количество производителей современного унифицированного оборудования для малых гидрообъектов. Как таковых лидеров по производству оборудования нет, так как каждая проектируемая МГЭС закупает оборудование от компаний, которые предложат лучшие условия. Европейские МГЭС используют оборудование из Германии, Швейцарии, Австрии и российских заводов. В Российской Федерации ведущими производителями оборудования для малых ГЭС является АООТ "НПО ЦКТИ" (г.Санкт-Петербург), АОЗТ «МНТО ИНСЭТ» (г. Санкт-Петербург), АО «ТЯЖМАШ» (г.Сызрань), ОАО «ЭЛСИБ» (г.Новосибирск), ООО «МАГИ-Э» (г.Москва), ПО «Стрела» (г.Оренбург), Научно-производственное объединение «РАНД» (г.Санкт-Петербург) и др.

Принцип работы малых гидроэлектростанций ничем не отличается от принципа работы станций большой мощности. Воды реки, озера, водохранилища, под действием напора, создаваемого водной массой, перемещается в заданном направлении и поступает на лопасти гидравлической турбины. Турбина передает свое вращательное движение ротору электрогенератора, в результате чего в обмотке статора вырабатывается электрический ток. Напор воды создается путем строительства плотины, естественным течением воды, либо обоими способами одновременно. Мощность водного потока и, следовательно, мощность гидроагрегата определяется напором и перепадом высот на участке русла (рис. 2.11). На малых реках, ручьях, каналах часто устанавливают свободнопоточные ГЭС без создания плотин. У более крупных рек часть воды отводится в канал, по которому вода попадает на лопасти гидроагрегата. В горной местности с помощью создания деривации увеличивают перепад высот на участке реки, где расположена МГЭС.



Рис. 2.11. Иллюстрации к схемам организации водного потока для МГЭС. (Источник: доклад Бляшко Я.И. (к.т.н., директор АОЗТ «МНТО ИНСЭТ» «Перспективы использования малой гидроэнергетики в условиях Севера и вечной мерзлоты». Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова, Школа ВИЭ, 2020 г.)

2.4. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

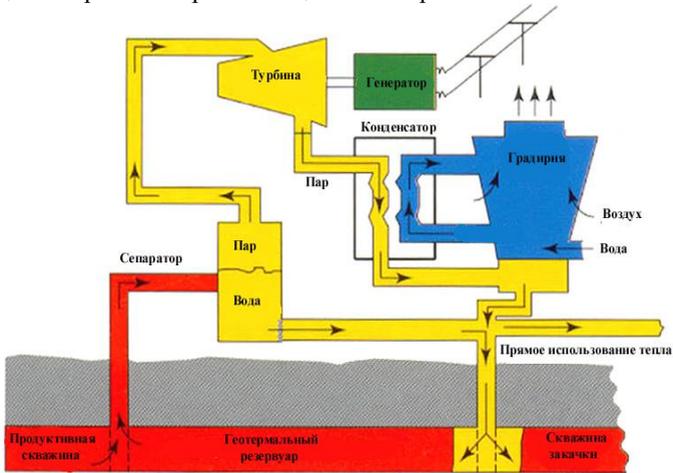
Первые опыты по выработке электрической энергии на геотермальном паре были выполнены в 1904 году на месторождении Лардерелло (Италия). Во второй половине двадцатого столетия геотермальная энергетика получила активное развитие, и на сегодня суммарная установленная мощность геотермальных электрических станций (ГеоЭС) в мире составляет около 14,1 ГВт (на 2020 г.), генерация электрической энергии – 97 ТВтч. Большинство действующих ГеоЭС построены в районах с высокой вулканической активностью и используют в качестве теплоносителя геотермальный перегретый пар (месторождения «Гейзерс» в США, «Лардерелло» в Италии) или чаще пароводяную смесь (Мацукава в Японии, «Вайракей» в Новой Зеландии).

Принцип работы ГеоЭС заключается в следующем. Геотермальный теплоноситель (чаще в виде пароводяной смеси) посредством пробуренных производительных скважин глубиной от 500 до 3000 метров доставляется на поверхность Земли. Исходный геотермальный теплоноситель значительно уступает по качеству рабочему телу (воде и пару) традиционных ТЭС и АЭС и содержит большое количество примесей и газов. Поэтому в сепарационных установках (сепараторах) организовано отделение паровой фазы от влаги и примесей (рис. 2.12, а), после чего пар поступает в турбину, а сепарат закачивается в реинжекционную скважину. В турбине происходит преобразование тепловой энергии пара в механическую энергию вращения ротора, а затем в электрогенераторе в электрическую. Отработавший в турбине пар конденсируется, в конденсаторе образующийся конденсат закачивается через реинжекционную скважину обратно в георезервуар.

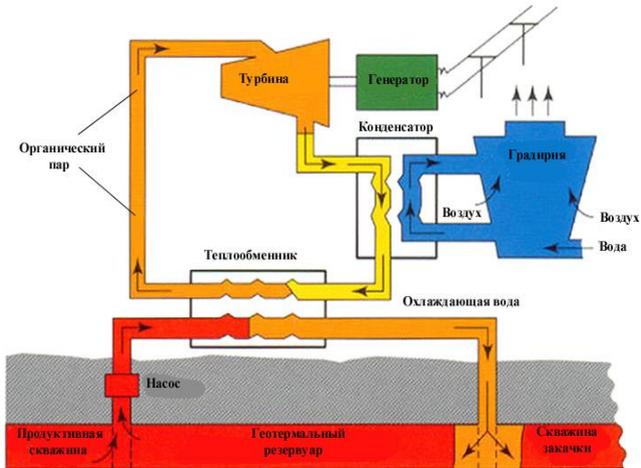
В России впервые в 1967 году было запатентовано изобретение и реализована на опытно-промышленной Паратунской ГеоЭС (Камчатка) с бинарным циклом технология получения электрической энергии на основе использования геотермальной горячей воды. К настоящему времени более 500 подобных геотермальных энергетических установок с бинарным циклом работают во всем мире.

Двухконтурные ГеоЭС с бинарным циклом позволяют реализовать технологию получения электроэнергии из горячей геотермальной воды. Геотермальный теплоноситель в таких ГеоЭС используется для подогрева и испарения в теплообменнике рабочего низкокипящего тела (например, изопентан) второго контура (рис. 2.12 б), которое в парообразном состоянии совершает

работу в бинарной турбине. Затем происходит его конденсация в конденсаторе и весь рабочий цикл повторяется вновь.



а)



б)

Рис. 2.12. Схема геотермальной станции с обратной закачкой теплоносителя в пласт (а), схема бинарной геотермальной станции с обратной закачкой теплоносителя в пласт (б).

Для обеспечения конденсации пара в конденсаторе применяются различные системы охлаждения, в том числе воздушные градирни (рис. 2.12, а, б).

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте краткую характеристику технологий солнечной фотоэнергетики и солнечной теплоэнергетики. Назовите страны (компании) – лидеры по производству оборудования.
2. Дайте краткую характеристику технологий ветровой энергетики. Назовите страны (компании) – лидеры по производству оборудования.
3. Дайте краткую характеристику технологий геотермальной энергетики. Назовите страны (компании) – лидеры по производству оборудования.
4. Дайте краткую характеристику технологий малой гидроэнергетики. Назовите страны (компании) – лидеры по производству оборудования.

Литература по теме

1. Энергетика в современном мире: научное издание/ В.Е. Фортов, О.С. Попель – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. 168 с.
2. Официальный сайт Национальной лаборатории возобновляемой энергии США. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nrel.gov/gis/about.html>
3. Сайт группы REN21. GLOBAL STATUS REPORT. [Электронныйресурс]. Режим доступа: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf.

ГЛАВА 3

БИОЭНЕРГЕТИКА: ИСТОЧНИКИ БИОМАССЫ, ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ, ВИДЫ БИОТОПЛИВА

3.1. ТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ БИОМАССЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Биоэнергетика – активно растущая отрасль энергетики, основанная на использовании источников энергии органического происхождения для производства тепла, электричества и моторных топлив. Использование биотоплива позволяет решать как экономические, так и экологические проблемы:

- замещение ископаемых топливных ресурсов,
- диверсификация источников энергии для обеспечения энергетической безопасности стран, не имеющих в достаточном количестве собственных энергетических ресурсов;
- сокращение эмиссии парниковых газов в атмосферу и др.

В большинстве развитых стран наблюдается тенденция увеличения потребления биотоплива. Темпы роста производства различных видов жидких биотоплив составляют в мире, по разным оценкам, 20-40% в год (дополнительную информацию по темпам развития биоэнергетики и других отраслей возобновляемой энергетики можно найти в ежегодном докладе REN21 по ссылке <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>).

Россия в развитии биоэнергетики отстает от других стран, хотя имеет огромные ресурсы для ее развития. По данным Госкомстата РФ в настоящее время доля биоэнергетики в общей энергетической системе России составляет менее 3%. Причинами низкого уровня использования биомассы в энергетических целях в России можно считать следующие факторы:

- представление о неиссякаемых запасах газа и нефти и как следствие этого наличие определенного психологического барьера, при котором сложилась «привычка» решения региональных энергетических проблем за счет обеспечения централизованных поставок в регион традиционных видов топлива и электрической энергии извне.

- запоздалое (октябрь 2007 г.) принятие законодательного оформления использования возобновляемых источников энергии в форме дополнения к федеральному закону «Об электроэнергетике» и последующих мер поддержки развития солнечной, ветровой и биоэнергетики [1];

- отсутствие стандартов на биотоплива, которые дают основание для реализации данного вида топлива производителям;

- отсутствие мотивации к использованию твердых бытовых отходов и осадков сточных вод в качестве топлива, наличие значительных территорий для захоронения отходов на полигонах;

- отсутствие развитой инфраструктуры и рынка биотоплива.

Биомасса определяется как неископаемый органический материал, прямо или косвенно произведенный путем фотосинтеза и содержащий внутреннюю химическую энергию. Биомасса включает всю наземную и водную растительность, или *первичную биомассу*, и все отходы, такие как твердые бытовые биологические отходы, отходы животного происхождения, отходы лесного и сельскохозяйственного производства.

Растительная биомасса является первичным источником энергии на Земле. Она образуется при фотосинтезе из диоксида углерода и воды с выделением кислорода. Причем, при образовании 1 кг сухой биомассы (древесины) поглощается около 1,83-1,88 кг CO₂ и столько же выделяется при ее разложении (окислении, горении). В результате содержание углекислого газа в атмосфере остается неизменным. Большая часть накапливаемой биомассы в природе, постепенно трансформируясь, главным образом, через сложные пищевые цепочки в конечном итоге окисляется до CO₂. Этот процесс сопровождается выделением энергии, которая излучается в мировое пространство. Таким образом, только на территории России ежегодно безвозвратно теряется такое количество энергии, которое эквивалентно нескольким млрд. тонн нефтяного эквивалента. Можно ли каким-нибудь образом, не нарушая глобальных природных процессов и баланса CO₂ в атмосфере, часть этой излучаемой энергии аккумулировать для использования? Современная наука и техника указывают на реальность такой возможности.

Преимущества биомассы как источника энергии

Биомасса имеет ряд преимуществ перед другими ресурсами для производства энергии:

1. Её использование для получения энергии является экологически более безопасным; например, по сравнению с углем она имеет более низкое содержание серы (при сжигании биомассы выделяется менее 0,2% серы и от 3 до 5% золы в сравнении с 2-3% и 10-15% соответственно для угля). Кроме того, зола может быть возвращена на энергетическую плантацию, что обеспечивает замкнутость круговорота биогенов¹.

2. Энергетические плантации биомассы предупреждают эрозию почвы, способствуют улучшению состояния окружающей

¹ Энергетические плантации (энергетические леса) – плантации быстрорастущих трав, деревьев и кустарников для использования их в энергетических целях http://www.woodheat.ru/energy_pellet/pellet_forest.html.

среды. Эмиссия окислов азота может быть снижена при сжигании биомассы при низких температурах и использовании современных технологий.

3. Применение компостов из остатков биомассы после ее энергетического использования улучшает структуру почвы и снижает загрязнение поверхностных и подземных вод.

4. Энергетические продукты из биомассы относительно дешевы, имеются возможности накопления ресурсов биомассы для постепенного их использования и однородного во времени производства энергии.

5. На биоэнергетических станциях (переработка биомассы органических отходов в биогаз) производство энергии совмещено с решением задачи утилизации органических отходов (ТКО, ОСВ, отходы сельского хозяйства). В связи с малой мощностью биоэнергетических станций к их преимуществам можно отнести также короткий срок их проектирования и строительства, повышение надежности энергоснабжения в децентрализованных энергосистемах.

Классификация видов биомассы как источника энергии

Биомасса делится на первичную (растения, животные, микроорганизмы и т.д.) и вторичную - отходы при переработке первичной биомассы и продукты жизнедеятельности человека и животных. В свою очередь отходы также делятся на *первичные* - отходы при переработке первичной биомассы (солома, ботва, опилки, щепа, спиртовая барда и т.д.) и *вторичные* - продукты физиологического обмена животных и человека. Таким образом, биомасса – часть растительного и животного мира, которая в естественном или превращенном виде может быть использована для производства электрической и/или тепловой энергии. По группам источников биомасса делится на:

- древесные отходы лесной промышленности (лесосечные отходы², отходы деревообработки, производства фанеры, древесностружечных плит, целлюлозы, а также вторичная древесина);
- сельскохозяйственные субпродукты и отходы (солома, навоз, компост и т.д.);
- органические фракции твердых коммунальных отходов и осадки сточных вод;

² Образуются от лесозаготовок: ветви, сучья, пни, низкокачественная и гнилая древесина, ветровал и опилки

- промышленные отходы (например, от пищевой и целлюлозно-бумажной промышленности);
- сахарные культуры (сахарная свекла, сахарный тростник, сорго);
- крахмальные культуры (кукуруза, пшеница, зерно, ячмень);
- масличные культуры (рапс, подсолнечники, соя и др.);
- лесные массивы (энергетические плантации) с коротким циклом;
- травяные лигноцеллюлозные культуры (мискантус).

3.2. ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ ИЗ БИОМАССЫ

В зависимости от типа получаемой энергии можно классифицировать технологии биоэнергетики следующим образом (таблица 3.1):

- Для производства *тепловой энергии (тепла)* основным процессом, применяемым в мировой биоэнергетике, является сжигание древесины, соломы, твердых коммунальных отходов (ТКО) или иных видов биомассы с невысокой влажностью; при этом постоянно ведутся работы по его усовершенствованию и снижению выбросов. В зависимости от мощности можно выделить несколько типов установок (систем). В небольших отопительных системах для домохозяйств, как правило, используют пеллеты и дрова. В средних системах целесообразно сжигать древесную щепу, брикеты, солому в решетчатых бойлерах. В крупных бойлерах можно сжигать широкий спектр топлив, включая древесные отходы, ТКО, и некондиционное топливо.

- Для производства *электрической энергии когенерации* (совместного производства тепловой и электрической энергии): в настоящее время основным методом также является прямое сжигание биомассы, однако при этом появляются и новые технологии, включающие предварительную газификацию или пиролиз биомассы.

- Для производства *биогаза (смесь метана и углекислого газа)* используют технологии анаэробного сбраживания биомассы. Твердые и жидкие остаточные продукты брожения часто используются в качестве высококачественных органоминеральных удобрений.

- Для производства *биотоплив* используется широкий спектр технологий, представленных в таблице 3.1.

ТАБЛИЦА 3.1.

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Технология производства	Исходное сырье	Процесс	Результат
1	2	3	4
Термохимическая конверсия биомассы			
Прямое сжигание	- древесина, в том числе с энергетических плантаций; - пеллеты (горючие прессованные брикеты из различных видов биомассы), - отходы сельского хозяйства, - отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности и т.д.	Горение при $t=900-2000^{\circ}\text{C}$	Электрическая и тепловая энергия
Газификация биомассы	- древесина, в том числе с энергетических плантаций; - отходы растениеводства (солома, стебли кукурузы); - отходы лесоводства; - органические ТКО.	Сжигание биомассы при $t=800-1300^{\circ}\text{C}$ в присутствии воздуха или смеси кислорода и водяного пара.	Топливный газ (синтез-газ): смесь H_2 , CO , CO_2 , NO_x , CH_4 .
Сжижение биомассы (карбокисилолиз)	Все виды биомассы в измельченном виде	Взаимодействие биомассы с CO в присутствии щелочного катализатора в жидкой среде при давлении 150-250 атм., температуре $300-350^{\circ}\text{C}$ в течение 10-30 мин.	Вязкая жидкость с $T_{\text{кип.}} = 200-350^{\circ}\text{C}$, энергоемкостью в 10 раз больше исходного сырья.
Пиролиз	- отходы лесоперерабатывающей промышленности, - отходы растениеводства (солома, стебли кукурузы),	Конверсия (преобразование) сырья без доступа воздуха при $t=450-800^{\circ}\text{C}$. Отношение энергозатрат на производство к энергоемкости	1) Бионефть (выход до 80% массы сухого сырья),

	<ul style="list-style-type: none"> - биомасса энергетических плантаций – специально выращенная древесина (гибриды ивы, черного тополя, эвкалипта и др.) и энергетические с/х культуры (кукуруза, сахарное сорго, мискантус и др.); - бытовые органические отходы, в том числе полимеры. 	полученного продукта не выше 5%.	<ul style="list-style-type: none"> 2) твердый углеродоподобный остаток – биоуголь (до 30-35%) и 3) пиролизный газ (до 70%).
Быстрый пиролиз	Те же виды сырья	Конверсия исходного сырья без доступа воздуха при термическом воздействии на биомассу экстремально высоких температур (600-1400°C) в течение 2-3 сек.	Этанол, пропилен, жидкие углеводороды, близкие к бензину, водород, метан
Гидротермальное сжижение биомассы (HTL)	<ul style="list-style-type: none"> - отходы животноводства и растениеводства; - отходы пищевых производств и органические ТКО; - активный ил очистных сооружений; - биомасса макро- и микроводорослей, в том числе культивируемая. 	Конверсия исходного сырья при температуре 350°C, давлении около 20 атм. В результате происходит несколько сложных химических процессов: гидротермальное сжижение и каталитическая гидротермальная газификация.	<ul style="list-style-type: none"> 1) Сырая бионефть, 2) Газообразные продукты, 3) Биоуголь
Синтез биометанола и его производных (биоМТБЭ)	<ul style="list-style-type: none"> - твердые продукты газификации и пиролиза биомассы, - древесина и древесные отходы. 	Сухая перегонка биомассы (нагревание без доступа кислорода до температур 500-600°C и выше).	Метанол, биоМТБЭ

Биотехнологическая конверсия биомассы			
Метаногенез	<ul style="list-style-type: none"> - отходы животноводства и растениеводства; - отходы спиртовых заводов; - отходы пищевых производств и ТКО; - осадки сточных вод; - активный ил очистных сооружений; - биомасса макро- и микроводорослей 	Анаэробная ферментация биомассы в метантенках	Биогаз, содержащий CH_4 (до 80%), CO_2 (до 20%) и примеси (N_2 , H_2 , H_2S).
Производство лендфилл-газа	твердые коммунальные органические отходы, размещенные на полигонах (свалках)	Сбор биогаза, образующегося на свалках ТКО	Биогаз
Производство биоэтанола и его производных (био-этил-трет-бутиловый эфир или БиоЭТБЭ)	<ul style="list-style-type: none"> - сельскохозяйственные культуры (сахарная свекла, сахарный тростник, кукуруза, картофель, пшеница, каассава и др.); - древесина и отходы лесной и лесоперерабатывающей промышленности 	Спиртовое брожение сахар - и крахмалсодержащего сырья, а также биогидролизатов из древесины	Этанол, биоЭТБЭ
Производство биобутанола	<ul style="list-style-type: none"> - древесина; - органические отходы лесной, деревообрабатывающей промышленности и др.; - отходы растениеводства. 	Ацетонобутиловое брожение	Биобутанол
Получение растительных углеводов			
Производство биодизельного топлива	<ul style="list-style-type: none"> - рапс, подсолнечник, соя, кукуруза, пальмовое масло, ятрофа, горчица, сурепица, индау, крамбе и др.; - некоторые виды микроводорослей; - маслосодержащие отходы пищевой промышленности. 	Отжим или экстракция масла из биомассы, переэтерификация и удаление глицерина	Метиловый эфир жирных кислот (биодизель)

Производство топливных гранул, пеллет и брикетов

Следует отметить, что даже хорошо известные технологии использования биомассы постоянно совершенствуются; так в технологиях **прямого сжигания** получила развитие дополнительная предобработка сырья, приводящая к существенному повышению скорости сгорания и энергосодержания продукта (производство пеллет, брикетов и гранул из древесных и растительных остатков).

Преимуществами использования древесных топливных гранул перед другими видами топлива являются:

- снижение вредных выбросов в атмосферу;
- большая теплотворная способность;
- низкая стоимость по сравнению с дизельным топливом;
- чистота помещения, в котором установлен котел;
- возможность автоматизации котельных;
- пеллеты можно хранить в непосредственной близости от жилых помещений.

Преимуществами использования топливных гранул, пеллет, брикетов перед другими видами топлива являются также возобновляемость сырья, CO₂-нейтральность и низкое содержание серы. Поэтому технологии получения энергии из древесины и сельскохозяйственных отходов с каждым годом все шире используются и совершенствуются. Производство и использование такого топлива позволяет существенно повысить энергетическую безопасность региона, дать значительный импульс развитию экономики, в частности, сельского хозяйства, лесозаготовки и лесопереработки. Для регионов, имеющих значительные лесные массивы и не имеющих каких-либо природных запасов традиционного топлива (газ, нефть, уголь и др.), развитие региональной энергетики на базе имеющихся запасов древесины открывает широкие перспективы экономического роста и обеспечения региональной энергетической независимости.

Топливные пеллеты, гранулы и брикеты безопасны, так как не способны самовоспламениться и требуют для хранения очень мало места. Так, например, 1 тонна пеллет занимает 0,85 м³, для ее складирования нужен 1м² площади. Теплота сгорания древесных пеллет составляет 17,5 МДж /кг, что сравнимо с каменным углем (15-25 МДж/кг) и в полтора раза больше, чем у древесной щепы (10-12 МДж/кг). Древесные топливные гранулы, брикеты, пеллеты обладают свойствами гипоаллергенности, отсутствием запаха, который характерен при сгорании растительных спор, пыли,

грибков в составе древесины и древесной щепы, воздействующих на иммунную систему человека. Зола, получаемая в результате сжигания пеллет, может быть использована как сельскохозяйственное удобрение.

Производственный процесс включает в себя 3 этапа:

Подготовка сырья. Размер сырья перед загрузкой в гранулятор не должен превышать 5 мм, поэтому для уменьшения размеров до необходимых сырье пропускают через молотковую дробилку. Молотковые дробилки могут работать на высоких скоростях – от 3000 об/мин до 8000 об/мин. Размер на выходе контролируется за счет отверстий сит, которые могут быть от 1 мм до 10 мм.

Гранулирование. Высушенное сырье направляется в прессующий узел гранулятора.

Упаковка. По окончании процесса гранулы пакуют в пластиковые пакеты для защиты от влаги и удобства транспортировки.

Поскольку дробилки и грануляторы могут работать от различных видов привода (электродвигатели, дизельные двигатели, бензиновые двигатели, вал отбора мощности), производство пеллет, брикетов и гранул может быть организовано вне централизованного энергоснабжения, в том числе на участках лесозаготовительных предприятий.

Объемы мирового производства пеллет в 2020 г. составили около 55 млн. тонн. Европейский Союз является одним из лидеров – как по производству, так и по использованию этого вида топлива. В Германии в 2020 г. производство пеллет достигло 3,1 млн тонн, а лидером по объемам потребления пеллет является Великобритания (более 7 млн. тонн). Началом формирования рынка древесных топливных пеллет, гранул и брикетов в России можно считать 2003 год. Уже в 2007 году производство древесного биотоплива увеличилось более чем в 4 раза. В 2020 году Россия произвела 2 млн. тонн пеллет, согласно данным ИАА «ИНФОБИО» и СУПР. Сырьем для выпуска пеллет служат отходы растениеводства и лесопильного производства, поэтому крупнейшими производителями гранул выступают в основном лесопромышленные компании регионов Севера, Северо-Запада и Центра России, а основными покупателями российских пеллет являются Дания, Бельгия, Италия, Великобритания, Южная Корея. Внутренний рынок твердого биотоплива развит слабее. На Дальнем Востоке основные мощности по выпуску древесных гранул сосредоточены в Хабаровском крае. Экспорт в Корею и Японию

осуществляет компания «Нью Форест Про», расположенная вблизи порта Ванино. Кроме того, на востоке страны работают такие производители, как «Азия лес» и «РФП групп». В структуре цены на пеллеты для производителей в России по-прежнему значительную часть занимает их транспортировка до портов Санкт-Петербурга, Ленинградской области и Ванино. Потенциал для развития отечественного лесопромышленного сектора очень высокий: ежегодно в России, по разным оценкам, образуется от 25 до 100 млн. м³ отходов лесной промышленности.

Еще одним стимулом роста производства и использования в России твердого биотоплива является предстоящее введение трансграничного углеродного регулирования со стороны Европейского Союза, который подразумевает взимание налога на ввозимую продукцию в соответствии с углеродным следом этой продукции. По оценкам KPMG (одной из аудиторских компаний Большой четвёрки), потери для экономики нашей страны могут составить от 2 до 5,62 млрд. евро в год. В этой связи использование для производства энергии возобновляемых источников, в том числе твердого биотоплива, может снизить углеродный след российских компаний.

Газификация биомассы

Газификация подразумевает термохимическую конверсию биомассы (в том числе специально выращенных растений энергетических плантаций или органической составляющей отходов различного происхождения) при температурах 800-1300°C в присутствии воздуха или кислорода и водяного пара с получением генераторного газа (синтез-газа). Синтез-газ газ может использоваться для получения тепловой или электрической энергии или для их одновременного производства путем когенерации с использованием газогенераторов, объединенных в один энергетический комплекс с водяными котлами или дизельными электрогенераторами. Полный технологический цикл газификации твердой биомассы с получением тепла, электричества (в том числе и с когенерацией) и с одновременным производством угольных брикетов из побочного продукта газификации – древесного угля – как правило, реализуется в рамках промышленных газогенераторных мини-ТЭЦ.

Выделяется так называемая *плазменная газификация*, которая обеспечивает полную (более 99,99%) деструкцию всех компонентов ТКО в инертной атмосфере при высоких температурах (выше 6000°C) с переводом органической части

отходов в газообразное состояние, свободное от токсических компонентов, а неорганической части – в стеклоподобный шлаковый компаунд. В плазменном генераторе используется воздушная среда и электрическая дуга переменного тока мощностью до 50000 Вт. Из-за высокой температуры конверсии этот вид газификации называют также *высокотемпературным (плазменным) пиролизом*.

Синтез-газ (сингаз, пиролизный газ, генераторный газ), получаемый газификацией имеет высокий КПД тепловой конверсии и может использоваться или напрямую для производства тепла, энергии или для синтеза целого ряда продуктов, приведенных ниже:

Синтетические биотоплива – топлива в жидком и газообразном виде, которые получают при дальнейшей переработке синтез-газа с использованием современных технологий. Жидкие синтетические биотоплива обозначаются BtL (biomass-to-liquid или «биомасса – в жидкость»), к ним относятся биометанол и FT-дизель. Газообразные синтетические биотоплива имеют аббревиатуру SNG (synthetic natural gas или «синтетический природный газ»). К ним относятся био-ДМЭ и био-SNG.

Биометанол получают путем сухой перегонки продуктов газификации или пиролиза в присутствии катализатора и используют в двигателях в качестве топлива либо в качестве добавки к бензину (до 10–20%) без конструктивных модификаций двигателя.

Био-ДМЭ (био-диметилэфир) – производится из биометанола методом каталитической дегидратации или прямым синтезом из синтез-газа. Применяется в качестве альтернативы дизельному топливу.

Био-SNG/биометан (синтетический природный газ) – получают из синтез-газа, а также из газовых смесей водорода (H_2) и окиси углерода (CO) при повышенной температуре (3000–4500 °C) и давлении (1–5 бар) в присутствии катализатора (никель, рутений, оксид алюминия), т.е. с применением так называемой реакции Сабатье. Реакции Сабатье в настоящее время изучается NASA для возможного применения на космических станциях и в будущих дальних космических полётах для восстановления воды из выдыхаемого CO_2 . Это обеспечивает почти замкнутый цикл обращения H_2O , O_2 и CO_2 , для поддержания которого требуется подача извне только незначительного количества водорода.

FT-дизель производится из синтез-газа методом Фишера-Тропша и может использоваться в качестве добавки *в любой пропорции* к дизельному топливу без конструктивных изменений двигателя. Процесс Фишера-Тропша представляет собой серию химических реакций, преобразующих смесь монооксида углерода и водорода в жидкие углеводороды является ключевым элементом конверсионной технологии BtL.

Авиационный биокеросин можно получать основе синтез-газа, произведенного путем газификации и риформинга, а также быстрым пиролизом и сжижением. Возможно также получение продукта на основе бионефти, в том числе из водорослей или лигноцеллюлозной биомассы.

Таким образом, основными *преимуществами* конверсии биомассы методом газификации являются:

- разнообразие путей конверсии,
- высокие эффективность и скорость превращения биомассы в энергетические продукты,
- широкий спектр производства востребованной на рынке продукции.

К *недостаткам* этого процесса относятся:

- возможность переработки сырья только с низким содержанием влаги,
- высокие температура и давление технологических процессов,
- сложные техническое оформление и управление процессами.

Метановое сбраживание (метаногенез)

Технология *метаногенеза* с экологической точки зрения является уникальным процессом, способным уменьшить нагрузку на окружающую среду, конвертируя органические отходы в газообразное топливо с попутным получением органоминеральных удобрений в биодоступной для растений форме. Также благодаря использованию новых мембранных технологий разделения CH_4 и CO_2 принципиально решена проблема использования биогаза в качестве автомобильного топлива. Метановое сбраживание биомассы включает четыре стадии:

1. Гидролиз сложных биополимерных молекул (белки, липиды, полисахариды и др.) на более простые мономеры, аминокислоты, углеводы и др.
2. Ферментация образовавшихся мономеров до еще более простых веществ – низших кислот и спиртов, аммиака и сероводорода;

3. Ацетогенный этап - образование водорода, углекислого газа, аниона ацетата и аниона формиата;

4. Метаногенный этап, который ведет к образованию конечного продукта расщепления – метану.

На рис. 3.1 показан внешний вид современной биогазовой станции по переработке сельскохозяйственных отходов. Конверсия отходов осуществляется в так называемых анаэробных ферментерах-метантенках, которые имеют разную конструкцию от примитивных вырытых в земле ям до сложных инженерных устройств.



Рис. 3.1. Внешний вид биогазовой станции (здание цилиндрической формы – метантенк шатрового типа – накопитель биогаза).

Конечную продукцию биогазовой станции составляют: метан, который может быть использован для производства тепла и электроэнергии, удобрения, чистая вода и углекислый газ. Причем, 1 м³ биогаза дает 1,5 – 2,2 кВтч электроэнергии и 2,8 – 4,1 кВтч тепла (эквивалент 0,6 л дизельного топлива).

Выход биогаза в зависимости от источников сырья составляет:

- 300-500 м³ биогаза в год в расчете на 1 голову крупного рогатого скота;
- 12000 м³ биогаза в год на 10 000 голов птицы;
- 6000-8000 м³ биогаза в год на 1 га луговой травы;
- 8000-12000 м³ биогаза в год на 1 га кормовой свеклы.

Производство биогаза за рубежом

По данным REN21 [2], к концу 2019 г. во всем мире было введено в эксплуатацию около 132 тыс. биогазовых реакторов, более 100 тыс. установок – в Китае, около 18 тыс. – в Европейском Союзе, около 2200 объектов – в США. К этому времени тенденция роста производства биогаза охватила и другие страны и регионы: Африка, Индия, Латинская Америка, Ближний Восток. В Европейском Союзе от 3 до 4% электроэнергии генерируется из биогаза. В Финляндии, Швеции и Австрии биогаз занимает 15-20% в структуре производства электроэнергии (таблица 3.2).

Использование анаэробного сбраживания биомассы для производства тепла и электроэнергии в ЕС в основном сконцентрировано в Австрии, Германии, Дании и Великобритании. В Германии работают около 9000 биогазовых станций, в том числе около 2000 крупных установок и более 6000 среднего размера. В перспективе 10-20% используемого в стране природного газа может быть заменено биогазом. В Австрии в настоящее время работает более 120 установок с объемами реакторов более 2000 м³ каждая, около 25 установок находятся в стадии планирования и постройки. С точки зрения интенсивности применения биогаза лидирует Дания: данный вид топлива обеспечивает почти 20% энергопотребления страны из 60 станций.

ТАБЛИЦА 3.2.

ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА ПО РЕГИОНАМ МИРА И ПО ВИДАМ СЫРЬЯ НА 2018 ГОД

Страна/регион	Производство биогаза (млн. т.н.э.)	Виды сырья (млн. т.н.э.)
Европа	18	Отходы растений-8; Навоз-6; ТКО-3; ОСВ- 1
Китай	7,3	Навоз-5; ТКО-2; ОСВ- 0,3
США	3,8	ТКО-3,5; ОСВ-0,3
Остальной мир	4	–

Биометан сейчас также активно используют, как низкоуглеродистое топливо для общественного транспорта. Так, во Франции 409 автобусов работает на биометановом топливе. Тронхейм, третий по величине город в Норвегии, эксплуатирует 189 автобусов, которые работают на биометане. Бристоль, Великобритания, также заявила желание закупить 77 автобусов на биометане, которые могут сократить выбросы парниковых газов на 80%, а выбросы оксидов азота на 95% по сравнению с дизельными эквивалентами [2].

Биогазовые станции в России

В России в настоящее время находятся в эксплуатации 4 крупные промышленные установки по метановому сбраживанию биомассы:

- 2 биогазовые станции (БГС) Мосводоканала (Люберцы и Курьяново), работающие на иловых осадках сточных вод,

- 2 БГС, построенные компанией «АльтЭнерго» в Белгородской области - «Лучки» (2,4 мВт/час, сырье – свиноводческие стоки, силосные массы и отходы местного мясоперерабатывающего завода «Агро-Белогорье») и «Байцуры» (сырье - свиноводческие стоки, дополнительное сырье – силосная масса или рожь).

В числе немногих биогазовых проектов средних и малых мощностей можно отметить следующие:

- БГС компаний «МосМедыньАгропром» (Калужская область) и «Мортадель» (Московская область);

- пилотный проект ООО «СельхозБиоГаз» (Кировская область);

- 15 биогазовых проектов в Оренбургской, Ростовской областях, в Удмуртии и в Пермском крае, осуществленных компаниями ООО «ЭнергоРежим».

Медленное развитие биогазового сегмента в значительной степени объясняется низкой инвестиционной активностью из-за длительной окупаемости биогазовых проектов – 7 лет, нерешённостью проблемы поставки локально произведённого биогаза в централизованную сеть и отсутствием условий для его конкурентоспособности. В основном в РФ востребованы небольшие установки объёмом 25 – 100 м³, способные за сутки освоить 2,5 – 10 т органики с производством газа, тепла и выработкой не менее 100 кВтч электроэнергии.

Получение и использование свалочного газа

Свалочный газ (landfill -мусорная свалка, англ. landfill gas-свалочный газ, сокращённо — LFG) собирают на полигонах твердых бытовых отходов, предотвращая загрязнение атмосферы и возможное возгорание свалок. Использование свалочного газа, который по своему генезису аналогичен биогазу, рассмотренному выше, идет в том же направлении – в качестве топлива для производства электроэнергии, тепла, или автомобильного топлива. Поскольку потенциальное влияние метана на глобальное изменение климата в 23-25 раза выше влияния CO₂, захват метана полигонов рассматривается в настоящее время как один из возможных способов сокращения выбросов парниковых газов.

Биодеградация мусора на свалках происходит под воздействием бактерий, принадлежащих к двум большим семействам: ацидогенов и метаногенов. Ацидогенные бактерии производят первичное разложение мусора на летучие карбоновые кислоты, а метаногенные бактерии перерабатывают летучие карбоновые кислоты в метан CH_4 и диоксид углерода CO_2 . Кроме того, водород поглощается углекислым газом с образованием того же метана; обнаружено, что метан может образовываться не только из водорода и углекислого газа, но также из формиатов, метанола и метиламинов. Типичный состав свалочного газа:

- метан CH_4 (50—75%),
- углекислый газ CO_2 (25—50%),
- азот N_2 (0—10%),
- водород H_2 (0—1%),
- сероводород H_2S (0—3%),
- кислород O_2 (0 - 2%).

Образование метана и CO_2 начинается примерно через 6 месяцев после размещения материала свалки, а достигает максимума примерно через 20-30 лет, а затем снижается в течение десятилетий. 1 тонна отходов производит 100-200 м^3 газа. Газ извлекают через скважины, пробуренные в толще отходов. Когда свалочный газ проникает через почвенный покров, часть метана в газе окисляется метаноокисляющими бактериями до CO_2 . После прекращения выработки газа территория, занятая полигоном, может быть вновь использована для повторного использования и переработки мусора. Некоторые примеры реализации проектов по утилизации свалочного газа приведены в таблице 3.3.

ТАБЛИЦА 3.3.
ПРИМЕРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СВАЛОЧНОГО ГАЗА [3,4.]

Название проект	Пути использования свалочного газа
Арех (мощность – 50 млн. тонн отходов/год) Лас-Вегас, Невада.	Мощность производства электроэнергии – 11 МВт для NV Energy, коммунального предприятия, обслуживающего около 2,4 миллиона потребителей.

Пуэнте-Хиллз (Puente Hills, 123 млн. тонн/год) Уиттиер, Калифорния	Мощность производства электроэнергии – 50 МВт, которых достаточно для питания примерно 50000 домов. Кроме того, часть газа Puente Hills используется для заправки мусоровозов.
RumpkeSanitary (36 млн. тонн/год) Колрейн Тауншип, Огайо	Мощность производства свалочного газа – 15 миллионов кубических футов в сутки. Получаемой энергии от свалочного газа достаточно для питания 25 000 домов и предприятий.
Партнерство по захоронению отходов округа Ньютон (19 млн. тонн/год) Брук, штат Индиана	Мощность производства свалочного газа – более 1,1 миллиона кубических футов газа в сутки. Энергия используется соседним заводом для изготовления картонных коробок для яиц.
Атлантические отходы (15 млн. тонн/год) Уэйверли, штат Вирджиния	Свалочный газ транспортируется по 20-мильному трубопроводу до завода Honeywell в Хопвелле. Свалка обеспечивает 20% энергии, используемой на заводе.

3.3. ПОЛУЧЕНИЕ ЖИДКИХ БИОТОПЛИВ

Поколения жидких биотоплив

Существующие классификации биотоплива основаны на типе используемого сырья. К *биотопливам первого поколения* относят биотопливо, полученное из пищевого/кормового сырья, *ко второму поколению* – биотопливо, полученное из непищевого сырья, главным образом, различных отходов пищевой, лесной, деревообрабатывающей промышленности, сельского хозяйства и др. Выделяют также *биотопливо третьего поколения*, полученное из биомассы микроводорослей, поскольку они специально выращиваются для энергетических целей и не являются традиционным пищевым или кормовым сырьем. В то же время биомасса микроводорослей не относится к отходам, поэтому биотопливо из них не к биотопливам второго поколения. Кроме того, биомасса микроводорослей содержит много ценных

сопутствующих веществ, зачастую превышающих по стоимости целевой энергетический продукт, вследствие чего происходит удешевление произведенного биотоплива.

От указанной выше классификации следует отличать классификацию по технологиям производства биотоплива. Принято называть технологию получения биодизельного топлива из триацилглицеринов (ТАГ) технологией *первой генерации*, а производства возобновляемого дизеля (renewablediesel³) – технологией *второй генерации*. Причем, в обоих случаях источники сырья могут быть одни и те же.

К основным жидким биотопливам, получаемым по современным технологиям, следует отнести:

- *биодизельное топливо (биодизель)*

(способ получения: переэтерификация триацилглицеринов (ТАГ) растительных масел и животных жиров; в качестве сопутствующего продукта получается глицерин);

- *возобновляемый дизель*

(способы получения:

1) гидропроцессинг⁴ ТАГ;

2) газификация биомассы или продуктов ее пиролиза с последующей каталитической конверсией синтез-газа, в том числе по технологиям Фишера-Тропша (английская аббревиатура процесса - VTL (biomasstoliquid));

- *биоэтанол первого поколения из пищевого сырья*

(способ получения: спиртовое брожение углеводсодержащего сырья дрожжами);

- *биобутанол первого поколения из пищевого сырья*

(способ получения: ацетонобутиловое сбраживание растворенных сахаров анаэробными клостридиями. В этом процессе образуется бутанол, ацетон и этанол в соотношении 60:30:10, соответственно; побочным продуктом является водород);

- *биоэтанол второго поколения из целлюлозного сырья*

(способы получения:

1) слабокислотный или ферментативный гидролиз лигноцеллюлозной биомассы, делигнификация, брожение и осушка полученного этанола;

2) газификация биомассы с последующей переработкой синтез-газа в этанол;

³ В литературе используются также названия «green-diesel», «sundiesel»

⁴ Гидропроцессинг включает гидрокрекинг, гидрогенизацию и гидроочистку.

3) каталитический синтез этанола);

- *биобутанол второго поколения из целлюлозного сырья*

(способы получения: производство основано на ацетонобутиловом сбраживании анаэробными клостридиями растворенных сахаров, полученных из целлюлозы;

- *жидкое пиролизное биотопливо (бионефть)*

(способ получения: пиролиз (быстрый пиролиз) и гидротермальное сжижение биомассы микроводорослей). Бионефть широко используется как альтернативное топливо малой и коммунальной энергетики, а также в качестве химического сырья и сырья для дорожного строительства; кроме того, бионефть можно рассматривать как промежуточное сырье для получения биобензина.

- *топливо третьего поколения из продуктов биосинтезамикроводорослей*

(способы получения:

1) биосинтез *этанола и водорода водорослями;*

2) биосинтез а) углеводов (с последующим спиртовым или ацетонобутиловым сбраживанием до *биоэтанола или биобутанола*), б) углеводов (с последующим гидрокрекингом до *керосина, бензина, дизеля, мазута и др.*), в) ТАГов (с получением переэтерификацией *биодизеля* и гидропроцессингом - *авиационного топлива*) и др. При этом сама биомасса микроводорослей или отходы ее переработки могут служить сырьем для производства биотоплива (метана, бионефти, жидких биотоплив) технологиями второй генерации.

Представленный перечень технологий и видов биотоплив не претендует на абсолютную полноту, поскольку постоянно идут исследования и разработки новых технологий получения топлива из биомассы.

Особенности производства и использования биодизеля

Биодизель, согласно Директиве 2003/30/ЕС Европейского Парламента и Союза от 8 мая 2003 г. «О содействии использованию биогорючего и других видов горючего на транспорте» — это метиловый эфир, произведенный из растительного или животного масла, обладающий качеством дизельного топлива, предназначенный для использования как биотоплива. Сырьем для биодизеля служат жиры, чаще всего растительные масла и отработанные (после производства пищи) масла, а также метиловый спирт (рис. 3.2). Для производства

биодизеля в 2000-е годы во многих странах началось активное культивирование масличных культур (в первую очередь рапса), в том числе, масличных пальм. На сегодня главным производителем и потребителем биодизеля остается Европейский Союз. Так, в 2018 г. производство биодизеля в Евросоюзе составило 13,5 млн. т, в США — 6,8 млн. т, а мировое его производство – 38,3 млн. т.

Биодизель, не имея ничего общего по химическому составу с минеральным дизелем, получаемым из нефти, по техническим свойствам близок к нему, имея ряд преимуществ и недостатков по сравнению с ним. На рис. 3.2 представлена технологическая схема производства биодизеля из семян рапса.

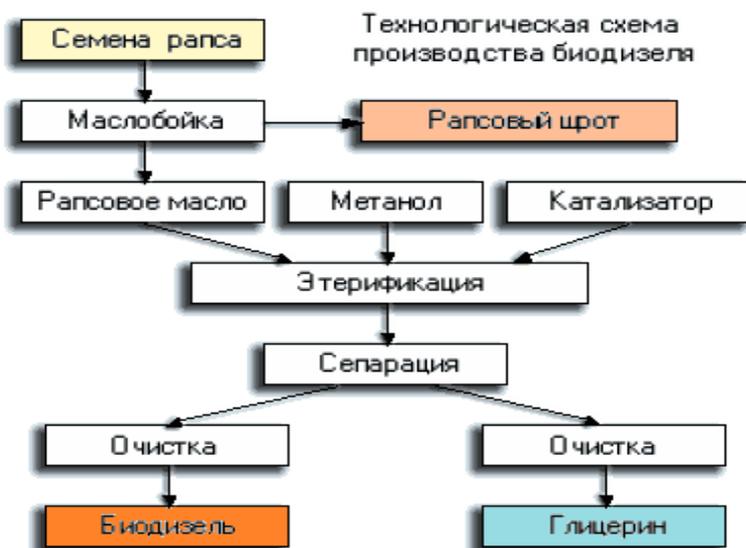


Рис. 3.2. Последовательность технологических операций при получении биодизеля

Преимущества получения и использования биодизеля в качестве топлива с экологической и технической точки зрения можно охарактеризовать следующим образом:

- Биодизель подвергается практически полному биологическому распаду: в почве или в воде микроорганизмы за месяц перерабатывают 99% попавшего в эту среду биодизеля, что позволяет говорить о минимизации загрязнения почвы, поверхностных и грунтовых вод при масштабном его использовании.

- При сгорании биодизеля выделяется такое же количество углекислого газа, которое было потреблено из атмосферы растением, являющимся исходным сырьем для производства масла, за весь период его жизни. Однако назвать биодизель экологически чистым топливом было бы неверно. Он дает меньшее количество выбросов углекислого газа в атмосферу, чем обычное дизтопливо, но все-таки это не нулевой выброс.

- Биодизель является относительно "чистым" моторным топливом; при его использовании в двигателях внутреннего сгорания и технологических агрегатах лимитируется ряд компонентов выхлопных газов, среди них: монооксид углерода (CO), несгоревшие углеводороды, окислы азота NO_x и сажа.

- Малое содержание серы в биодизеле (<0,001% против минерального дизтоплива <0,2%) позволяет эффективно использовать в двигателях катализаторы⁵.

- Биодизель обладает хорошими смазочными характеристиками, что обуславливается его химическим составом и содержанием в нем кислорода. В результате увеличивается срок службы двигателя⁶.

- Высокая температура воспламенения. Точка воспламенения для биодизеля превышает 150°C, что делает его сравнительно безопасным веществом; топливо на рапсовом масле воспламеняется при температуре 320°C. Точка воспламенения для биодизеля превышает 150°C, что делает биогорючее сравнительно безопасным веществом; топливо на рапсовом масле воспламеняется при температуре 320°C.

Среди недостатков производства и использования биодизельного топлива – как экологических, так и инженерно-технических – следует отметить следующие:

- Отчуждение под производство растительного сырья для биодизеля больших земельных площадей, на которых нередко используются повышенные дозы средств защиты растений, что приводит к биодеградации грунтов и снижению качества почв.

⁵ Катализаторы, в частности, оксидат превращает углеводороды и окись углерода в воду и углекислый газ. Оксидат чрезвычайно чувствителен к присутствию в горючем серы, "отравляющей" катализатор на длительное время и приводящей к увеличению выброса остаточных частиц. Поэтому особенную роль играет тот фактор, что биодизель в сравнении с минеральным аналогом почти не содержит серы.

⁶ При работе двигателя на биодизеле одновременно производится смазка его подвижных частей, в итоге, как показывают испытания, достигается увеличение срока службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60%.

- Невысокая предельная температура фильтруемости требует добавления в биодизель присадок для работы в холодное время года⁷.

- В транспортных средствах устаревших моделей, работающих на биодизельном топливе, выше эмиссия NO_x.

- При использовании биодизеля возможно разрушение резиновых деталей, однако во всех современных автомобилях (начиная с середины 90-х годов) используется резина, стойкая к агрессивному воздействию биодизеля.

В настоящее время большое внимание уделяется получению из любой биомассы *возобновляемого дизеля (renewablediesel* ⁸) – топлива, близкого по составу к минеральному дизелю. Возобновляемоедизельное топливо производится путем гидрогенизации биотоплива, в ходе которой из молекул триацилглицерина с помощью водорода удаляют кислород и на выходе получается дизель. Преимущества возобновляемого дизеля по сравнению с биодизелем, следующие: 1) возможность использования при низких температурах; 2) получение в качестве сопутствующего продукта пропана, который имеет очевидные преимущества перед глицерином; 3) более высокое теплосодержание и цетановое число; 4) более низкие капитальные и эксплуатационные затраты производства. В результате, в настоящее время ощутимой становится тенденция перехода именно на технологию получения возобновляемого дизеля. Так, целый ряд фирм ведет производство возобновляемого дизеля на основе гидропроцессинга [5]:

- в Финляндии работает завод фирмы «Neste Oil Corporation» по получению возобновляемого дизеля из растительного масла и животного жира, планируется строительство еще двух заводов;

- в Бразилии фирмой «Brazil's Petrobras» в настоящее время получают возобновляемый дизель на основе технологии гидрокрекинга;

- в Ирландии фирма «Cnocco Phillips» уже с 2007 г. производит возобновляемый дизель из рапса и в партнерстве с «Tyson Foods» – из отходов животных жиров с объемом производства 175 млн. галлонов в год [4, 5].

⁷Биодизель, произведенный из масел с низким йодным числом, используется как летнее топливо, соответственно из масел с высоким йодным числом – как топливо для холодной погоды.

⁸ В литературе используются также названия «green-diesel», «sundiesel»

Особенности получения и использования биоэтанола

Пионером в использовании этанола в качестве моторного топлива считают Генри Форда (1880 г.). Для производства биоэтанола и его производных (биоэтил-третбутиловый эфир – Био-ЕТБ) используются следующие виды сахаро- и крахмалсодержащего сырья: сельскохозяйственные культуры (сахарный тростник и сахарная свекла, топинамбур, кукуруза, пшеница, ячмень, картофель, каассава и др.); древесина и отходы лесной и лесоперерабатывающей промышленности как источники целлюлозы, некоторые виды микроводорослей, синтезирующие в процессе роста простые и сложные углеводы. В таблице 4 приводятся данные по выходу продукции спиртового сбраживания разного растительного сырья.

ТАБЛИЦА 3.4.
ВЫХОД ПРОДУКТОВ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ С ТОННЫ
СЫРЬЯ (СУХОЙ ПОМОЛ) ПО ДАННЫМ ОФИЦИАЛЬНОГО САЙТА
РОССИЙСКОЙ БИОТОПЛИВНОЙ АССОЦИАЦИИ [6].

Продукты брожения	Этанол, л/т	Сухая барда, кг/т	CO₂, кг/т
Пшеница	375	330	370
Рожь	357	390	350
Ячмень	330	430	320
Кукуруза	410	300	400
Тапиока (кассава)	155		
Сахарный тростник	82		
Сахарная свекла	104		

Схема технологического процесса получения биоэтанола представлена на рис. 3.3.

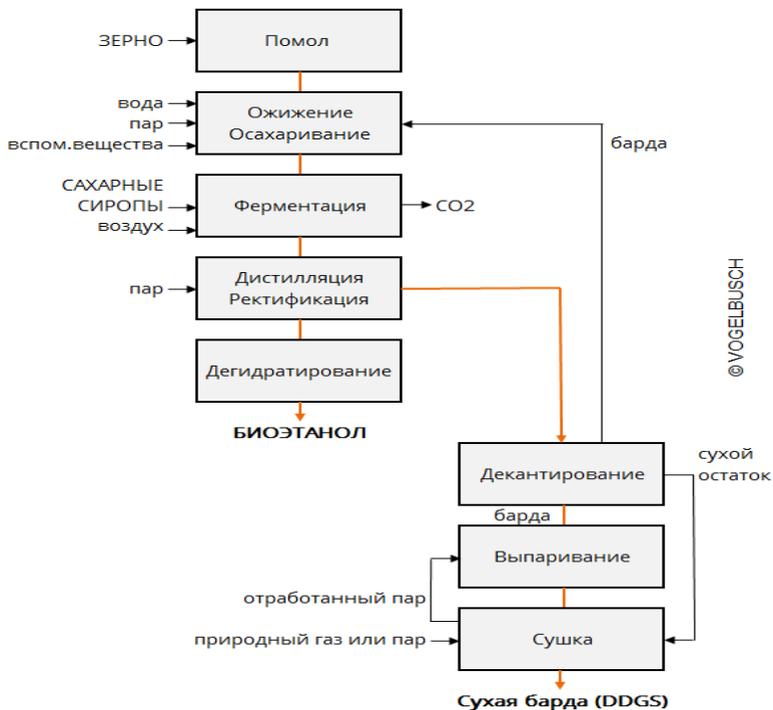


Рис. 3.3. Технологический процесс получения биоэтанола

Технология получения топливного биоэтанола практически не отличается от таковой для пищевого спирта, но есть несколько существенных отличий.

Способ производства: все чаще для производства топливного этанола применяется "мокрый" способ производства, в то время как для производства пищевого спирта применяется "сухой" способ. «Мокрый» способ подразумевает схему переработки зерна с выделением отдельных продуктов – отрубей, зародыша, глютена, муки, крахмала, и реализацию этих продуктов как отдельных товаров. При этом выделенные мука, крахмал частично или полностью могут быть переработаны в спирт. «Мокрый» способ по сравнению с «сухим» более сложный и более энергоемкий, также он требует больше воды; время строительства и стоимость оборудования по этому способу намного больше, чем «сухого»; количество продуктов получаемых при «мокром» способе больше и они могут быть реализованы как отдельные товары, за счет чего производство по этому методу более рентабельно, чем при сухом;

качество спирта может быть получено намного лучше, так как крахмал как сырье дает меньше примесей, чем цельное зерно.

Размер завода: средний биоэтанол производит 150 млн литров этанола в год. В США средним считается завод мощностью 300-400 млн литров биоэтанола в год, в Европе - 150-200 млн литров. Строить завод мощностью менее 75 млн литров нерентабельно.

Степень очистки: биоэтанол по производству этанола имеет две ректификационные колонны в отличие от завода пищевого спирта, где таких колон пять.

Содержание воды: топливный биоэтанол почти не содержит воды – его концентрация 99,8%. Поэтому в технологии используется дополнительное обезвоживание при помощи молекулярных сит.

Технологии производства топливного этанола высокоэффективны с точки зрения энергозатрат. Так, для оптимизации энергоснабжения используются газовые турбины в трехступенчатом процессе, а именно, турбина, потребляя газ, производит электроэнергию как для завода, так и для внешних потребителей. Очень горячие выхлопные газы идут на производство технологического пара. Еще теплый выхлоп идет на сушку барды. В результате на выходе мы имеем почти 100% использование энергии газа.

Биоэтанол хорошо смешивается с соляркой, бензином и другим топливом. Первичное добавление биоэтанола (10–30%) в топливо повышает качество топлива в 2.5–3 раза, уменьшает выброс вредных веществ в атмосферу до 70%.

Производимые в мире топлива с добавками биоэтанола, *не требующие изменений* в конструкции двигателя:

E-15: 85% бензина / 15% биоэтанола (но с оговоркой: только для новых автомобилей и для «автомобилей с универсальным потреблением топлива» (АУПТ), «flexible-fuel vehicle» (FFV). Эта марка топлива намного дешевле, поэтому пользуется спросом;

E-10: 90% бензина / 10% биоэтанола;

E-5: 95% бензина / 5% биоэтанола;

E-7: 93% бензина / 7% биоэтанола.

Топлива с добавками биоэтанола, *требующие изменений* в конструкции двигателя:

E-20: 80% бензина / 20% биоэтанола;

E-85: 15% бензина / 85% биоэтанола.

На рисунке 3.4 показаны масштабы современного предприятия по производству биоэтанола. Объемы производства биоэтанола странами-мировыми лидерами в этой области характеризует рисунок 3.5.



Рис. 3.4. Внешний вид заводов по производству биоэтанола (Испания)

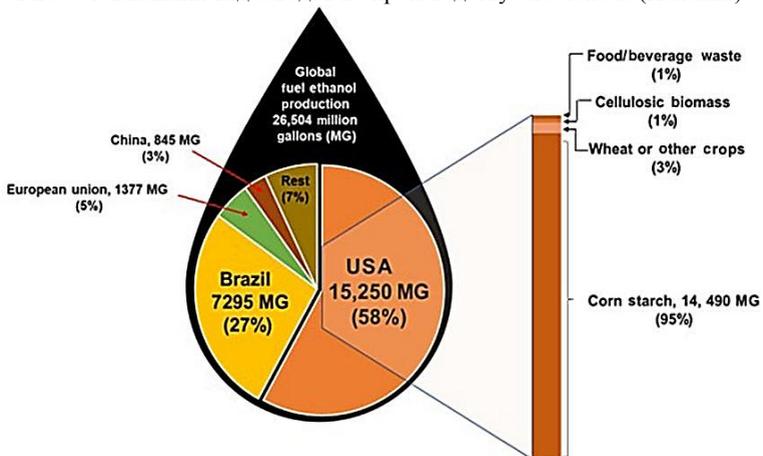


Рис. 3.5. Производство биоэтанола в мире (данные за 2018 год).

Источник [2].

Из производимых 26 504 млн. галлонов биоэтанола 15 250 млн. галлонов (58%) приходится на США (28 заводов в 7 штатах), 7295 млн. галлонов (27%) – в Бразилии, и 1377 млн. галлонов (5%) – на страны ЕС. Объем мирового рынка биоэтанола по прогнозам вырастет до 64,8 млрд. долларов США к 2025 году при темпе роста 14,0% в период с 2020 по 2025 год. Самым быстрорастущим рынком биоэтанола может стать Азиатско-Тихоокеанский регион. Стимулы масштабного использования биоэтанола в настоящее время являются ограничения на выбросы углекислого газа и стремление к минимизации зависимости стран от импортных поставок сырой нефти. Кроме того, правительства многих стран обязывают производителей использовать биоэтанольные топливные смеси во всех транспортных средствах.

России из-за природно-климатических условий и меньшей урожайности сельскохозяйственных культур, а также относительно низких цен на углеводородное топливо на внутреннем рынке труднее добиться конкурентоспособности в производстве биоэтанола из пищевого сырья для энергетических целей. Поэтому основным приоритетом могут стать инновационные технологии по производству биотоплив второго поколения из лигноцеллюлозных отходов. В этой области в России созданы уникальные ферментные системы, состоящие из комбинации синтетических полимеров с природными ферментами, способные осуществлять ферментативный гидролиз лигноцеллюлозы. Состав гидролизатов лигноцеллюлозы достаточно сложен и плохо поддается ферментации обычными спиртовыми дрожжами. Были выполнены научно-исследовательские работы с целью улучшения свойств дрожжей с использованием как классических методов селекции, так и методов геномной инженерии. Лучшим в этом отношении микроорганизмом на сегодня является штамм *Saccharomyces cerevisiae*, в который введены гены утилизации ксилозы из дрожжей *Pichiapastoris*. В результате получены дрожжи, увеличивающие выход этанола на 40% по сравнению с исходным штаммом. Расщепленная до растворимых сахаров лигноцеллюлоза в дальнейшем сбраживается традиционным способом с получением этанола, из которого каталитической восстановительной дегидратацией получают топливный биоэтанол.

Выпуск биоэтанола в качестве моторного топлива в России долгое время тормозился тем, что он попадал под действие закона о госрегулировании производства и оборота этилового спирта и на него действовал акцизный налог. Но 28 ноября 2019 г. в России вступил в силу федеральный закон, регулирующий порядок

оборота топливного биоэтанола (Федеральный закон от 28.11.2018 N 448-ФЗ). Документом вводится понятие "биоэтанол", определяется порядок лицензирования производства, хранения и поставки денатурированного этилового спирта.

Особенности получения и использования биобутанола

Одним из возможных кандидатов на биотопливо ближайшего будущего является *биобутанол*, который можно получать из осажаренной растительной биомассы путем ацетонобутиловой ферментации. Иными словами, биомассу надо преобразовать, чтобы перевести труднодоступные сложные углеводы в растворимые сахара, которые в дальнейшем перерабатываются анаэробными ацетобутиловыми бактериями. Бутанол начал производиться в 10-х годах XX века с использованием бактерии *Clostridium acetobutylicum*. В промышленности данное брожение использовалось для производства растворителей – ацетона, бутилового и этилового спирта с выделением при этом в большом количестве углекислоты и водорода. Отношение бутанол: ацетон: этанол в продуктах реакции равно 6:3:1. После отгона ацетона и спиртов из отстающего отхода (так называемой барды) извлекают витамин B2, который продуцирует ацетонобутиловые бактерии. Сырьём для производства могут быть сахарный тростник, свекла, кукуруза, пшеница, маниока, а в будущем и целлюлоза. При ацетонобутиловом брожении:

- из 1 т картофеля можно получить 25 м³ водорода, 340 кг бутанола и 110 кг ацетона, то есть с 1 га картофельных плантаций может быть получено 875 м³ водорода, 12 т бутанола и 4 т ацетона;

- из 1 т стеблей сорго - 30 м³ водорода, 114 кг бутанола и 40 кг ацетона, или с 1 га плантаций сахарного сорго - 900 м³ водорода, 3.4 т бутанола и 1.2 т ацетона.

Процесс производства бутанола более сложен в сравнении с получением этанола и состоит из следующих этапов:

- первый этап, который позволяет разорвать целлюлозную оболочку клеток исходного органического сырья. Производится путем обработки лигноцеллюлозной биомассы (опилки, торф, солома) с помощью помола до микронных размеров;

- ферментативный гидролиз гемицеллюлозы и целлюлозы на простые гексозные и пентозные сахара;

- ферментация простых сахаров в биобутанол, с использованием анаэробных бактерий, в частности *Clostridium beijerinckii*P206.

Выход биобутанола составляет 35-38% от исходного сырья. В 1950-е годы в большинстве стран мира микробиологическое производство бутанола и ацетона было свернуто из-за конкуренции с нефтехимическим синтезом. В СССР и затем в Российской Федерации микробиологическое производство бутанола продолжалось до середины 90-х годов, при этом весь образующийся водород выпускался в атмосферу (углекислый газ шел на производство жидкой и твердой углекислоты). Таким образом, в конце 50-60-х годов впервые в мире были созданы промышленные производства биотоплив из биомассы (биоводород, биометан, биобутанол, биоацетон и биоэтанол) с той лишь оговоркой, что использовались они в основном не по энергетическому направлению, а как химические растворители и реактивы. Впоследствии, из-за снижения цен на нефть в 80-е–90-е годы, производство биорастворителей стало неконкурентоспособным. Поэтому возврат интереса к его производству в связи с появившимися перспективами применения бутанола в качестве биотоплива заставит обратиться к накопленному опыту и на его основе развивать эту отрасль в России [7].

Биобутанол имеет ряд преимуществ по сравнению с этанолом:

- биобутанол по своим физическим свойствам близок к бензину и легко смешивается с обычным бензином (бутанол кипит при 117°C);

- благодаря низкому давлению паров биобутанол имеет более низкую летучесть в результате испарения (в 6 раз меньше испаряется, чем этанол, и в 13,5 раз менее летуч, чем бензин), вследствие чего он безопаснее в использовании;

- удельное энергосодержание биобутанола ближе к таковой бензина (27 КДж/л, или 84% от энергетической ценности бензина), чем этанола и, следовательно, биобутанол более экономичен в использовании;

- биобутанол может добавляться в бензин в более высоких концентрациях, чем биоэтанол при использовании в стандартных автомобильных двигателях. В настоящее время биобутанол может добавляться в бензин в концентрации до 10% в Европе и до 11,5 в США без модификации двигателя. Имеется потенциал для увеличения максимально допустимого использования биобутанола в бензине до 16% по объему.

- в присутствии воды смесь, содержащая биобутанол, в меньшей степени склонна к расслоению, чем смесь этанол/бензин, что позволяет использовать существующую инфраструктуру

дистрибуции, не требуя модификации установок для смешивания, хранилищ или заправок;

- биобутанол обладает меньшей коррозионной активностью по сравнению с этанолом;

- существующие мощности по производству этанола могут быть рентабельно модернизированы под производство биобутанола (необходимы изменения процессов ферментации и дистилляции);

- производство биобутанола может обеспечить в качестве побочного продукта производство, востребованного во многих производствах и энергетике водорода.

Термохимические технологии *пиролиза* и *гидротермального сжижения* биомассы будут рассмотрены в главе 8 «Инновационные технологии в биоэнергетике» на примере использования в качестве сырья нового нетрадиционного вида биомассы – микроводорослей, которые специально выращиваются для энергетических целей.

Контрольные вопросы и задания.

1. Каковы особенности биомассы как возобновляемого источника энергии. Приведите примеры различных видов биомассы.

2. Охарактеризуйте технологии биоэнергетики:

- газификация биомассы;
- метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов;
- получение и использование свалочного газа;
- производство биодизеля;
- производство биоэтанола;
- производство биобутанола.

В ответе опишите:

- а) принцип действия систем/установок;
- б) какие энергетические продукты при этом получают;
- в) экологические аспекты применения данных технологий.

3. Охарактеризуйте ресурсные и экологические проблемы производства и применения древесных топливных гранул.

Литература по разделу

1. Копылов А.Е. Экономика ВИЭ. Издание 2-е, переработанное и дополненное. М., Изд-во «Литагент Ридеро», 2017. 590 с.

2. REN21 Global Status Report. 2019 [Электронный ресурс]. URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf

3. Топ-15 крупнейших мусорных свалок мира [Электронный ресурс]. URL: <https://investfuture.ru/news/id/top-15-krupneyshih-musornyh-svalok-mira>
4. Топ-5 самых больших мусорных свалок в мире [Электронный ресурс]. URL: [<https://m.facebook.com/airlife.ru/photos/a.567531913380308/1321136778019814/>]
5. Renewable Diesel Technology (Renewable Diesel Subcommittee of the WSDA Technical Work Group) July 25, 2007 19 pp. [Электронный ресурс]. URL: <https://cms.agr.wa.gov/getmedia/588a0278-45f2-491f-8b59-d120e26e06e4/RenewableDieselWhitePaperFINAL.pdf>
6. Официальный сайт Российской биотопливной ассоциации. [Электронный ресурс]. URL: <https://biotoplivo.ru/bioetanol/syre/>
7. Дебабов В.Г. Биотопливо // Биотехнология, 2008. № 1. С. 3–14.
8. Е.Д. Гельфанд. Технология биотоплив: учебное пособие для магистрантов, обучающихся по направлению 240700.68 «Биотехнология». Архангельск. 2012. – 60 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docplayer.com/348521-E-d-gelfand-tehnologiya-biotopliv.html>
9. Риполь-Сарагоси Т.Л., Кууск А.Б., Возобновляемые и нетрадиционные источники энергии. Учебно-методическое пособие. Ростов-на-Дону: РостГУ путей сообщения. 2019. – 122 с.
10. Биомасса как источник энергии. Пер. с англ./Под ред. С.Суофера, О. Заборски. М.: Мир. 1985.-368 с.
11. Развитие биоэнергетики, экологическая и продовольственная безопасность: научное издание. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2009. С.88-93.
- 12.5. Возобновляемые источники энергии: термины и определения. Под общей редакцией Рустамова Н.А. - Издание второе, дополненное/ Т.И. Андреевко, В.Ф. Горнов, Р.М. Городничев и др. М.: Франтера. 2019. – 143 с.

ГЛАВА 4

РЕСУРСЫ И ПОТЕНЦИАЛЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ: МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ

4.1. РЕСУРСЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ. ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ И ПОТЕНЦИАЛОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

При проведении оценок ресурсов и потенциалов возобновляемых источников энергии определяющим является методика расчетов и исходные данные. Рассмотрим эти вопросы в приложении к оценкам ресурсов/потенциалов солнечной энергии.

Источники данных для оценки ресурсов и потенциалов солнечной энергии.

Для получения наиболее точных результатов о ресурсах, потенциалах, а также производительности установок и станций солнечной энергетики необходимы многолетние данные о часовых значениях приходящей солнечной радиации с учетом угла наклона приемной поверхности (последовательности часовых сумм суммарной солнечной радиации). В отсутствие таких данных используются среднесуточные (среднедневные), среднемесячные, и – в крайнем случае – среднегодовые значения приходящей солнечной радиации в данной точке или на заданной территории. Определить падающую солнечную радиацию в заданной точке можно несколькими методами:

- аналитическим, когда приход солнечной радиации в конкретной географической точке определяются расчетным путем;
- многолетними наземными измерениями в заданной точке;
- математическим моделированием распространения солнечной энергии в атмосфере на основе спутниковых измерений и наземных данных.

Многолетние актинометрические наблюдения в точке, максимально близкой к территории исследования, являются преимущественными с точки зрения точности, номенклатуры и длительности рядов источниками данных о приходящей солнечной радиации. Результаты обработки наземных измерений приводятся в печатных изданиях (бюллетени, справочники) и в виде электронных баз данных (БД) с различной степенью доступа (открытые, коммерческие). Ряд электронных баз данных, имеющих выход в интернет (в том числе зарубежных), предоставляет данные актинометрических станций, находящихся на территории бывшего СССР – в открытом (RETScreen, NASA POWER) или в коммерческом доступе (Meteonorm, 3TIER).

Большое значение для точности оценок ресурсов/потенциалов и проектирования солнечных станций имеет частота измерений солнечной радиации, поскольку последняя характеризуется значительной изменчивостью в течение года, сезона и суток. Эта изменчивость обусловлена астрономическими факторами, прозрачностью атмосферы и режимом облачности. При этом на этапе оценки ресурсов и валового потенциала солнечной энергии на заданной территории возможно использовать среднесезонные месячные значения прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность, информация о которой содержится в климатических справочниках. Для оптимизации режима гелиоустановок на стадии проектирования необходимо проводить моделирование работы установок и станций на основе многолетних последовательностей часовых и/или суточных сумм падающей солнечной радиации и дополнительной метеорологической информации (температура воздуха, скорость ветра).

Не меньшее значение имеет пространственное разрешение массивов данных, т.е. плотность сети актинометрических станций. При редкой сети станций зона экстраполяции актинометрических данных в пункты размещения гелиоустановок в большинстве случаев превышает зону репрезентативности актинометрических станций. Эта проблема является особенно серьезной для обширных регионов, в том числе для России, на территории которой сеть актинометрических станций достаточно редкая. В связи с этим помимо использования радиационных данных и аналитических методов оценки приходящей солнечной радиации в заданной точке, прибегают к методам экстраполяции и интерполяции данных актинометрических станций. Однако, территория России характеризуется значительной климатической и ландшафтной неоднородностью. В результате на общий широтный характер изменения прихода солнечной радиации накладываются региональные особенности погоды, состояния атмосферы, альbedo поверхности и др. В связи с этим распространение результатов актинометрических наблюдений на значительную территорию сопровождается ощутимыми погрешностями.

Использование метеорологических спутников для получения данных о различных компонентах солнечной радиации в конкретных географических точках или на значительных территориях является в настоящее время устоявшимся подходом в солнечной энергетике. История использования спутниковых данных насчитывает более 30

лет. При этом для расчета приходящей на земную поверхность радиации используются либо физические модели переноса излучения в атмосфере с учетом спутниковых данных об усредненной по вертикали облачности, оптической толщине облаков, содержании аэрозолей, малых составляющих атмосферы и т.д., либо эмпирические модели, основанные на статистических связях результатов космического мониторинга и наземных наблюдений. В настоящее время развиваются конвергентные методы, объединяющие оба эти подхода, результатом чего стали полуэмпирические модели, которые учитывают взаимодействие проходящей радиации с газами (включая водяной пар) и аэрозолями в атмосфере. Спутниковые данные о содержании этих составляющих атмосферы и определяют таким образом индексы ясности (отношение солнечной радиации в данной точке на земной поверхности к заатмосферной падающей радиации в этой же точке). Значительный прогресс в развитии такого подхода к оценке компонентов солнечного излучения, верификация результатов моделирования по наземным измерениям привели к созданию различных баз данных и веб-сервисов, которые предоставляют пользователю временные ряды спутниковых данных о солнечной радиации. В таблице 4.1 приведен перечень наиболее часто используемых в возобновляемой энергетике баз данных. Преимуществом спутниковых наблюдений являются глобальное покрытие (обычно между 60°с.ш. и 60°ю.ш.), равномерность и высокое разрешение пространственной сетки (вплоть до 1–10 км), длительность периодов измерений (20 лет и более) и высокое временное разрешение данных (суточные, трехчасовые, часовые). Недостатками данного метода получения данных является невозможность учета локальных особенностей, например, сложного (особенно горного) рельефа, приводящего к затенению, погрешности данных в связи со значительной изменчивостью условий облачности, концентрацией аэрозолей и водяного пара, большим альбедо поверхности (особенно для соляных пустынь, заснеженных территорий, побережий). В связи с этим при проектировании обязательным является учет данных актинометрических станций, максимально приближенных к площадке солнечной станции. Наилучшие результаты оценки падающей радиации могут быть получены при использовании многоканальных спутниковых измерений (в видимом и инфракрасном диапазонах спектра) в сочетании с анализом наземных актинометрических наблюдений.

ТАБЛИЦА 4.1.
БАЗЫ ДАННЫХ, СОДЕРЖАЩИЕ ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ
ПРИХОДЯЩЕЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ СОЛНЕЧНОЙ
РАДИАЦИИ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Название	Периодичность данных	Охват территории	Адрес в сети Интернет
NSRDB update	30 минут	США	http://tredec.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb/
NASA SRB	3 часа	Глобальная	http://gewex-srb.larc.nasa.gov/
NASA POWER	1сутки	Глобальная	https://power.larc.nasa.gov/
DLR-ISIS	3 часа	Глобальная	http://www.pa.op.dlr.de/ISIS/
HelioClim	1 час	Европа – Африка	http://www.soda-is.com/eng/helioclim/
SOLEMI	1 час	Европа – Африка – Азия	http://wdc.dlr.de/data_products/services/solarenergy/
SolarGIS	30 минут	Глобальная	http://solargis.info/
EnMetSol	1 час	Европа – Африка	https://www.uni-oldenburg.de/en/physics/research/ehf/energiemeteorology/enmetсол/
IrSOLaV	1 час	Европа – Африка – Азия – Америка	http://irsolav.com/
CM-SAF (SARAH)	1 час	Европа – Африка	http://www.cmsaf.eu/
SUNY- Solar Anywhere	30 минут	Северная Америка	http://www.solaranywhere.com/
MACC RAD	3 часа	Глобальная	http://www.soda-pro.com/es/help/macc-rad/automatic-access
PVGIS	1 час	Европа – Африка – Азия	http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/
Meteonorm	ТМУ (1 час)	Глобальная	http://www.meteonorm.com/
CPTEC/INPE	1сутки	Южная Америка	http://satellite.cptec.inpe.br/radiacao/

Vaisala	1 час	Глобальная	http://www.vaisala.com
Australian Bureau of Meteorology	1 час	Австралия	http://www.bom.gov.au/climate/data-services/solar-information.shtml
Мировой центр радиационных данных (МЦРД, WRDC)	1 час – для зарубежных актинометрических станций, 1 сутки – для российских станций	Глобальная (данные наземных актинометрических измерений)	http://wrdc.mgo.rssi.ru/wwwrootnew/wrdc_ru_new.htm

Отдельной важной задачей является верификация баз данных по наземным измерениям для различных регионов мира. На этой основе при проектировании солнечных станций выбирают наиболее адекватные источники спутниковой информации [1].

Широкое использование при прогнозировании и проектировании в солнечной энергетике получила глобальная по охвату база данных NASA POWER (NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources) [2], краткая характеристика которой, в том числе верификация данных для территории России, проводилась ранее в работах отечественных исследователей [3]. БД NASA POWER основана на данных реанализов MERRA-2, GEOS 5.12.4. При ее создании были использованы также результаты следующих исследовательских программ, проектов и моделей:

- NASA/GEWEX Surface Radiation Budget (SRB) Project, CERES Fast Longwave and Shortwave Radiative Fluxes (FLASH Flux) – для получения исходных актинометрических данных;
- Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) – источники метеорологических данных;
- Global Precipitation Climatology Project (GPCP) – источники данных об осадках.

Использование БД NASA POWER определяется ее выраженной специализацией и удобным пользовательским интерфейсом. Номенклатура характеристик солнечной радиации соответствует потребностям современной солнечной энергетике и включает в себя

- среднечасовые, среднесуточные (для каждого дня (суток) в период с 1983 г. по настоящее время) и многолетние средние

месячные значения суммарной солнечной радиации на верхней границе атмосферы и на уровне Земли;

– индексы ясности,

– часовые последовательности скорости ветра на высотах 10, 50 м, температуры воздуха на высоте 2 м, а также производные величины, с разрешением $(1 \times 1)^\circ$. Массивы данных структурированы по возможным потребителям (фотоэлектрические панели и солнечные коллекторы, солнечные кухни, системы с аккумуляторами энергии и тепла и т.д.). Ряды часовых и суточных сумм суммарной солнечной радиации позволяют в некотором приближении не только определять и проводить анализ природных ресурсов и валовых потенциалов, но и прогнозировать среднюю многолетнюю производительность сетевых солнечных станций (т.е. оценивать с высокой точностью технический потенциал солнечной энергии).

Методы определения солнечных ресурсов, валового и технического потенциала солнечной энергии

Ввиду отсутствия единого подхода к терминам «ресурсы» и «потенциалы» возобновляемых источников энергии, в качестве ресурсов солнечной энергии можно рассматривать средние за год/средние за отдельные сезоны суточные суммы суммарной солнечной радиации на горизонтальные или наклонные поверхности единичной площади на уровне Земли. Как уже указывалось выше, валовой потенциал возобновляемого источника энергии – это средний годовой объем энергии, содержащийся в данном виде возобновляемого источника при полном ее превращении в полезно используемую энергию. Исходя из этого определения, в качестве валового потенциала солнечной энергии на заданной территории часто принимают годовые суммы суммарной солнечной радиации, приходящей на всю площадь территории. Если рассматривается валовый потенциал для географической точки, то он рассчитывается как годовая сумма суммарной солнечной радиации, приходящей на поверхность единичной площади и заданной ориентации в пространстве (обычно в кВтч/м²/год). Для определения валового потенциала – ввиду значительной межгодовой изменчивости прихода солнечной энергии – используются многолетние ряды данных (реанализы, наземные измерения) или аналитически полученные оценки с учетом координат и средних характеристик состояния атмосферы в заданной точке или территории.

Для простейших оценок среднего многолетнего валового потенциала рекомендуется для территории России использовать ГИС ВИЭ РФ (<https://gisre.ru/maps>) или базу данных NASAPOWER (маршрут на сайте:

- Раздел Data Access Viewer

- - Renewable Energy

- - - Climatology

- - - - Parameters for Tilted PV Panels

- - - - - Solar Irradiance for Equator Facing Tilted Surfaces. Далее можно выбрать наклон принимающей поверхности).

Как указывалось выше, технический потенциал возобновляемого источника энергии – часть валового потенциала, преобразование которой в полезно используемую энергию возможно при данном уровне развития технических средств и при соблюдении требований по охране окружающей среды. При определении технического потенциала солнечной энергии следует учитывать несколько факторов.

Солнечные фотоэлектрические установки при их эксплуатации ориентируют на юг и располагаются под наиболее оптимальным углом для сбора максимального количества энергии. Если системы не снабжены трекерами (устройствами слежения приемных поверхностей за Солнцем), то наиболее оптимальными углами наклона являются угол, равный широте места φ (для неподвижных поверхностей) и угол равный $(\varphi \pm 15^\circ)$ для холодного и теплого полугодия соответственно (для установок с сезонно изменяемым углом наклона). В соответствии с этим в качестве технического потенциала солнечной энергии в точке можно в общем случае рассматривать годовую производительность типового по своим техническим характеристикам фотоэлектрического модуля (ФЭМ), ориентированного на юг и имеющего угол наклона, равный широте ($\text{кВтч}/\text{м}^2/\text{год}$). Здесь м^2 относится к площади приемной поверхности фотоэлектрического модуля. При этом предполагается, что ФЭМ работает на бесконечную нагрузку или присоединен к электрической сети, т.е. вся произведенная им энергия потребляется.

Если требуется определить технический потенциал солнечной энергии для заданной территории, то в качестве такового можно принять годовую производительность сетевой фотоэлектрической станции, занимающей всю площадь территории, состоящей из типовых ФЭМ, установленных под углом, равным широте, максимально близко друг от друга (с учетом затенения) ($\text{кВтч}/\text{год}$). Удобно также в качестве технического потенциала рассматривать

годовую производительность солнечной сетевой станции некоторой единичной мощности (например, 1 МВт), либо станции, занимающей некоторую единичную площадь территории, например гектар, или км². Тогда технический потенциал, рассчитанный на основе представительных рядов данных о приходе солнечной радиации с учетом угла наклона приемных поверхностей будет выражен в кВтч/год/МВт или кВтч/год/км². Простейший расчет производительности 1 м² приемной поверхности ФЭМ в составе СЭС в средние сутки года может быть проведен с помощью формулы:

$$E = A (\text{кВтч/м}^2/\text{сутки}) * 0,96 * 0,97 * 0,2$$

где А – суточная сумма суммарной солнечной радиации, приходящей на приемную поверхность (горизонтальную или наклонную), 0,96 и 0,97 – средние КПД преобразующего оборудования (трансформатора и инвертора), 0,2 – средний КПД современных фотоэлектрических модулей. При расчете не учитывается зависимость КПД модулей от температуры окружающей среды.

Безусловно, занять солнечными электростанциями обширные территории чаще всего невозможно. Поэтому если поставлена задача определить технический потенциал солнечной энергии, например, муниципальных районов, областей, федеральных округов и т.д., то следует учитывать расположение на этой территории таких объектов, или влияние таких факторов, которые препятствуют размещению на них ФЭМ. Таковыми являются, например, водные объекты, селитебные территории, земли специального назначения (более подробно вопрос о физико-географических, инфраструктурных и социально-экономических факторах, ограничивающих размещение станций возобновляемой энергетики на заданной территории, будет рассмотрен в главе 6).

Экономический потенциал возобновляемых источников энергии определяется как часть технического потенциала, использование которого экономически целесообразно, т.е. полученная от ВИЭ энергия конкурентоспособна (имеет более низкую себестоимость) по сравнению с энергией от иных источников. Как видно, определение этого вида потенциала требует расчета и сопоставления себестоимости энергии от возобновляемого источника, а также энергии, которая в данной местности поставляется от альтернативных источников, в том числе с использованием углеводородного топлива. Такого рода оценки и

анализ требует не только знания физико-географических, но и экономических характеристик территории; результат определяется местной спецификой, поэтому обычно оценки экономического потенциала проводятся на локальном уровне (на уровне муниципальных образований, поселений и т.п.). Хотя известны укрупненные оценки экономического потенциала для субъектов Российской Федерации [4].

Расчет производительности солнечной установки или станции в заданной точке можно провести и с использованием простейших расчетных программ, размещенных в открытом доступе в интернете. Эти программы не обладают высокой точностью и детальным пространственным разрешением (обычно соответствующей сетке исходных данных, каковыми являются те же базы данных и реанализы), но они позволяют дать ориентиры в части выбора наиболее оптимальных территорий для рассмотрения возможности сооружения станций. В качестве примера таких расчетных программ можно привести расчетную программу ресурса Global Solar Atlas (пример интерфейса показан на рис. 4.2).

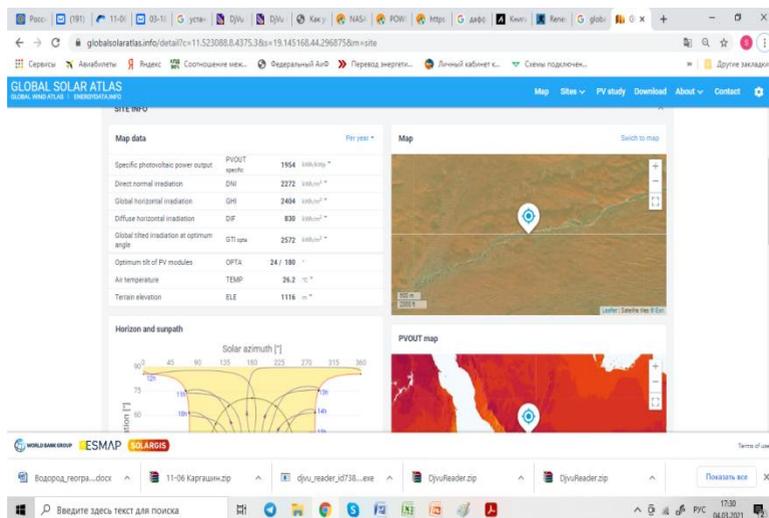
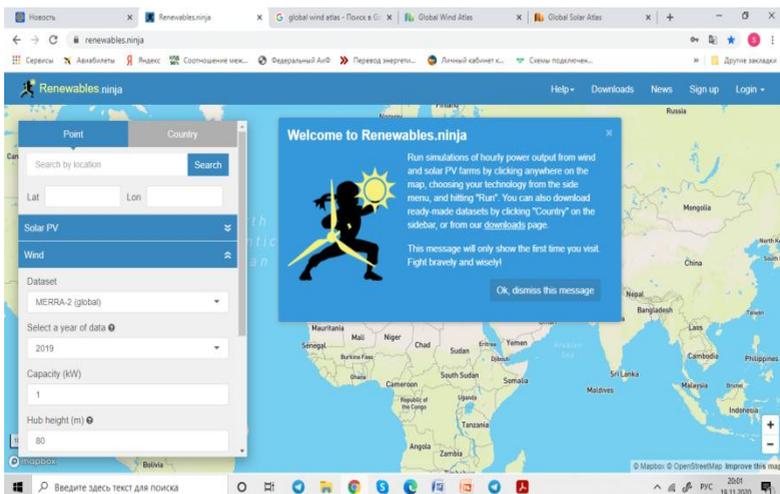
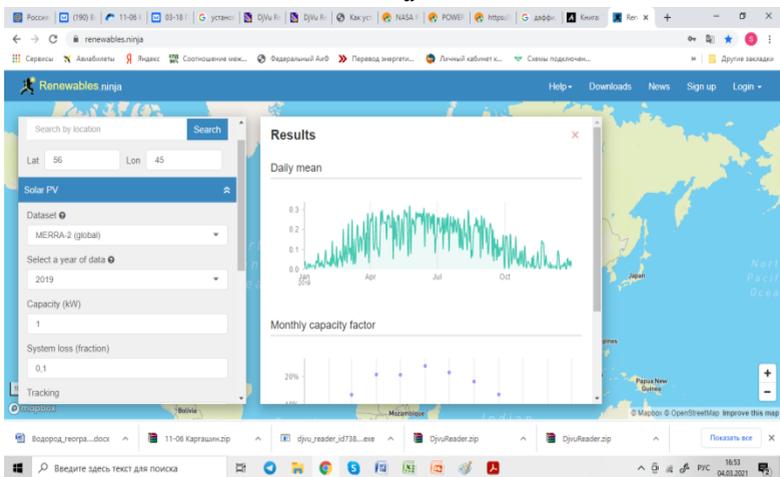


Рис. 4.2. Пример использования расчетной программы на сайте GlobalSolarAtlas для определения характеристик приходящей солнечной радиации и удельной производительности (на 1 кВт установленной мощности) солнечной станции. *Источник: [5].*

Для аналогичных целей можно использовать также открытый интернет-ресурс www.renewables.ninja (рис. 4.3 а, б) и другие аналогичные источники информации.



а



б

Рис. 4.3. Пример использования расчетной программы на сайте www.renewables.ninja для определения производительности солнечной станции, расположенной в заданной точке: а – выбор источника данных и характеристик установки, б – результат расчетов.

4.2. РЕСУРСЫ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ. ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ

Источники данных для определения ветровых ресурсов и потенциалов

Для проектирования ветроэлектрических станций, оценки производительности и в целом ресурсов и потенциалов ветровой энергии на заданной территории необходимым этапом является овладение методиками расчетов и подготовка массивов данных, адекватных поставленным задачам. Основной исходной информацией при определении ресурсов и потенциалов ветровой энергии являются (в зависимости от детализации оценки): 1) средние многолетние данные о скоростях ветра и 2) многолетние последовательности средних скоростей ветра за каждый час и/или сутки. Средние многолетние характеристики включают в себя средние значения скоростей ветра за различные периоды: средние годовые и месячные скорости ветра, средние многолетние скорости ветра по срокам (за каждый час суток – обычно с разбивкой по месяцам), средняя годовая/месячная повторяемость скоростей ветра по градациям. Эти массивы данных получают путем статистической обработки результатов наземных наблюдений, проводимых на государственных сетях метеорологических и аэрологических станций, а также путем дистанционного зондирования атмосферы спутниками. В соответствии с рекомендациями Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО им. А.И. Воейкова) для определения достоверных статистических характеристик скорости ветра длительность непрерывного ряда наблюдений должна составлять не менее 10 лет.

Для получения достоверных значений метеорологических величин к размещению метеостанций (МС), а также к измерениям, проводимым на них, предъявляются следующие требования:

- 1) репрезентативность – результаты наблюдений на МС должны быть представительны для окружающего более или менее значительного района (порядка нескольких десятков километров);
- 2) единство (сопоставимость) средств и методов измерений – приборы и оборудование на всей сети МС должны отвечать единым требованиям;

3) синхронность – измерения должны проводиться в стандартные сроки наблюдения, установленные Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО): 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 ч по всемирному скоординированному времени (ВСВ);

4) непрерывность – измерения должны проводиться постоянно (без нарушений установленного графика).

Кроме того, согласно рекомендациям ВМО, метеорологическая сеть может считаться оптимальной, если индекс плотности основных МС составляет не менее 0,4 при условии однородности рельефа, т.е. пункты наблюдений должны быть размещены с пространственным шагом около 50 км (одна станция на 2,5 тыс.км²); для территорий с неоднородным рельефом данный показатель должен быть выше.

На наземных метеорологических станциях регламентируется определение следующих характеристик ветра:

- 1) средняя скорость ветра в срок наблюдения (м/с);
- 2) среднее направление ветра в срок наблюдения (градусы);
- 3) максимальная скорость ветра в срок наблюдения (скорость ветра при порывах, м/с);

- 4) максимальная скорость ветра за период между стандартными сроками наблюдений (максимальный порыв за 3 ч, м/с).

Измерения представленных величин на метеорологической площадке выполняются на высоте 10 – 12 м от поверхности Земли с помощью анеморумбометра с периодом осреднения 10 мин; также допускается применение флюгера Вильда с легкой или тяжелой доской.

Оценки статистических характеристик скорости ветра, вычисляемые по данным многолетних наблюдений на метеорологических станциях, публикуются в виде различных справочно-климатических пособий, атласов, стандартов, а также архивов данных, отличающихся большим разнообразием. К основным источникам информации такого рода можно отнести:

- 1) Климатический справочник по СССР. Многолетние данные. Годы издания 1932–1933 гг. В расчеты включены данные с начала наблюдений на МС по 1915 год;

- 2) Климатический справочник по СССР. Многолетние данные. Годы издания 1952–1956 гг. В расчеты включены данные по 1950 год;

- 3) Справочник по климату СССР. Многолетние данные. Годы издания 1965–1968 гг. В расчеты включены данные по 1964 год;

- 4) Научно-прикладной справочник по климату СССР. Годы издания 1984–1989 гг. В расчеты включены данные по 1980 год.

С 2006 г. в сети Интернет стали доступны как архивные метеоданные, так и текущие измерения метеостанций по срокам наблюдений. Среди них электронные ресурсы Метеоцентр, Погода России, Погода и климат, Расписание погоды (gp5), Mundomanz, World Weather, National Climatic Data Center.

Опираясь на информацию, приведенную в справочной литературе или в электронных источниках метеорологических данных, следует иметь в виду, что зачастую она позволяет провести ветроэнергетические расчеты с большой долей неопределенности, обусловленной статистической неоднородностью рядов наблюдений. Наличие этой неоднородности может быть вызвано следующими основными факторами:

- 1) различия в сроках и количестве (частоте) сроков наблюдений;
- 2) различия в ветроизмерительных приборах и интервалах осреднения;
- 3) различия в высоте флюгера;
- 4) урбанизация территории.

Помимо перечисленных выше факторов значительные ограничения на использование данных МС накладывает недостаточное количество пунктов наблюдений. Как уже упоминалось ранее, индекс плотности оптимальной метеорологической сети должен составлять не менее 0,4 при условии однородности рельефа местности, т.е. одна станция на 2,5 тыс. км². Исходя из этого, нетрудно подсчитать, что для территории России площадью около 17 125 тыс. км² необходимо свыше 6850 МС. В настоящее время основная наземная метеорологическая сеть Росгидромета включает всего 1627 пунктов наблюдений, причем распределены они по территории неравномерно (рис. 4.4). Наиболее частой является сеть МС в центральных и южных регионах, где средние расстояния между станциями не превышают 30-40 км, существенно более редкой – в северных регионах, особенно в Центральной Сибири и на Дальнем Востоке, где расстояния могут достигать 100-150 км.

Детально проблемы использования данных метеорологических станций для оценок ресурсов, ветроэнергетических потенциалов и потенциальной производительности ветроустановок рассмотрены в [1, раздел 2.2]. В частности, рассмотрена важная проблема несоответствия высоты наблюдений скорости ветра на метеостанциях и высоты современных ВЭУ, что не позволяет напрямую использовать данные метеонаблюдений – даже если

метеостанция расположена в непосредственной близости к проектируемой ВЭС.

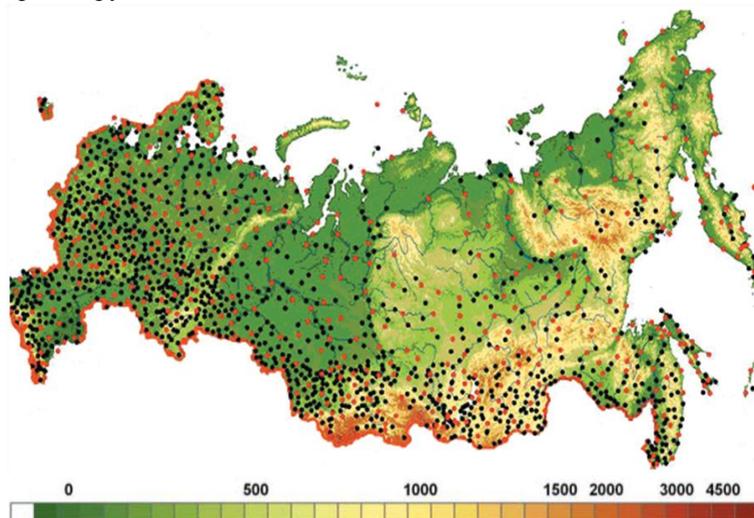


Рис.4.4. Основная наземная метеорологическая сеть Российской Федерации (красными кружками выделены станции, входящие в состав реперной климатической сети).

Цвет соответствует высоте над уровнем моря, м.

С 1970-х годов в СССР, проводились измерения ветровых характеристик на высотных метеорологических и телевизионных мачтах, в результате чего были получены точечные данные о вертикальном профиле ветра в приземном слое высотой до 500 м. К настоящему времени увеличилась частота измерений скорости и направлении ветра на опорной сети метеорологических станций РФ (до 8 раз в сутки), а некоторыми станциями ведутся непрерывные наблюдения в автоматическом режиме, что позволяет зафиксировать быстропеременные процессы, включая порывы ветра и его максимальные пульсации, периоды затишья, малых ветров и т.д. Помимо многолетних измерений на метеорологических и аэрологических станциях основными источниками данных для целей ветроэнергетики к настоящему времени стали:

- реанализы как результат математического моделирования, проводимого с использованием многолетних данных спутниковых и наземных наблюдений;
- краткосрочный ветромониторинг непосредственно на площадке предполагаемого размещения ветроэлектростанций (ВЭУ), когда в

течение 1-3 лет на мачте с высотой, соответствующей высотам современных ВЭУ (50-100 м) на нескольких горизонтах в непрерывном режиме проводятся измерения скорости и направления ветра, температуры окружающей среды. Именно такой ряд наблюдений, сопоставленный с многолетними наблюдениями ближайшей метеорологической станции, становятся основой как оценки прогнозной производительности ветростанции (ВЭС), так и кредитования проекта со стороны банков (рис. 4.5). Общий вид и состав станций ветромониторинга, а также проекты ведущей компании России в этой области ООО «Активити» можно найти на официальном сайте компании в разделе проекты (<http://activity-llc.com/docs/goals-windmonitoring.pdf>).



Рис. 4.5. Ветроизмерительный комплекс для мониторинга скоростных характеристик ветра. Мурманская область, район Кислогубской приливной станции. (Источник: официальный сайт ООО «Активити». Электронный ресурс. <http://activity-llc.com/goals/windmonitoring>. Дата обращения: 06.07.2021)

Как и для целей солнечной энергетики, для ветроэнергетических расчетов, оценки и картографического отображения ресурсов и потенциалов в настоящее время все шире используются реанализы и специализированные базы данных. Среди реанализов для оценок в ветроэнергетике (для территории России) наиболее

широко используются MERRA-2, ERA-5 и др. [<https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>; <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>].

На основе реанализов созданы тематические базы данных (БД), в том числе представленные в открытом доступе в интернете. В качестве примера такого рода баз данных, а также номенклатуры ветровых характеристик, представленных в них, можно рассмотреть данные NASAPOWER [2], в которой доступны многолетние ряды средних часовых, средних за сутки и среднегодовых скоростей ветра, а также средняя многолетняя скорость ветра за период с 1983 г. по настоящее время на высотах 2, 10, 50 м; максимальная и минимальная скорость, направление ветра для высоты 50 м, температура воздуха, влажность и другие метеорологические и актинометрические характеристики. Эти характеристики для каждой точки земной поверхности на 1 и 0,5-градусной пространственной сетке были получены в рамках проекта Goddard's Global Modeling and Assimilation Office (GMAO), который в качестве массива метеорологических данных включал в себя данные реанализа Modern Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA-2, источник: База данных реанализа Modern Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA-2; <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>)). Представительные ряды средних суточных скоростей ветра позволяют определить повторяемость скорости ветра для дальнейших оценок мощности воздушной струи и потенциальной производительности типовых ВЭУ (технический потенциал ветровой энергии). Последовательности средних за час скоростей ветра позволяют детально определить и анализировать как ресурсы/потенциалы ветровой энергии для территорий, так и потенциальную производительность различных типов ВЭУ, а также их изменчивость во времени и пространстве.

Верификация данных о скорости ветра в БД NASA POWER имеет большое значение для подтверждения их достоверности при использовании в расчетах и картографировании ресурсов и потенциалов ВИЭ. В [2, раздел DataMethodology], осредненные за 10-летний период скорости ветра $V_{\text{NASAPOWER}}$ на высоте 10 м для условий типа «аэропорт» сравнивались со средними значениями за 30-летний период наблюдений на метеостанциях сети BSRN, максимально близких к узлам сетки базы данных. Систематическая ошибка среднемесячных значений составила 0.37 м/с, а среднеквадратичная ошибка – около 1.65 м/с., что для мест с малой средней скоростью ветра является существенной величиной.

Данные базы NASA POWER дают обычно заниженные значения скоростей ветра по сравнению с наземными измерениями в горных районах. Это связано с тем, что здесь сказываются неучтенные в моделях локальные условия ускорения воздушных потоков в ущельях и на перевалах, горных хребтах и пиках. В целом пространственное разрешение базы данных NASA POWER не дает возможности учитывать значительные топографические вариации или влияние границы вода/суша.

Если при использовании архивов метеорологических наблюдений, где обычно недоступны часовые/суточные последовательности данных о скорости ветра, для расчетов используют средние многолетние значения или диаграммы повторяемости скорости ветра по градациям, то реанализы дают часовые (или с меньшим шагом) последовательности скоростей ветра, что позволяет давать более детальную характеристику как ресурсов/потенциалов, так и производительности ВЭУ в заданной точке или на заданной территории. Важным преимуществом реанализов является также то, что они обеспечивают значения скорости ветра на высотах, близких к высотам современных ВЭУ (высота башен ВЭУ достигает от 50 до 100-120 м над поверхностью Земли). Кроме того, реанализы обеспечивают данные в регулярной пространственной сетке (в отличие от наземных метеорологических станций), что позволяет определить данные в точке (или ячейке сетке), максимально близкой (или точно охватывающей) к месту установки ВЭУ или ветростанции.

Методы определения ресурсов и потенциалов ветровой энергии

Под ветроэнергетическим ресурсом понимается обычно средняя мощность воздушной струи единичной площади сечения (плотность энергии ветрового потока), которая *при экспериментально измеренной или определенной на основе данных реанализов повторяемости скорости ветра* определяется как:

$$P^{п.л.эн.} = \frac{1}{2} \rho \cdot \sum_{i=1}^k v_i^3 \cdot n_i$$

где $P^{п.л.эн.}$ – плотность энергии ветрового потока, Вт/м² вертикальной поверхности на высоте оси ветроколеса;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

v_i – средняя скорость ветра на i -ом интервале скоростей ветра на высоте оси ветроколеса, м/с;

n_i – повторяемость скорости ветра в i -ом интервале скоростей на высоте оси ветроколеса, безразмерная величина;

k – количество интервалов (градаций) скорости ветра.

Оценку ветроэнергетических ресурсов рекомендуется проводить на разных высотах. Это обусловлено тем, что в составе современных ветроэлектростанций (ВЭС) мощностью 50-100 и более МВт используются ветроустановки (ВЭУ) единичной мощности 2-3 МВт и высотой оси ветроколеса 50-100 м и более. При работе в энергоизолированных узлах можно рассматривать ВЭУ (и рассчитывать ветроэнергетические ресурсы) с высотой оси ветроколеса 50-80 м при единичной установленной мощности ВЭУ порядка 1 МВт. Для зон децентрализованного электроснабжения, в особенности, расположенных в удаленных регионах, при оценке ресурсов следует ориентироваться на ВЭУ с высотой оси ветроколеса порядка 30-50 м при единичной установленной мощности ВЭУ от десятков до сотен кВт. Таким образом, при комплексной оценке ресурсов ветроэнергетики заданной территории следует проводить расчеты и картографировать плотность энергии ветрового потока на высотах 30, 50, 100, 120 м.

В качестве валового потенциала энергии ветра можно рассматривать годовую производительность единичной идеальной ветроэнергетической установки (при оценке валового потенциала в точке), или годовую производительность ветроэнергетических установок, размещенных на заданной территории с максимальной плотностью (при оценке валового потенциала территории). Для единичной ВЭУ валовый потенциал в точке рассчитывается следующим образом:

$$E_{Val} = 10^{-3} \cdot P^{пл.эн.} \cdot T \cdot S^{омет.} \cdot k^{Ж-Б}.$$

где E_{Val} – валовый потенциал энергии ветра на высоте оси ветроколеса, кВт·ч/год;

$P^{пл.эн.}$ – средняя годовая плотность энергии ветрового потока на высоте оси ветроколеса, Вт/м²;

T – количество часов в году, час;

$S^{омет.}$ – площадь ометаемой поверхности (площадь ветроколеса), м²;

$k^{Ж-Б} = 0,593$ – коэффициент Жуковского-Бетца (предельная теоретическая эффективность преобразования энергии ветрового потока в полезную энергию ветровой турбиной).

Для определения валового ветрового потенциала территории следует рассчитать количество ВЭУ, которое может быть на ней установлено. При выборе расстояния между ВЭУ необходимо минимизировать взаимное экранирование расположенных рядом ВЭУ. Восстановление энергии ветра после ее снижения при трансформации во вращательный момент ветроколеса происходит, по данным разных авторов, на расстоянии от 8 до 20 диаметров ветроколеса (D) вдоль направлений ветра, имеющего максимальную скорость, и от 4-7 диаметров в направлениях, где скорости ветра минимальны. В формулах, приведенных ниже, при определении валового энергетического потенциала расстояние между ВЭУ было выбрано равным $10D$, исходя из преемственности отечественного методического подхода и обеспечения сопоставимости полученных результатов с результатами, приведенными в ранее выполненных оценках ветропотенциала. Тогда количество ветроустановок, размещенных максимально плотно на территории площадью $S^{Территории}$, в предположении равновероятного распределения ветра, будет равно:

$$N_{ВЭУ} = (1000/nD)^2 S^{Территории}$$

D – диаметр ветроколеса ВЭУ, м²;

$S^{Территории}$ – общая площадь территории, км²;

n – количество диаметров ветроколеса между рядами ВЭУ.

Поскольку ВЭУ различной высоты комплектуются ветроколесами различного диаметра, при оценке валового ветропотенциала следует указывать диаметра ветроколеса (или высоту оси ветроколеса), использованных при расчетах. Анализ представительной базы современных ветроустановок, производимых и эксплуатируемых в странах ЕС, США, Канаде, Японии, Индии, Китае, Корее, показывает, что обычно отношение диаметра к высоте оси ветроколеса близко к единице. Исходя из введенного выше соотношения, количество ветроустановок, максимально плотно располагаемых на единице площади территории для высоты (или диаметра ветроколеса) ВЭУ 30 м составляет 11 шт./км²; 50 м – 4 шт./км²; 100 м – 1 шт./км².

Тогда валовый ветроэнергетический потенциал территории (кВтч) площадью $S^{Территории}$ определяется как:

$$E_{Val}^{Терр} = 10^{-3} \cdot P^{пл.эн.Т} \cdot S^{омет.} \cdot k^{Ж-Б} \cdot N^{ВЭУ}$$

При этом, поскольку плотность энергии ветрового потока существенно изменяется в течение года, для определения валового

потенциала можно использовать выражение, учитывающее сезонные изменения повторяемости скоростей ветра:

$$E_{Val}^{Терр} = 10^{-3} \cdot S^{омет.} \cdot k^{Ж-Б} \cdot N^{ВЭУ} \cdot \sum_{j=1}^{12} (P_j^{пл.эн.} \cdot T_j)$$

где $P_j^{пл.эн.}$, T_j – средняя месячная плотность энергии ветрового потока и количество часов в каждом месяце соответственно.

Технический ветроэнергетический потенциал – это количество электроэнергии, которое может быть выработано из энергии ветрового потока при существующем уровне развития технологий и с учетом ограничений по размещению ВЭУ на данной территории. Иными словами, если валовый потенциал – годовая производительность идеальной единичной ВЭУ (или идеальных ВЭУ, занимающими всю заданную территорию), то технический потенциал – это производительность единичной ВЭУ (или нескольких ВЭУ) с учетом достигнутых в настоящее время в типовых современных ветроустановках КПД преобразования энергии ветра и КПД электрического оборудования. Обычно технические характеристики ветроустановки отображаются мощностной характеристикой, т.е. зависимостью мощности ВЭУ ($p_i^{мощн.ВЭУ.}$) от скорости ветра.

Зависимость $p_i(v_i)$ представляется либо в виде таблицы, либо в виде кривой для каждой модели ветрогенератора (рис. 4.6). Тогда технический ветроэнергетический потенциал – годовая производительность реальных ВЭУ, занимающих с максимальной плотностью некоторую территорию, – может быть рассчитан как:

$$E_{Tech}^{Терр} = 10^{-3} \cdot N^{ВЭУ} \cdot T \sum_{i=1}^k (p_i^{мощн.ВЭУ.} \cdot n_i)$$

где $E_{Tech}^{Терр}$ – технический ветроэнергетический потенциал территории, кВт·ч/год;

$p_i^{мощн.ВЭУ.}$ – мощность типовой ВЭУ в i -м интервале (градации) скоростей ветра, Вт;

$N^{ВЭУ}$ – количество ВЭУ, которое можно установить на заданной территории;

n_i – средняя годовая повторяемость скорости ветра в i -м интервале (градации) скоростей ветра (безразмерная);

T – количество часов в году, час.

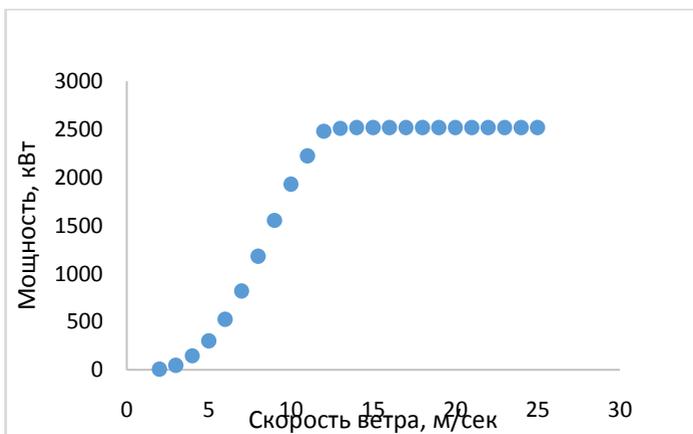


Рис. 4.6. Общий вид кривых мощности ветроэлектростанций (на примере ВЭУ LAGERWEY L100-2.5MW)

Рассчитанные на этих методических основах валовый и технический потенциалы для субъектов Российской Федерации, а также в пространственной сетке (1x1)^о представлены в Атласе [3] (рис. 4.7, 4.8), а также в виде интерактивных карт на сайте ГИС ВИЭ России (<https://gisre.ru/maps>).

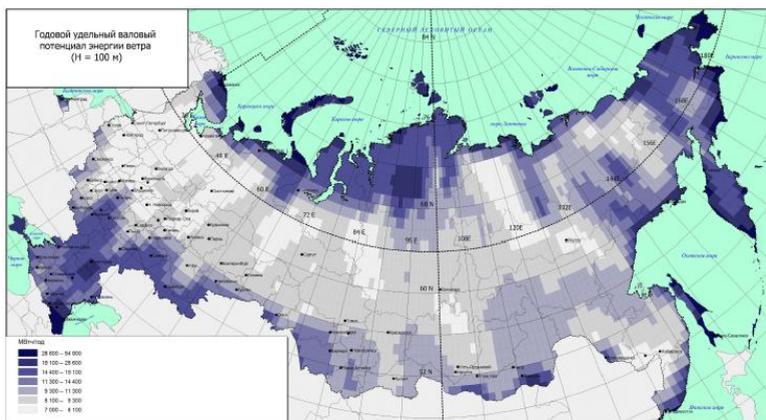


Рис. 4.7. Годовой удельный валовый потенциал энергии ветра (выработка энергии в расчете на единичную идеальную ВЭУ высотой 100 м, расположенную в ячейке пространственной сетки), МВтч/год.

В связи со значительной сезонной изменчивостью скорости ветра, как и в случае валового потенциала, более точным является

оценка сезонных или месячных технических потенциалов (производительности ВЭУ). При оценке технического потенциала важен также учет доступных территорий для размещения ВЭУ и факторов, которые определяют эту доступность (методы оценки факторов рассмотрены далее в главе 6 и в монографии [1]).

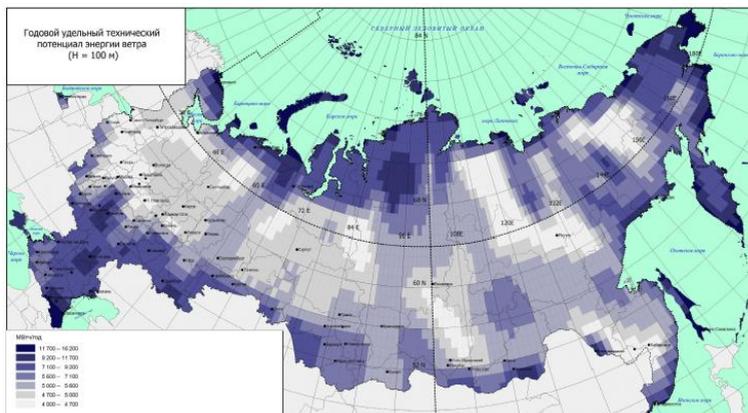


Рис. 4.8. Годовой удельный технический потенциал энергии ветра (выработка энергии в расчете на единичную ВЭУ высотой 100 м и со средними техническими характеристиками (ENERCONE-101 3050 kW)), расположенную в ячейке пространственной сетки, МВтч/год.

Наличие в реанализах часовых скоростей ветра с длительностью рядов до 50 лет позволяет проводить статистически обоснованные оценки годовой/сезонной производительности ветроэлектростанций непосредственно по этим данным с учетом кривой мощности конкретных установок. В этом случае алгоритм расчета следующий: по средним часовым значениям скорости ветра из зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра определяется средняя мощность ВЭУ за данный час. Расчеты можно проводить по многолетним последовательностям и определять таким образом статистически достоверные значения месячных, сезонных, годовых производительностей ВЭУ с заранее заданными техническими характеристиками.

4.3. РЕСУРСЫ БИОЭНЕРГЕТИКИ: ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ И МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Крупнейшим источником возобновляемой энергии в мире является биомасса, которая используется в биоэнергетике – отрасли энергетики, основанной на преобразовании химической энергии

биомассы в тепловую, электрическую и механическую энергию. Энергетическими продуктами в биоэнергетике являются, таким образом, тепло, электричество и моторное топливо. По данным аналитического обзора Всемирной биоэнергетической ассоциации (The World Bioenergy Association), общемировое использование энергии из биомассы достигло почти 60 ЭДж (60×10^{18} Джоулей), что составляет 10% от общего объема производства энергии в мире. Сырьём для биоэнергетики, вообще говоря, может быть любое органическое вещество. На практике для получения энергии используются следующие виды биомассы:

- специально выращенные для энергетических целей сельскохозяйственные культуры (энергетические культуры) – кукуруза, сахарное сорго, мискантус и быстрорастущие деревья, кустарники и др.;

- отходы лесозаготовки и деревоперерабатывающей промышленности;

- отходы животноводства и растениеводства (навоз крупного рогатого скота, свиней, птицы и др.; солома зерновых культур, стебли подсолнечника и кукурузы, ботва овощных культур, шелуха подсолнечника и др.);

- бытовые органические отходы, осадки сточных вод, активный ил очистных сооружений, биомасса макро- и микроводорослей и др.

По своему происхождению ресурсы биоэнергетики можно подразделить на природные и антропогенные. К природным ресурсам могут быть отнесены запасы биомассы лесов, лугов, водных объектов. Антропогенные ресурсы биоэнергетики создаются в процессе жизнедеятельности человека и животных, а также в производственной деятельности человека (промышленности и сельском хозяйстве). Антропогенные ресурсы подразделяются на биомассу, специально произведённую для переработки в энергетические продукты, и биомассу, являющуюся побочным продуктом основного производства, – отходом этого производства (например, отходы пищевой, целлюлозно-бумажной промышленности и т.д.).

В мире ежегодно образуется огромное количество органических отходов. Масштабы образования этих отходов таковы, что их природная ассимиляция без вмешательства человека невозможна, а вредное воздействие на окружающую среду принимает катастрофический характер. В то же время развитие технологий привело к тому, что эти отходы становятся источником сырья для переработки и получения ценных продуктов. Опыт многих стран показал, что перспективным является переработка органических

отходов с производством энергии. При этом решаются две проблемы – производство энергии и утилизация отходов, что очень актуально для широкого класса регионов (в том числе и России), включая удалённые от централизованного энергоснабжения и рекреационные объекты, где использование традиционных источников энергии невозможно или нежелательно.

Рассмотрим методы оценки ресурсов и потенциалов биоэнергетики на примере отходов агропромышленного комплекса – растениеводства и животноводства, а также твердых коммунальных отходов и осадков сточных вод (ТКО и ОСВ). Ресурсами биоэнергетики будем называть фактические объемы биомассы, доступные для переработки их с получением энергии (электрической, тепловой) или топлива. Валовым и техническим потенциалом биоэнергетики будем считать соответственно, полное количество энергии, заключенное в этой биомассе, и количество энергии, которое возможно произвести из доступной биомассы современными технологиями с учетом технических характеристик оборудования (коэффициентов преобразования энергии), экологических и иных ограничений. Тогда методика определения ресурсов, валового и технического потенциалов биоэнергетики включает ряд этапов:

1 этап – определение источников биомассы и объёмов ее производства (или образования), которые теоретически могут быть использованы для производства энергии (например, урожай сельскохозяйственных культур, поголовье скота, численность населения, расчетная лесосека).

2 этап – определение доли биомассы, которая в соответствии с территориальными физико-географическими и социально-экономическими факторами может быть использована для получения энергии за некоторый период времени (например, доля отходов от урожая сельскохозяйственных культур, норма отходов различных видов скота, количество отходов жизнедеятельности населения);

3 этап – определение энергосодержания указанной доли биомассы;

4 этап – определение количества тепловой, электрической энергии или топлива, которое может быть получено при преобразовании энергии отходов, с учетом современных технологических возможностей, экологических и иных ограничений.

Валовый и технический энергетический потенциал ТКО и ОСВ

Основой оценки валового и технического потенциала ТКО и ОСВ являются данные о численности населения. В Атласе [3] были использованы результаты Всероссийской переписи 2010 года. Методика расчетов валового энергетического потенциала ТКО, согласно [3], состояла в следующем. Были приняты нормы образования ТКО:

– для городских жителей – 1,2 кг/чел·в сутки при влажности 50%;

– для сельских жителей – 0,52 кг/чел·в сутки при 50% влажности (предполагается, что в сельской местности пищевые отходы используются для корма домашних животных и птицы и не входят в состав отходов).

Теплотворная способность ТКО принималась равной 0,2 т у.т. на одну тонну сухого вещества ТКО.

Валовый потенциал энергии ТКО $Q_{вал\ ТКО}$ рассчитывался на всё население региона без учета использования части отходов сельских жителей на корм домашних животных:

$$Q_{вал\ ТКО} = P_{вал\ ТКО} \cdot 0,2 \text{ (т у.т./год)},$$

где $P_{вал\ ТКО}$ – вес отходов, т/год:

$$P_{вал\ ТКО} = \text{население региона} \cdot 1,2 \cdot 0,5 \cdot 365 / 1000 \text{ (т/год)}$$

Методика расчетов валового энергетического потенциала ОСВ заключалась в следующем. Принималось, что в сутки на одного человека образуется 0,26 кг осадков сточных вод при влажности 75%. (Следует учитывать при этом, что в ряде регионов сельские населенные пункты лишены системы очистки канализационных стоков. В этом случае при расчетах учитывается только городское население.) Валовое количество ОСВ, образующегося в регионе за год ($P_{вал\ ОСВ}$):

$$P_{вал\ ОСВ} = \text{население региона} \cdot 0,26 \cdot 0,25 \cdot 365 / 1000 \text{ (т/год)}$$

Теплотворная способность ОСВ принималась равной 0,29 т у.т. на одну тонну сухого вещества ОСВ.

$$Q_{вал\ ОСВ} = P_{вал\ ОСВ} \cdot 0,29 \text{ (т у.т./год)}$$

Технический потенциал биомассы ТКО рассчитывался с учетом всего населения городов и сельских жителей, но с разными, указанными выше, нормами образования отходов (1,2 и 0,52 кг/чел·в

сутки соответственно). Рассматривались два направления использования твердых бытовых отходов: получение электроэнергии и получение тепла. Для технологий получения электроэнергии (Мини-ТЭС с прямым сжиганием ТБО) принимался коэффициент преобразования, равный $KП_{ээ}=0,20$, доля электроэнергии на собственные нужды – $СН_{ээ}=0,40$. Для технологий получения тепловой энергии (Мини-ТЭС с прямым сжиганием ТБО) принимался коэффициент преобразования, равный $KП_{т}=0,80$, доля тепловой энергии на собственные нужды – $СН_{т}=0,05$.

$$Q_{тех\ ээ}^{TKO} = (P_{вал\ TKO}^{сород} + P_{вал\ TKO}^{село}) \cdot 0,2 \cdot KП_{ээ} \cdot (1 - СН_{ээ})$$

$$Q_{тех\ тепло}^{TKO} = (P_{вал\ TKO}^{сород} + P_{вал\ TKO}^{село}) \cdot 0,2 \cdot KП_{т} \cdot (1 - СН_{т})$$

Методика расчетов технического энергетического потенциала ОСВ была аналогичной. Предполагалось, что вся масса осадков сточных вод может быть использована для получения энергии, и рассматривались два направления использования осадков сточных вод: получение электроэнергии и получение тепла. Для технологий получения электроэнергии (Мини-ТЭС для станции аэрации с производством биогаза) принимался коэффициент преобразования, равный $KП_{ээ}=0,35$, доля электроэнергии на собственные нужды – $СН_{ээ}=0,03$. Для технологий получения тепловой энергии (мини-ТЭС для станции аэрации с производством биогаза) принимался коэффициент преобразования, равный $KП_{т}=0,80$, доля тепловой энергии на собственные нужды – $СН_{т}=0,14$. Тогда технические потенциалы для производства электроэнергии (ээ) и тепловой энергии (т) выражаются следующим образом:

$$Q_{тех\ ээ}^{OCB} = P_{вал\ OCB} \cdot 0,29 \cdot KП_{ээ} \cdot (1 - СН_{ээ})$$

$$Q_{тех\ тепло}^{OCB} = P_{вал\ OCB} \cdot 0,29 \cdot KП_{т} \cdot (1 - СН_{т})$$

Валовый и технический энергетический потенциал отходов растениеводства и животноводства

В соответствии с изложенными выше этапами определения ресурсов, валового и технического потенциалов биоэнергетики, масса ежегодно образующихся органических отходов M_i

рассчитывается с использованием статистических данных о годовом (или среднем многолетнем) урожае растительных культур

или поголовья скота N_i на основе экспериментально определенных норм образования отходов (например, соотношения отходов и полезной части растения) L_i :

$$M_i = N_i * L_i ,$$

здесь i – вид растительных культур и (или) направление животноводства.

На основе определённой таким образом массы отходов валовый энергетический потенциал отходов (Q_i) рассчитывался как произведение массы отходов на их удельное энергосодержание (K_i):

$$Q_i = M_i * K_i$$

Тогда суммарный валовый биоэнергетический потенциал рассматриваемой территории, учитывающий все виды органических отходов сельскохозяйственного производства (обозначены индексом i), определяется как:

$$Q = \sum_{i=1}^n M_i * K_i$$

В качестве основного источника данных для определения валовых биоэнергетических потенциалов в отечественной практике используются материалы Федеральной службы государственной статистики (Росстат), которые содержат величину ежегодных валовых сборов сельскохозяйственных культур и поголовье скота и птицы в масштабе субъектов РФ [6] и по муниципальным районам и городским округам субъектов Федерации [7]. Данные Росстата приводятся как в сумме для хозяйств всех категорий, так и детализировано – для сельскохозяйственных организаций; крестьянских (фермерских) хозяйств и хозяйств индивидуальных предпринимателей; хозяйств населения. При расчёте валового энергетического потенциала отходов сельского хозяйства представляется целесообразным не учитывать отходы, образующиеся в хозяйствах населения в силу невозможности их сбора (концентрации). В связи с этим нами была введена характеристика «доступный валовый потенциал отходов сельского хозяйства», равный потенциалу органических отходов, образующихся в производственном секторе сельского хозяйства – в сельскохозяйственных организациях и крестьянско-фермерских хозяйствах, иными словами, всех отходов, кроме отходов хозяйств населения.

Расчёты объемов отходов (ресурсов) и их валового энергетического потенциала проводятся раздельно по отдельным видам сельскохозяйственных культур и направлениям животноводства. Это связано с тем, что различные виды отходов отличаются нормами образования и удельным энергосодержанием.

Энергетический потенциал отходов растениеводства можно рассчитывать по основным видам сельскохозяйственных культур, которые в больших масштабах производятся в Российской Федерации:

- зерновые и зернобобовые культуры: пшеница (озимая и яровая), рожь (озимая и яровая), тритикале (озимая и яровая), ячмень (озимая и яровая), просо (озимая и яровая), овес, рис, гречиха, кукуруза;
- масличные культуры: подсолнечник, рапс (озимый и яровой), соя;
- картофель, свекла и другие овощи.

Коэффициенты, определяющие соотношение полезной части растения и отходов для каждой культуры, а также удельное энергосодержание отходов установлены по литературным данным и представлены в таблице 4.2 [8].

ТАБЛИЦА 4.2.
КОЭФИЦИЕНТЫ ДЛЯ РАСЧЁТА МАССЫ ОТХОДОВ
РАСТЕНИЕВОДСТВА И ИХ ЭНЕРГОСОДЕРЖАНИЯ

Вид исходной биомассы	Соотношение отходов и полезной части растения, кг/кг	Удельное энергосодержание отходов, Ккал/кг
Зерновые культуры	1,0	3500 (для сухой соломы)
Кукуруза на зерно (стебли)	1,2	3270 (для воздушно-сухих отходов)
Рапс озимый и яровой	1,8	3660
Соя	1,3	3800
Подсолнечник на зерно:		
- стебли	3,5	3200
- лузга	0,18	3750
Картофель	0,33	2000 (для сухой ботвы)
Овощи	0,33	2000

В странах Европейского Союза в последние годы большое внимание уделяется древесным отходам обрезки многолетних

насаждений – садов и виноградников – при реализации проектов по использованию растительных отходов сельского хозяйства для производства энергии. По технологии выращивания винограда ежегодно, после уборки урожая, в осенне-зимний период производится обязательная обрезка растений, в результате которой с каждого гектара виноградников удаляются тонны обрезанной лозы. Также ежегодно производится формирующая и санитарная обрезка плодовых насаждений региона. В таблице 4.3 приведены определенные по литературным данным нормы образования древесных отходов, образующихся при обрезке растений, и их энергосодержание.

ТАБЛИЦА 4.3.
НОРМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ САДОВОДСТВА
И ВИНОГРАДАРСТВА И ИХ ЭНЕРГОСОДЕРЖАНИЕ

Вид древесных отходов	Удельная масса отходов, т/га в год	Удельная теплота сгорания, МДж/кг	Энергия, выделяющаяся при сжигании отходов, собранных с 1га в год, т у.т./га в год
Обрезки виноградной лозы	3	16	1,638
Обрезки плодовых деревьев	5	10,5	1,791

В расчетах ресурсов и валового энергетического потенциала биомассы отходов животноводства и птицеводства учитываются отходы содержания следующих видов скота и птицы:

- крупный рогатый скот (КРС);
- свиньи;
- мелкий рогатый скот (МРС) – козы и овцы
- птица (куры-несушки и бройлеры).

В соответствии с известными зоотехническими нормами выход физиологических отходов на одну голову скота и птицы принимаются следующими:

- крупный рогатый скот (КРС) – 30 кг/сутки при влажности 85%,
- свиньи – 4 кг/сутки при влажности 85%,
- козы, овцы (МРС) – 4 кг/сутки при влажности 70%;
- курица-несушка – 73 кг/год при влажности 75%;
- бройлер – 42 кг/год при влажности 75%.

Теплотворная способность 1 кг сухого навоза и помёта может быть принята равной 2000 ккал. Нормы образования отходов животноводства, выраженные в количестве сухого вещества, и удельное энергосодержание этого сухого вещества приведены в таблице 4.4.

ТАБЛИЦА 4.4.
НОРМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА
И ИХ ЭНЕРГОСОДЕРЖАНИЕ

Вид скота	Нормы образования отходов, тонн сухого вещества/голову в год	Удельное энергосодержание отходов, т у.т./т сухого вещества
КРС	1,64	0,29
Свиньи	0,22	0,29
МРС	0,44	0,29
Птица:		
куры,	0,01825	0,29
бройлеры	0,01050	0,29

Для расчета технического энергетического потенциала отходов растениеводства принимались, что для преобразования в потребительскую энергию используется вся масса отходов (нет отчуждения части отходов для внесения в почву как удобрение, на подстилки скоту и др.). Рассматривались два направления использования отходов: получение электроэнергии и получение тепла. Для технологий получения электроэнергии (Мини-ТЭС с прямым сжиганием биомассы или мини-ТЭС на биогазе) принимался коэффициент преобразования, равный $KП_{ээ}=0,25$, доля электроэнергии на собственные нужды – $СН_{ээ}=0,05$. Для технологий получения тепловой энергии (Мини-ТЭС с прямым сжиганием биомассы или мини-ТЭС на биогазе) принимался коэффициент преобразования, равный $KП_{т}=0,75$, доля тепловой энергии на собственные нужды – $СН_{т}=0,05$. Тогда технический потенциал получения электрической (ээ) и тепловой энергии из биомассы отходов растениеводства выражается как:

$$Q_{тех\ ээ}^{раст\ i} = \Sigma(P_{вал}^i \cdot C_{омх}^i) \cdot KП_{ээ} \cdot (1 - СН_{ээ})$$

$$Q_{тех\ тепло}^{раст\ i} = \Sigma(P_{вал}^i \cdot C_{омх}^i) \cdot KП_{т} \cdot (1 - СН_{т})$$

При этом суммирование идет по всем видам отходов растениеводства с учетом норм их образования и удельного энергосодержания.

Для расчета технического энергетического потенциала животноводства принимались, что для преобразования в потребительскую энергию используется вся масса отходов животноводства (нет отчуждения части отходов для внесения в почву как органическое удобрение). Рассматривались два направления использования отходов: получение электроэнергии и получение тепла. Для технологий получения электроэнергии (мини-ТЭС на биогазе) принимался коэффициент преобразования, равный $KП_{ээ}=0,35$, доля электроэнергии на собственные нужды – $СН_{ээ}=0,03$. Для технологий получения тепловой энергии (Мини-ТЭС на биогазе) принимался коэффициент преобразования, равный $KП_{Т}=0,80$, доля тепловой энергии на собственные нужды – $СН_{Т}=0,14$. Тогда технический энергетический потенциал биомассы органических отходов по всем видам скота и птицы (для получения электрической и тепловой энергии) равен:

$$Q_{тех\ ээ}^{жив\ i} = \sum Q_{вал}^{жив\ i} \cdot KП_{ээ} \cdot (1 - СН_{ээ}) + \sum Q_{вал}^{nm\ i} \cdot KП_{ээ} \cdot (1 - СН_{ээ})$$

$$Q_{тех\ тепло}^{жив\ i} = \sum Q_{вал}^{жив\ i} \cdot KП_{Т} \cdot (1 - СН_{Т}) + \sum Q_{вал}^{nm\ i} \cdot KП_{Т} \cdot (1 - СН_{Т})$$

При этом суммирование идет по всем видам скота и птицы с учетом норм образования отходов и их удельного энергосодержания.

Таким образом, на основе статистических данных о численности населения, урожайности растительных культур и поголовье скота и птицы с учетом норм образования отходов и их теплотворной способности возможно оценить ресурсы, валовый и технический потенциал биоэнергетики с любой пространственной дифференциацией (муниципальное образование – субъект – страна в целом).

Контрольные вопросы и задания

1. Сравните понятия «ресурсы» и «потенциалы» возобновляемых источников энергии.

2. Какие источники данных можно использовать для определения потенциалов солнечной энергии? В чем заключаются недостатки наземной системы актинометрических наблюдений для определения ресурсов и потенциалов солнечной энергии?

3. Какие источники данных можно использовать для определения потенциалов ветровой энергии? В чем заключаются недостатки наземной системы метеорологических наблюдений для определения ресурсов и потенциалов солнечной энергии?

4. Спутниковые наблюдения и реанализы как источник данных для определения ресурсов и потенциалов ветровой и солнечной энергии: преимущества и недостатки.

5. Какая величина рассматривается как валовый потенциал солнечной/ветровой энергии, как он определяется (в точке и для территории)?

6. Что принимается за технический потенциал солнечной/ветровой энергии, как он определяется (в точке и для территории)?

7. Проведите оценку производительности (средняя годовая и средняя месячная) солнечной и ветровой станции мощностью 10 МВт (точка – по выбору, тип установки – по выбору) с использованием GlobalSolarAtlas/ GlobalWindAtlas/ renewables.ninja (по выбору).

8. Проведите оценку валового потенциала солнечной энергии для территории уровня муниципального образования (по выбору). В качестве источника данных используйте БД NASA POWER (ориентация приемной площадки – горизонтальная).

9. Проведите оценку валового потенциала ветровой энергии для 3 точек в пределах одного административного субъекта РФ (по выбору). В качестве источника данных используйте БД NASA POWER (высота идеальной ВЭУ – 50 м, диаметр ветроколеса – 50 м).

10. Составьте классификацию видов биомассы как ресурса для биоэнергетики.

11. Проведите определение валового потенциала отходов растениеводства/животноводства субъекта РФ (вид сельскохозяйственных культур и породы скота – на выбор; в качестве источника данных используйте открытые данные Росстата). Последовательность расчета:

Выбрать регион РФ (область, район), для которого:

1) Найти данные по численности населения (см. источники информации в разделе 5) за 2016 г., или средние значения за 2015-2018 гг.

2) Найти данные о производстве продукции растениеводства (выбрать 2-3 культуры) в данном регионе за 2016 г., или средние значения за 2015-2018 гг.

3) Найти данные о поголовье скота и птицы (КРС или свиньи и куры) в данном регионе за 2016 г., или средние значения за 2015-2018 гг.

4) Определить на основе методики, изложенной в разделе 4.3, валовый энергетический потенциал ТКО, ОСВ и отходов сельскохозяйственного производства. Какие виды отходов дают максимальный вклад в валовый биоэнергетический потенциал территории, почему? Как распределен этот потенциал по территории региона?

5) Оформить отчет о практической работе в письменном виде (электронный документ).

Литература по разделу

1. Ресурсы возобновляемой энергетики: методы оценки и картографирование/ С.В. Киселева, Ю.Ю. Рафикова, Т.И. Андреевко и др. — М.: Наука, 2019. — 194 с. Книга находится в открытом доступе на сайте ГИС ВИЭР (<https://gisre.ru/useful/publishing/828-resursy-vozobnovlyaemoj-energetiki-metody-otsenki-i-kartografirovanie>) или предоставляется в электронном виде по запросу слушателя.

2. Базаданных NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>.

3. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание/ Т.И. Андреевко, Т.С. Габдрахманова, О.В. Данилова и др. — РХТУ им. Д.И. Менделеева Москва, 2015. — 160 с.

4. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива / П.П. Безруких, В.В. Дегтярев, В.В. Елистратов, Е.С. Панцхава, Э.С. Петров, В.Н. Пузаков, Г.И. Сидоренко, Б.В. Тарнижевский, А.А. Шпак, А.А. Ямпольский // М.: «ИАЦ Энергия», 2007. — 272 с.

5. Официальный сайт проекта GlobalSolarAtlas. [Электронный ресурс]. URL: <https://globalsolaratlas.info/map>

6. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy

7. База данных показателей муниципальных образований [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gks.ru/dbscripts/munst>.

8. Ключ С.В., Забарный Г.Н. Оценка и прогноз потенциала твёрдого биотоплива Украины // Коллекторное и энергетическое машиностроение. — 2011. — № 2(24). — С. 8-13.

ГЛАВА 5

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИНАНСОВЫЕ РИСКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

5.1. ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИНАНСОВЫЕ РИСКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В мировой энергетике использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) занимает все более основательные позиции. В мире сформировались глобальные тренды по переходу на низкоуглеродную энергетику и рост спроса на ВИЭ. За последние 15 лет в ВИЭ инвестировано около \$2,8 трлн, значительно больше, нежели в традиционную энергетику. В 2020 г. в мире введенные в строй суммарные мощности возобновляемой энергетики на 40% больше, чем построенных традиционных ТЭС. По расчетам агентства Bloomberg к 2040 г. инвестиции в электроэнергетику составят около \$10 трлн., и 85% из них будут направляться на развитие низкоуглеродной энергетики. В результате к 2035 г. по прогнозам Всемирного энергетического агентства (International Energy Agency) углеродоемкость мировой энергетики снизится в 3 раза. Если сейчас при производстве 1 кВтч выбрасывается в среднем 490 г-экв. CO₂, через 15 лет этот показатель снизится до 140–150 г-экв.

Сооружение энергообъектов на ВИЭ получает в настоящее время в России государственную поддержку, снижающую риски в работе электростанций. Первый этап Программы поддержки действует до 2024 г., второй (несколько измененный в плане требований по уровню локализации и увеличению экспорта) – до 2035 г. В дальнейшем возобновляемая энергетика должна стать полноправным участником рынка. В настоящее время доля солнечной и ветровой энергии в выработке электроэнергии в России составляет примерно 0,3%, но к 2035 году она может вырасти до 3%. Если учесть мощности, которые будут строиться вне рамок программы господдержки, то доля ВИЭ может вырасти и до 5%.

Высокий уровень риска проектов возобновляемой энергетики снижает их кредитоспособность и, следовательно, затрудняет получение заемного капитала. Фундаментальным требованием для привлечения финансирования является снижение рисков, которые имеют наибольшую вероятность негативного воздействия на проект.

Оценка риска и управление им – два аспекта (две фазы) единого процесса принятия решения, основанного на характеристике риска. При этом характеристика риска является начальным звеном оценки

риска, а конечным – управление риском. Отсюда вытекает их главная целевая функция – определение приоритетов в действиях, направленных на минимизацию риска, для чего необходимо знать, как основные источники риска (оценка риска), так и наиболее эффективные пути его сокращения (управление риском). Основное различие между двумя понятиями заключается в том, что оценка риска строится на фундаментальном, прежде всего естественнонаучном анализе самого источника риска, особенностей конкретной экологической обстановки и механизма взаимодействия между ними. Тогда как управление риском опирается на экономический и технико-экономический анализ, а также на юриспруденцию.

5.2. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Остановимся более подробно на воздействии возобновляемой энергетики на состояние окружающей среды (ОС) и человека по видам ВИЭ и связанным с этим рисками. Экологическое воздействие необходимо рассматривать, анализировать и учитывать на всех этапах создания объекта для электро- или теплогенерации на ВИЭ. Производство электрической и тепловой энергии на основе ВИЭ связано с минимальными выбросами углекислого и других парниковых газов в атмосферу в процессе эксплуатации энергообъектов. *Экологический потенциал (эффект) применения ВИЭ – величина предотвращенных выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу, образующихся в энергогенерирующих установках при сжигании органического топлива.* Для получения энергии необходимы изготовление и установка энергетического оборудования, создание инфраструктуры и обеспечение условий для его работы, подготовка сырья, утилизация отработанного материала и оборудования по истечении срока службы. Это требует работы металлургических, машиностроительных, сельскохозяйственных и других предприятий, использования энергии из ископаемых источников, и означает уже ненулевую эмиссию парниковых газов. В таблице 5.1. представлены данные о поступлении CO₂ в атмосферу при выработке электроэнергии на электростанциях (ЭС) с использованием ископаемого топлива и ВИЭ. Данные по эмиссии парниковых газов представлены в CO₂-эквиваленте (г-экв. CO₂) и рассчитаны на эмиссию в течение всего жизненного цикла ЭС.

ТАБЛИЦА 5.1.

ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В СО₂-ЭКВИВАLENTE НА
ТОПЛИВНЫХ ЭС И НА ЭС НА ВИЭ В ПРОЦЕССЕ ВСЕГО
«ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА».

Тип электростанции	Эмиссия гСО ₂ - экв/кВтч
ТЭС на угле	820
ЭС на мазуте	750
ТЭС на природном газе	490
БиоЭС	230
СЭС фотоэлектрические	40
СЭС концентраторные	10
ВЭС	12
ГеоЭС	35
МГЭС	20

Говоря о положительном влиянии возобновляемой энергетики на состояние окружающей среды с точки зрения декарбонизации энергетики, рассмотрим воздействие на окружающую среду при использовании каждого из видов возобновляемых энергоисточников:

- **солнечная энергетика;**
- **ветровая энергетика;**
- **геотермальная энергетика;**
- **биоэнергетика;**
- **малая гидроэнергетика.**

Солнечная энергетика

Производство электроэнергии за счет солнечной радиации основано на использовании фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) или же термодинамического цикла преобразования энергии (концентраторами СЭС). Солнечные электростанции (СЭС) являются достаточно землёмкими – от 0,001 до 0,006 га/кВт с наиболее вероятными значениями 0,003–0,004 га/кВт. Для продления работы за пределы светового дня СЭС могут работать по гибридной схеме с использованием некоторого количества природного газа, что в конечном итоге приведет к выбросу в атмосферу некоторого количества диоксида углерода. Для непрерывного электроснабжения при использовании ФЭП необходимо иметь дублирующую установку или аккумулятор, в частности наиболее дешевый свинцово-кислотный аккумулятор. Эти аккумуляторы могут являться источником загрязнений окружающей среды. Средний срок работы

аккумуляторной батареи составляет около трех лет. Частая замена аккумуляторов с утилизацией или захоронением, содержащего в них свинца, может наносить вред окружающей среде. Для устранения этого недостатка необходима разработка новых устройств по аккумулированию электроэнергии.

Концентраторные СЭС

Солнечные концентраторы (гелиостаты) вызывают большие по площади затенения земель, что приводит к сильным изменениям почвенных условий и растительности. Нежелательное экологическое действие в районе расположения станции вызывает нагрев воздуха при прохождении через него солнечного излучения, сконцентрированного зеркальными отражателями. Это приводит к изменению теплового баланса, влажности, направления ветров; в некоторых случаях возможны перегрев и возгорание систем, использующих концентраторы, со всеми вытекающими отсюда последствиями. Применение низкокипящих жидкостей при неизбежной их утечке может привести к значительному загрязнению поверхностных и грунтовых вод, особую опасность представляют жидкости, содержащие хроматы и нитраты, являющиеся высокотоксичными. Низкий коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую поднимает серьезные проблемы, связанные с охлаждением конденсата; при этом тепловой сброс в биосферу более чем вдвое превышает сброс от традиционных станций, работающих на горючих ископаемых.

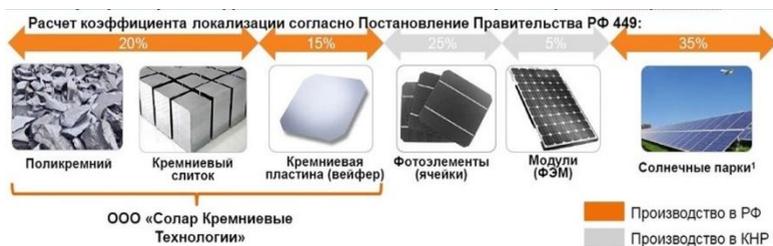
Фотоэлектрические СЭС

Фотоэлектрические модули (ФЭМ) при работе не оказывают отрицательного воздействия на окружающую среду, однако при их производстве используются вещества и процессы, вредные для здоровья людей. Сооружение крупных солнечных электростанций связано с установкой большого количества ФЭМ на стойках, приподнятых над поверхностью земли, и установленных с определенным углом наклона. Такой тип установки модулей не препятствует сельскохозяйственному использованию земель. Территории фотоэлектрических солнечных электростанций во многих странах используются для выпаса скота. Существует в сельскохозяйственной терминологии даже такой термин «SOLARGRAZING» – выпас скота на солнечных станциях (США, Австралия). Особенно распространен выпас овец. Необходимо

отметить, что в жаркий период года овцам очень нравится отдыхать от палящего солнца в тени солнечных панелей.

Производство сырья для фотоэлектрических модулей: экологические риски

В процессе изготовления кремниевых, кадмиевых и арсенид-галлиевых фотоэлектрических элементов в воздухе производственных помещений появляются кремниевая пыль, кадмиевые и арсенидные соединения, опасные для здоровья людей. Производство чистого кремния (монокристаллического, поликристаллического, аморфного) для производства слитков и пластин для фотоэлектрических преобразователей, – это не специфический, т.е. присущий не только солнечной энергетике процесс, поскольку кремний высокой чистоты широко применяется в электронике (при производстве полупроводников). Именно этот процесс — производства кремния — является наиболее опасным для окружающей среды во всей цепочке производства, поскольку предполагает применение значительных количеств выщелачивающих растворов (соляная кислота). Этим процессом в мире занимается сегодня относительно небольшой круг компаний. Рассмотрим более подробно технологию производства *поликристаллического кремния (поликремния)*. Процесс включает в себя реакцию соляной кислоты с металлургическим кремнием, полученным из природного материала (кварца), с образованием трихлорсилана. Трихлорсилан затем реагирует с водородом, в результате чего получается поликремний вместе с *жидким тетрахлоридом кремния* (Рис. 5.1). Именно этот побочный продукт и является наиболее экологически опасным соединением.



¹ – Инвертор–12%, Опорные конструкции–5%, Проводка и электротехническое оборудование–3%, Изыскания и проектирование–5%, Электромонтажные работы–5%, Монтажные работы (за исключением электромонтажных)–5%.

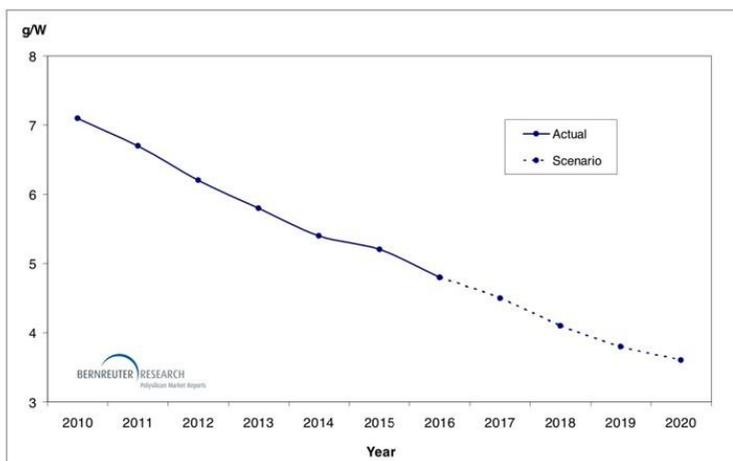
Источник: Солар Системс

Рис. 5.1. Процесс производства монокристаллических солнечных элементов с указанием степени локализации (производства в России).

В настоящее время во всех странах, где производится поликремний (КНР, США, Норвегия, Германия, Южная Корея и др.) приняты соответствующие стандарты, и основные производители перерабатывают отходы производства, чтобы производить больше поликремния. В результате крупнейшие производители поликремния переходят на промышленные процессы замкнутого цикла (closed-loop), что обеспечивает значительное уменьшение воздействия на окружающую среду. С другой стороны, снижение толщины пластин ФЭП также приводит через экономию материалов к сокращению воздействия на ОС.

На рис. 5.2. показано снижение потребления кремния на ватт ФЭП, и, соответственно, характеризует динамику снижения удельного экологического следа от производства фотоэлектрических модулей.

Specific silicon consumption for solar cell production 2010 - 2020



The specific silicon consumption of the solar industry will halve between 2010 and 2020.

Graphic: Bernreuter Research

Рис. 5.2. Снижение потребления кремния на ватт фотоэлектрического модуля с 2010г. до 2020г.

С точки зрения воздействия на окружающую среду особенно опасны аварии при производстве фотоэлектрических преобразователей и модулей на их основе. В 2011 г. на заводе, принадлежащем китайской компании Jinko Solar, произошёл сброс в реку плавиковой кислоты, которая используется при производстве кремниевых ФЭП. Последствиями стали гибель рыб, гибель животных на близлежащих свинофермах и падение на 40%

стоимости акций компании на бирже. Во избежание последствий JinkoSolar провела реорганизацию производства и уже в 2017г. получила первый в Китае Cradle-to-Cradle (C2C)⁹ сертификат, подтверждающий приверженность компании высоким стандартам по охране окружающей среды, здоровья и безопасности своей продукции, а также продвижению лучших экологических и устойчивых практик в солнечной энергетике. В Китае сейчас во всех секторах экономики, в том числе, в солнечной индустрии, внедряются самые жесткие стандарты.

Утилизация фотоэлектрических модулей

Использованные, отработавшие свой срок фотоэлектрические модули традиционно относятся регуляторами к категории электронного мусора (e-waste). За 2020 г. в мире было введено в эксплуатацию порядка 115 ГВт солнечных электростанций, общая установленная мощность СЭС составила к 2020 г. 743 ГВт. Глобальная установленная мощность растёт экспоненциально. Цены на компоненты солнечных электростанций постоянно снижаются, расходы на демонтаж объектов могут оказывать всё большее влияние на экономику проектов, их доля в расходах жизненного цикла СЭС будет повышаться. Поэтому эффективный подход к утилизации солнечных панелей важен и с экономической точки зрения.

По прогнозу IRENA/IEA, к 2030 году в мире образуется 1,7-8 млн. тонн отходов фотоэнергетики (накопленным итогом) в зависимости от рассмотренных сценариев:

- regularloss – использование модулей в течение 30-летнего срока службы,
- earlyloss – раннее окончание срока службы по разным причинам, например, замена морально устаревшего оборудования на более современное. К 2050 объемы (накопленным итогом) отходов фотоэнергетики вырастут значительно – до 60–78 млн. тонн в зависимости от сценариев развития (рис. 5.3). В результате к

⁹ Примечание. Cradle-to-Cradle (рус. От колыбели до колыбели, сокр. C2C) – концепция, основанная на идее безотходных систем производства, не наносящих вреда окружающей среде. Система Cradle-to-Cradle® предлагает промышленной сфере перейти на безотходную деятельность, повторно использовать безопасные для людей и ОС материалы, обеспечить энергоснабжение за счет ВИЭ, экономно использовать воду и обеспечить социальную ответственность сотрудников. Такая система помогает защищать и обогащать природную среду, уменьшая экологический след.

2030 году стоимость извлеченных из отработавших ФЭМ материалов будет составлять примерно 450 млн. долларов США. К 2050 году рынок вырастет до 15 млрд. долларов в год, а из накопленного объема отходов можно будет произвести 2 млрд. солнечных модулей (эквивалентно 630 ГВт).

Проведенный в 2020г. экономический анализ показывает, что стоимость лома фотоэлектрической электростанции (в основном сталь и медь) превышает затраты на вывод их из эксплуатации, что делает переработку предпочтительнее захоронения отходов. При рассмотрении технологий переработки фотоэлектрических модулей после окончания срока службы можно выделить «грубую» переработку (извлечение стекла, алюминия, меди – материалов, которые составляют основную массу модуля) и тонкую переработку (high-valueresycling), подразумевающую извлечение практически всех химических элементов, используемых в ФЭМ. Обычные фотоэлектрические модули из кристаллического кремния состоят (по массе) из 76% стекла, 10% полимерных материалов, 8% алюминия, 5% кремниевых полупроводников, 1% меди, менее 0,1% серебра и других металлов, включая олово и свинец. В тонкопленочных ФЭМ доля стекла гораздо выше — 89% (CIGS) и 97% (CdTe). В сценариях глубокой переработки чистый доход в результате работ по выводу объекта из эксплуатации может составлять US\$0,01-0,02/Вт. Таким образом, при надлежащей организации переработка отходов солнечных электростанций может быть выгодной даже без дополнительных мер стимулирования/регулирования.

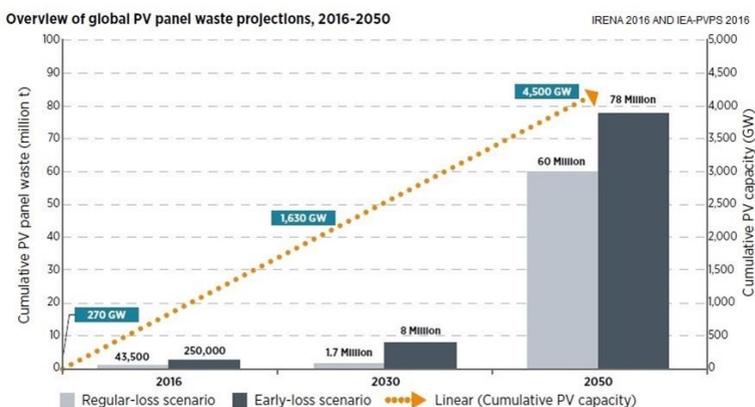


Рис. 5.3. Прогноз роста массы отходов фотоэлектрических панелей по двум сценариям к 2030г. и 2050 г. (IRENA 2016, IEA 2016).

Европейский союз (ЕС) первым ввёл правила утилизации отходов солнечных электростанций – модули должны утилизироваться в соответствии с Директивой об отходах электрического и электронного оборудования (WEEE) (2012/19/EU). С 2012 года положения Директивы WEEE были включены в национальное законодательство странами-членами ЕС. Многие производители уже предлагают услуги по утилизации выпущенных ими солнечных модулей и создают специализированные предприятия по их переработке. Здесь действует принцип расширенной ответственности производителя, согласно которому переработка фотоэлектрических модулей обязательна.

Солнечная теплоэнергетика (горячее водоснабжение и отопление)

Для отопления и горячего водоснабжения с использованием солнечной энергии отдельных потребителей используются солнечные коллекторы площадью 1—2 м² и бак-аккумулятор емкостью в 100—200 л. Для централизованного теплоснабжения небольших поселков может применяться поле коллекторов. Стеклопленочное покрытие солнечных коллекторов, отражая солнечные лучи, приводит порой к «ослепению» пилотов пролетающих самолетов. Разработаны технологии (для крупных установок) изготовления стеклопленочного покрытия коллекторов из ребристого стекла. В северных странах солнечные коллекторы работают на антифризе, утечки которого могут наносить ущерб окружающей среде.

Ветровая энергетика

Общая установленная мощность ветроэнергетики в мире к началу 2020г. составила 651 ГВт, что обеспечило выработку порядка 1650 млрд. кВтч электроэнергии. Использование ветроэнергоустановок (ВЭУ) позволило в 2020 г. уменьшить выбросы диоксида углерода на 450 млн. т. Только за 2020г. было построено 96,3 ГВт новых ВЭС, включая прибрежные (Bloomberg 2021). В России к сентябрю 2021г. установленная мощность ВЭС составляла уже около 1,4 ГВт. Это позволяет в год избежать выбросов при замене выработки ЭЭ угольных ЭС на ВЭС в 1,8 млн. т CO₂ в год. Рассмотрим особенности воздействия ВЭУ на окружающую природную среду и человека.

Воздействие на животных и птиц

На заре развития ветроэнергетики много говорилось о возможном вреде, наносимом ВЭУ животным и птицам. Ветроагрегаты в то время были небольших размеров, мощностью до 100 кВт. Такие ВЭУ имеют высокую частоту вращения лопастей (300—450 об/мин), что является препятствием для прямого пролета птиц. Первое время при размещении мелких ВЭУ вблизи гнездований, птицы гибли довольно часто. Однако проведенные орнитологические исследования показали, что при увеличении размеров ВЭУ и соответственно снижении частоты вращения лопастей число погибших птиц резко уменьшается. В настоящее время частота вращения ВЭУ мощностью 1÷2 МВт составляет от 10 до 30 об/мин, а ВЭУ мощностью 3÷4,5 МВт — 8÷14 об/мин. Это значит, что для птиц лопасти стали достаточно медленно движущимся объектом. Они маркируются красными полосами, чтобы их было лучше видно птицам и при работе ВЭУ издают специфический звук для отпугивания птиц. Птицы быстро адаптируются к присутствию ВЭУ и учатся избегать попадания в лопасти и корпус турбины, а перелетные птицы часто меняют курс на большом расстоянии от ВЭУ. Исследования по европейским ВЭС показали, что смертность птиц от ВЭУ в 300 раз ниже, чем от движущегося транспорта (ветропарк мощностью 7,5 МВт по опасности сопоставим с одним километром магистрального шоссе), и в 70 раз ниже, чем от охоты. Кроме того, современные ветроэнергетические установки значительно менее опасны для птиц, чем высоковольтные линии электропередач.

Шумовое воздействие ВЭУ может быть разделено на две составляющие:

- механическая составляющая – шум от механического и электрического оборудования ВЭУ (редуктор и генератор);
- аэродинамическая составляющая – шум от взаимодействия ветрового потока с лопастями установки.

Механический шум может быть значительно снижен за счет применения «тихих» редукторов, подъема основного оборудования на значительную высоту и применения звукоизолирующих материалов в гондоле. Более того, ряд современных ВЭУ является безредукторными. Это установки с переменной частотой вращения и мощностью от 600 кВт до 3,5 МВт (например, фирмы Enercom). В таких ВЭУ резко сократился уровень шума при увеличении КПД за счет исключения одного звена передачи механической энергии. Уровень аэродинамического шума зависит от формы лопастей,

взаимодействия воздушного потока с лопастями и башней, от типа регулирования ВЭУ (поворотно-лопастная или без поворота лопастей), от условий турбулентности воздуха. Большинство современных ВЭУ в непосредственной близости от места их сооружения генерируют при скорости ветра 10 м/с шум менее 100 дБ (табл. 5.2). Это соответствует уровню шума на обычном промышленном предприятии. Однако уже на расстоянии 100 м от ВЭУ уровень шума понижается до 50 дБ, на расстоянии 300 м – менее чем 40 дБ. Именно на основе этих данных во многих странах приняты законы, вводящие защитную зону (минимальное расстояние от ВЭУ до жилых домов) протяженностью 300 м.

ТАБЛИЦА 5.2.
СОПОСТАВЛЕНИЕ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СОВРЕМЕННЫХ
ВЭУ С ДРУГИМИ ИСТОЧНИКАМИ ШУМА

Источник шума / деятельность	Уровень шума, дБ
Болевой порог человеческого слуха	140
Шум турбин реактивного двигателя на удалении 250 м	105
Шум от отбойного молотка в 7 м	95
Шум от грузовика при скорости 48 км/ч на удалении от него в 100 м	65
Шум от легковой автомашины при скорости 64 км/ч	55
Шум от ветрофермы в 350 м от нее	35-45
Шумовой фон ночью в деревне	20-40

Визуальное воздействие ВЭУ наиболее сложно поддается количественной оценке. Реакция на вид ВЭУ очень субъективна. Многие люди воспринимают их положительно, как символ чистой энергии, в то время как другие находят их нежелательным добавлением к пейзажу. Большая часть ветротурбин сегодня устанавливается на башнях в виде труб, которые являются более эстетичными, чем решетчатые башни, распространенные в ранней стадии развития ветроэнергетики. Для улучшения эстетического вида ветротурбин и визуального обоснования новых проектов во многих крупных фирмах привлекаются профессиональные дизайнеры и ландшафтные архитекторы. Проведенные в Европейском Союзе исследования показали, что, когда живущие поблизости от ветропарка люди вовлечены в ветроэнергетический бизнес (являются его акционерами или меньше платят за электроэнергию), их отношение к установкам становится в целом положительным. В ряде стран ВЭС являются объектами туризма, фото- и видеосъемок.

Влияние на прохождение радио- и телевизионных сигналов

В связи с ростом единичной мощности ВЭУ и соответственно с увеличением высоты башни ВЭУ свыше 100 м и размеров лопастей до 40–60 м обостряется задача грозозащиты лопастей. Лопастей крупных ВЭУ выполняются из стекловолокна, а для их защиты от ударов молнии внутри них закладываются алюминиевые проводники довольно значительного сечения, по которым ток при ударе молнии уходит в землю. Такие лопасти становятся своего рода зеркалами для радио- и телесигналов и препятствием для сигналов военных радаров. Поскольку под крупные ВЭС все больше используются площади вдоль морских побережий и в прибрежных акваториях, это приводит к столкновению интересов военных, наблюдающих с помощью радаров за прибрежной акваторией и воздушным пространством, и ветроэнергетики.

Землеёмкость

Мощные промышленные ветроэнергетические станции занимают площадь из расчета от 5 до 15 МВт/км² в зависимости от розы ветров и местного рельефа района. Однако эксплуатация современных ВЭУ с высотой башни более 100 м не препятствует использованию данных территорий как сельскохозяйственных для растениеводства и выпаса скота.

Аварийные ситуации

Помимо текущего постоянного воздействия большую опасность представляют собой риски возникновения аварийных ситуаций на ВЭС. К таким авариям относятся пожары, отрыв лопастей и разрушение башен вплоть до падения.

- *Пожары на ВЭУ.* В случае пожара на ВЭУ она практически всегда приходит в негодность, её тушение представляет собой крайне сложную задачу. Пожары могут возникать из-за наложения условий высокой скорости ветра и отказа системы торможения ВЭУ, в результате возникает внутреннее трение, и искра воспламеняет масляную смазку, полимерные материалы и электрическую проводку. Также возгорание может произойти при превышении температурных пороговых значений для кабелей, трансформаторов в шкафу управления у основания башни. Суммарные ежегодные мировые потери от пожаров на ВЭУ составляют около 225 млн. долларов. Порой пожары сопровождаются и человеческими жертвами технического персонала. В 2017г. в России мощность ВЭС Тюпкильды в Башкирии в результате пожара уменьшилась с 2,2 МВт до 1,65 МВт.

- *Обледенение лопастей.* В экстремальных погодных условиях в России и в других странах с холодным климатом значительной проблемой при эксплуатации ВЭУ является обледенение лопастей. Для таких условий применяются модели ВЭУ со встроенными системами, предупреждающими обледенение. Так, все ВЭУ, производимые компанией VESTAS, в России имеют следующие опции: «Low Temperature» (обеспечивает выработку электроэнергии до температуры наружного воздуха отметки -30°C), «Vestas Ice Detection system» (отслеживает наличие обледенения ВЭУ, корректирует алгоритм работы вплоть до полной остановки) и «Vestas De-Icing system» (очистка обледенения поверхности лопастей ВЭУ за счет внутренней циркуляции теплого воздуха).

Утилизация и переработка ВЭУ

Лопасты, срок службы которых (25 лет) истек, подлежат утилизации. Ранее лопасти разрезали на части, складировали и закапывали в землю на неиспользуемых территориях. В настоящее время объем лопастей подлежащих утилизации значительно возрос, поскольку истекает ожидаемый срок службы турбин первой волны ветровых электростанций 1990-х годов. После 2020-2021 гг. будут заменены около 2 ГВт действующих ВЭУ. И их утилизация экологически безопасным способом становится растущей проблемой. Основными методами обращения предполагается измельчение, захоронение, переработка углепластика в pellets для дальнейшего использования и строительство из отходов различные конструкции.

В табл. 5.3 представлены меры, позволяющие снизить или полностью устранить вышеперечисленные факторы отрицательного воздействия ветроэлектростанций на окружающую среду.

ТАБЛИЦА 5.3.
**МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ВЭУ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Факторы воздействия на окружающую среду и человека	Методы снижения или устранения воздействия
Изъятие земельных ресурсов, изменение свойств почвенного слоя	Размещение ВЭУ на неиспользуемых землях. Оптимизация размещения для минимизации расхода земли. Целенаправленный учет изменений свойств почвенного слоя. Компенсационные расчеты с землепользователями.

Акустическое воздействие (шумовые эффекты)	Изменение числа оборотов ветроколеса (ВК). Изменение форм лопасти ВК. Удаление ВЭУ от объектов социальной инфраструктуры. Замена материалов лопастей ветроколеса.
Влияние на ландшафт и его восприятие	Учет особенностей ландшафта при размещении ВЭУ. Рекреационное использование ВЭУ. Изыскание различных форм опорных конструкций, окраски и т.д.
Электромагнитное излучение, телевидение и радиосвязь	Сооружение ретрансляторов. Замена материалов лопастей ВК. Внедрение специальной аппаратуры в конструкцию ВЭУ. Удаление ВЭУ от коммуникаций.
Влияние на орнитофауну на перелетных трассах и морскую фауну при размещении ВЭС на акваториях	Анализ поражаемости птиц на трассах перелета и рыб на путях миграции. Расчет вероятности поражения птиц. Цветовая маркировка лопастей. Акустические системы отпугивания.
Возникновение аварийных пожаров на ВЭУ	Контроль систем торможения ротора ВЭУ. Соблюдение термического режима шкафа управления с электрической контрольно-управляющей аппаратурой в основании башни.
Аварийные ситуации: поломки и отлет поврежденных частей ВК	Расчет вероятности поломок ветроколеса, траектории и дальности отлета. Оценка надежности безаварийной работы ВЭУ. Зонирование производства вокруг ВЭУ.
Факторы, улучшающие экологическую ситуацию	Уменьшение силы ветра. Снижение ветровой эрозии почв. Уменьшение ветров с акваторий водоемов и водохранилищ.

Геотермальная энергетика

Освоение геотермальных месторождений связано со значительным воздействием на окружающую среду и возникновением, в связи с этим экологических рисков. За редким исключением термальные воды характеризуются высокой минерализацией и после использования не могут быть сброшены в поверхностные водоемы. Даже сброс в море может привести к отрицательным локальным эффектам, когда отработанные воды существенно отличаются по своему составу от морской воды.

Степень воздействия геотермальных объектов на окружающую среду в большинстве случаев пропорциональна мощности ГеоЭС. Потенциальное неблагоприятное экологическое воздействие геотермальной энергетика на окружающую среду включает:

- отчуждение земель;
- изменение уровня грунтовых вод, оседание почвы, заболачивание;
- подвижки земной коры, повышение сейсмической активности;
- выбросы газов (метан, водород, азот, аммиак, сероводород);
- выброс тепла в атмосферу или в поверхностные воды;
- сброс вод и конденсата, загрязненных в небольших количествах аммиаком, ртутью, кремнеземом;
- загрязнение подземных вод и водоносных слоев, засоление почв;
- выбросы больших количеств рассолов при разрыве трубопроводов.
- шумовые, биологические и социальные воздействия.

Этапы воздействия на окружающую среду (ВОС) в геотермальной энергетике

1. *Этап бурения скважин.* Установка буровой вышки и всего вспомогательного оборудования требует строительства подъездных дорог и сооружения буровой площадки. Эти работы приводят к изменению морфологии поверхности на участке и могут наносить ущерб местной флоре и фауне. Минимизация ВОС предполагает:

- использование современных методов наклонного и горизонтального бурения;
- бурение нескольких скважин на одной площадке (приводит к сокращению землеотвода для сооружения подъездных дорог и трубопроводов);

Воздействие на окружающую среду, вызванное бурением, по большей части прекращается с окончанием строительства геотермальных скважин.

2. *Этап строительства ГеоЭС* включает монтаж трубопроводов для транспортировки геотермальных флюидов и сооружение утилизационных установок, что приводит к нарушению морфологии земной поверхности, отражается на состоянии флоры и фауны, а также определяет изменение визуального восприятия ландшафта.

3. *Эксплуатация геотермальных станций.* Растворенные в геотермальном флюиде различные газы и вещества минерального и органического происхождения при попадании в окружающую среду становятся источником загрязнения.

Вещества, поступающие в окружающую среду в процессе эксплуатации геотермальных месторождений включают в себя:

- растворенные газы (углекислый газ, метан, сероводород, инертные газы, водород, аммиак и др.),

– токсичные микрокомпоненты (соединения бора, мышьяка, ртути и др.),

– органические соединения (фенолы, летучие компоненты), которые также при свободном выбросе загрязняют прилегающие к месторождению земли, водные источники и воздух.

Содержание неконденсирующихся газов на геотермальных месторождениях обычно не превышает 0,1–1,0% весовых от общего расхода геотермального теплоносителя. При одинаковом уровне выработки электроэнергии объемы выбросов углекислого газа от геотермальных электростанций могут варьироваться от нуля до незначительной процентной доли объемов выбросов электростанций, работающих на органическом топливе, в зависимости от применяемой технологии.

В процессе эксплуатации ГеоЭС большинство потенциальных экологических проблем может быть предотвращено, если применяются замкнутые системы с теплообменниками, бинарными циклами и технологией обратной закачки отработанного теплоносителя. Современные ГеоЭС исключают прямой контакт геотермального флюида с окружающей средой и выбросы вредных газов в атмосферу. Например, в технологической схеме Верхне-Мутновской ГеоЭС (Камчатка) используются воздушные конденсаторы и система полной закачки отработанного теплоносителя обратно в пласт. Неконденсирующиеся газы, содержащиеся в геотермальном паре, удаляются с помощью эжектора, затем растворяются в воде, которая закачивается в пласт.

Тепловое загрязнение окружающей среды при эксплуатации ГеоЭС аналогично таковому для тепловых станций. Чем ниже КПД теплоэнергетической установки, тем больше тепла отводится в окружающую среду. Сброс в поверхностные водоемы большого объема отработанных термальных вод с достаточно высокой температурой (иногда до 60°C и более) приведет к локальному тепловому загрязнению и отрицательным последствиям в окружающей среде. Повышение температуры воды в реках на 1°C может привести к увеличению потребления кислорода живыми организмами на 10— 20%, что вызовет дефицит кислорода в воде, опасный для речных организмов.

Риски аварийных ситуаций в геотермальной энергетике

При аварийном выбросе высокоминерализованного геотермального флюида, содержащего значительное количество токсичных компонентов, велик риск непоправимого экологического ущерба. На

Берикейском месторождении (Республика Дагестан), где в 50-е годы прошлого столетия в результате аварии скважины образовалось проточное озеро редкометалльных гидротерм, в которое разгружаются более сотни грифонов. Воды этих грифонов имеют минерализацию 70–75 г/л и содержат до 8 мг/л фенолов, в том числе до 0,6 мг/л летучих компонентов. За 50 лет этими грифонами в акваторию Каспийского моря вынесено более 9 млн. т минеральных солей и токсичных компонентов.

Значительными для окружающей среды могут оказаться также последствия нерационального использования низкопотенциальных (20–35°C) подземных артезианских вод. Так, в равнинном и предгорном Дагестане эксплуатируются более 3000 самоизливающихся скважин, суммарный дебит которых составляет 650–700 тыс. м³/сут. Из них используется не более 10–15%, остальная часть сбрасывается на прилегающие земельные участки, что приводит к подъему уровня грунтовых вод, заболачиванию и засолению значительных массивов почво-грунтов и выводу из сельскохозяйственного оборота сотен гектаров плодородных земель ежегодно. Одновременно происходит снижение дебитов и напоров скважин, нередко случаи подсоса минерализованных вод из смежных горизонтов, что приводит к ухудшению качества исходной воды. Данная проблема может быть решена путем перевода скважин на регулируемый крановый режим эксплуатации с отбором потребного количества воды.

Таким образом, степень влияния геотермальной энергетики на окружающую среду зависит от методов извлечения геотермального флюида и утилизации его теплового, водоресурсного и химического потенциалов. Технологии на основе геотермальных циркуляционных систем с использованием одноконтурных и бинарных ГеоЭС, двухконтурных систем теплоснабжения и систем на основе тепловых насосов с применением современного оборудования являются наиболее экологически чистыми.

Биоэнергетика

Одним из важнейших направлений развития биоэнергетики является переработка мусора и отходов с целью выработки тепло- и электроэнергии. Общий мировой объем только твердых коммунальных отходов (ТКО), по прогнозам, к 2030 г. вырастет до 2,59 млрд. т, а к 2050 г. – до 3,4 млрд. т. Переработка отходов с получением энергии проводится с использованием технологий биоэнергетики, подробно описанных в Главе 3. В целом сырьевую

базу биоэнергетики формируют разнообразные органические отходы сельского и лесного хозяйства, пищевой, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности, муниципальные и бытовые отходы, различные растения и сельхозкультуры, специально выращенные для энергетической переработки, а также водоросли и микроорганизмы.

Рост объемов промышленного производства биотопливных продуктов на основе биомассы в ряде стран привел к возникновению дефицита этого возобновляемого ресурса. С другой стороны, чрезмерное прямое извлечение из природного оборота образующейся естественным путем биомассы влечёт за собой риск возникновения ущерба для окружающей среды, поскольку разлагающаяся биомасса необходима для сохранения баланса природных процессов в биоценозах, поддержания естественного плодородия и структуры почвы. При выращивании биомассы для энергетических целей возникает также и проблема с доступностью пахотных земель. Возможное негативное воздействие на земельные, водные ресурсы и на биоразнообразие рассматривается как побочный эффект сельскохозяйственного производства в целом, но оно вызывает особую обеспокоенность в отношении биотоплива. Степень такого воздействия зависит от того, каким образом производится и перерабатывается сырье для биотоплива, каковы масштабы производства и в особенности от того, какое влияние оказывается на изменение характера землепользования. Особенно остро ставиться порой вопрос о площадях и плодородии земельных ресурсов.

Биоэнергетика связана с отчуждением сельскохозяйственных земель (и других ресурсов) для выращивания энергетических культур, что при масштабном переходе к использованию биоэнергии может обострить продовольственную проблему в мире. Выращивание рапса или подсолнечника в качестве сырья для биотоплива может дать в итоге около тонны биотоплива с 1 га обрабатываемой земли. Именно на этом и базируются противники сельскохозяйственного выращивания сырья для биоэнергетики. Однако необходимо отметить, что биотопливные культуры, способные переносить условия, в которых гибнут продовольственные культуры, позволяют использовать для возделывания землю, приносящую в настоящий момент незначительные экономические выгоды. Возможными «кандидатами» на такую роль являются маниока, касторник, сладкое сорго, ятрофа и понгамия, а также засухоустойчивые

древесные культуры, такие как эвкалипт. С другой стороны, современные биотопливные установки работают преимущественно на отходах сельского хозяйства, лесозаготовок и деревообрабатывающей промышленности, а специально выращенные сельскохозяйственные культуры имеют ограниченное использование как источники сырья для биотоплива. Именно органические отходы (вторичная биомасса) в настоящее время являются наиболее дешевым ресурсом биоэнергетики, кроме того, идет постоянный поиск других источников биомассы с высоким энергетическим потенциалом (теплота сгорания).

При получении биогаза из жидкофазных отходов (влажной биомассы в виде органических отходов сельскохозяйственного производства и животноводства, энергетических культур и др.) одновременно с получением энергии решаются проблемы утилизации отходов животноводства, птицеводства, растениеводства, иловых осадков сточных вод, органической составляющей ТКО и др., которые, будучи накопленными в значительных масштабах, нанося значительный ущерб окружающей среде, здоровью человека и требуют финансовых ресурсов для утилизации. Ценным побочным продуктом получения биогаза являются органические биоудобрения из эффлюента (сброженного остатка). На эффективность работы биогазовой установки большое влияние оказывает предварительная подготовка сырья, повышающая однородность исходного субстрата и интенсивность процессов сбраживания. Однако, при нарушении технологических циклов процесс переработки биомассы может сопровождаться поступлением в ОС сопутствующих брожению газов, что негативно влияет на условия проживания населения.

Полный замкнутый цикл производства, начиная от этапа получения биомассы и заканчивая применением продуктов ее переработки, обеспечивает высокую экологическую, социально-экономическую устойчивость и представляет собой инфраструктурный элемент циркулярной биоэкономики. *Циркулярная экономика* строится на замкнутых производственных циклах, когда безотходность производства обеспечивается не тем, что утилизируются отходы, образующиеся в результате производственного процесса, а, благодаря комплексу применяемых технологий, когда отходы, образующиеся на каждом этапе процесса, используются на следующем, и весь процесс производства сопровождается минимальным воздействием на окружающую среду.

Негативное воздействие на ОС имеет место и при использовании биотоплива. На стадии сжигания биологического топлива, в частности, на транспорте, при его смешивании с ископаемым топливом (обычным дизелем или бензином) и использовании добавок, позволяющих лучше работать в зимних условиях, идёт образование новых химических соединений, токсичных и канцерогенных по своим свойствам. Это показали, в частности, наблюдения и эксперименты в рамках исследования «Влияние биокомпонентного состава топлива на эмиссию дизельных двигателей и ухудшение дизельного масла» (Influence of biocomponents content in fuel on emissions from diesel engines and engine oil deterioration). В этой связи сравнительно предпочтительной выглядит водорослевая энергетика – получение энергетического сырья из водорослей. Среди известных микроводорослей наиболее широко используются для получения биотоплива *Botryococcus braunii* и *Arthrospira (Spirulina) platensis*. Водоросли по сравнению с «сухопутными» энергокультурами отличаются более высокой (в определённых условиях – на порядок выше) продуктивностью на единицу площади в единицу времени и более высоким содержанием жиров (липидов) для производства биотоплива. Кроме того, выращивание водорослей не связано с отчуждением продуктивных сельскохозяйственных земель, созданием сложных конструкций и оборудования, использованием большого объёма удобрений. При этом водоросли – один из мощных поглотителей углекислого газа и продуцентов кислорода. В связи с этим, данное направление биоэнергетики, можно считать весьма перспективным и с производственных, и с экологических позиций.

Малая гидроэнергетика

Основные негативные последствия мощных ГЭС для окружающей среды связаны с созданием крупных водохранилищ многолетнего регулирования стока, в результате чего происходит:

- затопление больших площадей на равнинных территориях;
- нарушение гидрологического режима,
- подпор грунтовых вод,
- нарушение режима осадконакопления и перемещения и, как следствие, заиливание русла и водохранилища;
- изменение климатических характеристик прилегающей территории.

Эти процессы характерны для равнинных рек. Нарушения существенно меньше для рек, текущих в гористой местности. Если река протекает в ущелье, водохранилище оказывается скорее глубоким, чем широким, и затопление территории значительно меньше, в скальных породах подъем грунтовых вод и подтопление не происходит.

Крайне опасны аварии на крупных ГЭС. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС в Хакасии – промышленная техногенная катастрофа, произошедшая 17 августа 2009 г., вызвавшая большие разрушения и человеческие жертвы.

В отличие от крупной гидроэнергетики, малые ГЭС (МГЭС) мощностью менее 35 МВт имеют ряд экологических преимуществ:

- гидротехнические сооружения МГЭС не подтопляют леса и сельскохозяйственные угодья, не приводят к сносу и переносу населенных пунктов;

- МГЭС позволяют сохранять ландшафт и окружающую среду в процессе строительства и на этапе эксплуатации;

- вода, проходящая через малую гидротурбину, сохраняет свои первоначальные природные свойства.

Однако у водохранилищ малых ГЭС, особенно горных и предгорных районов, очень остро стоит проблема их заиления и связанная с этим проблема подъема уровня воды, затоплений и подтоплений, снижения гидроэнергетического потенциала рек и выработки электроэнергии. Например, водохранилище Земонечальской ГЭС на реке Куре было заилено на 60% в течение 5 лет.

Для рыбного хозяйства плотины малых ГЭС менее опасны, чем средних и крупных ГЭС, перекрывающих миграционные пути проходных и полупроходных рыб и перекрывающих нерестилища. Хотя в целом создание гидроузлов не устраняет полностью урон рыбному стаду на основных реках, т.к. речной бассейн - это единая экологическая система и нарушения ее отдельных звеньев неизбежно отражаются на системе в целом.

Многие из малых ГЭС не всегда обеспечивают гарантированную выработку энергии, являясь сезонными электростанциями. Зимой их энергоотдача резко падает, снежный покров и ледовые явления (лед и шуга) так же, как и летнее маловодье и пересыхание рек могут вообще приостановить их работу. Сезонность малых ГЭС требует дублирующих источников энергии, большое их количество может привести к потере надежности энергоснабжения. Поэтому во многих районах

мощность малых ГЭС рассматривается не в качестве основной, а в качестве дублирующей.

Сегодня в РФ действуют по разным подсчетам от 100 до 300 МГЭС с совокупной мощностью не более 600 МВт. Потенциал развития малой гидроэнергетики в РФ значителен, так как по состоянию на 2020 г. в России зарегистрировано 2,5 млн. малых рек, вблизи которых проживает 44% городского населения и более 90% сельского населения.

5.3. АНАЛИЗ РИСКОВ И РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Активизация освоения ВИЭ в России требует изучения факторов риска, возникающих при создании и эксплуатации энергообъектов, а также анализа основных методов управления рисками использования всех видов возобновляемых источников энергии как для сетевого, так и для автономного энергоснабжения. Высокий уровень риска проектов возобновляемой энергетики снижает их кредитоспособность и, следовательно, затрудняет получение заемного капитала. Фундаментальным требованием для привлечения финансирования является снижение рисков, которые имеют наибольшую вероятность негативного воздействия на проект.

Согласно методологии анализа рисков, перед началом осуществления какого-либо проекта наиболее целесообразно провести SWOT-анализ, определив внутренние и внешние (не зависящие от исполнителя проекта) факторы влияния на результативность проекта. В табл. 5.4 представлены результаты SWOT-анализа процесса развития возобновляемой энергетики в РФ.

ТАБЛИЦА 5.4.
SWOT - АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
В РОССИИ

	Положительное влияние факторов	Отрицательные влияние факторов
Внутренние факторы	<u>Сильные стороны:</u> - значительный потенциал возобновляемых источников энергии (солнечная, ветровая, геотермальная энергия, энергия биомассы и	<u>Слабые стороны</u> - непостоянство получения энергии (неравномерность энергопотенциала ВИЭ во времени и пространстве);

	малых рек); - возможность создания ЭС разной мощности в т.ч. по модулям (блокам); - высокий технический уровень в промышленном производстве.	- слабое развитие отечественных технологий на промышленном уровне; - необходимость создания инфраструктуры (дороги, ЛЭП); - сложный механизм стимулирования.
Внешние факторы	<u>Возможности</u> - производство ЭЭ в требуемых объемах в зонах централизованного энергоснабжения; - энергообеспечение изолированных потребителей; - значительное снижение загрязнения окружающей среды; - широкие возможности для отечественных и иностранных инвестиций; - наличие обширных свободных площадей.	<u>Угрозы</u> - технические препятствия: подключение, отсутствие высоковольтных ЛЭП и подъездных путей в точках строительства; - нефиксированный тариф на электроэнергию; - неблагоприятные условия финансирования; - бюрократические препятствия; - несовершенство законодательной базы; - непрозрачная разрешительная система.

Для объектов возобновляемой энергетики необходим учет рисков на всех этапах разработки проекта: при подготовке технико-экономического обоснования, при проектировании, при организации инвестирования и проведении тендеров, непосредственно при строительстве, а также на этапе функционирования. Рассматривая виды рисков, возникающих при строительстве энергообъектов на ВИЭ в России необходимо выделить различные фазы в данном процессе. Основные стадии инвестиционного проекта по сооружению энергообъектов следующие:

1. Прединвестиционная фаза.
2. Инвестиционная фаза.
3. Эксплуатационный период.

Соответственно в первые две фазы основными рисками, требующими обоснованных оценок, являются инвестиционные риски, а в третий период – эксплуатационные риски. При этом финансовые затраты на страхование рисков максимальны на

инвестиционной фазе, в третьем периоде они возрастают по мере эксплуатации энергообъекта с каждым годом.

В настоящее время различают качественную и количественную оценку рисков.

Качественный анализ предполагает выявление:

- источников риска;
- этапов и работ, при выполнении которых возникает риск (установление потенциальных зон риска, изменение риска в динамике, выявление всех положительных и отрицательных моментов, связанных с реализацией решения, содержащего риск).

Качественный анализ рисков проводится путем экспертных оценок, а также по аналогии с действующими аналогичными энергообъектами.

Количественная оценка позволяет:

- выявить математическую вероятность возникновения выявленных рисков;
- определить значения потерь (или прибыли) от действий в рискованной ситуации, которые будут являться объектом дальнейшего анализа для принятия решения об управлении данными рисками;
- определить степень влияния различных факторов на рискованную ситуацию;
- подготовить оптимальный план управления проектом на ВИЭ в рискованной ситуации;

В количественных методах риски в основном измеряются с помощью дисперсии или распределения плотности вероятности технических и экономических параметров. В то время как полуквантитативные методы, такие как анализ сценариев и многокритериальный анализ решений, также могут учитывать и нестатистические параметры, такие как социально-экономические факторы. Для оценок рисков и математического анализа решений наиболее широко применяются методы моделирования стохастических процессов Монте-Карло, метод анализа сетей (МАС, в англоязычной литературе – Analytical Network Process (ANP)), разработанный Т.Саати. Метод используется для оценки ключевых факторов риска и анализа последствий выбранных альтернативных решений. Также МАС позволяет внедрять различные факторы и критерии – материальные и нематериальные, – которые характеризуют оценку рисков. Данный метод позволяет определить, какая из стратегий является приоритетной в общем процессе оценки рисков, а также, какая

стратегия управления наиболее приемлема для группы и отдельных рисков.

Для разработки методов управления рисками следует предварительно оценить возможные риски на всех стадиях развития проекта сооружения на ВИЭ. Классификация возможных рисков объектов на ВИЭ, как и на других предприятиях энергетической отрасли, представлены в таблице 5.5.

ТАБЛИЦА 5.5.
РЕЕСТР ОСНОВНЫХ ВИДОВ РИСКОВ ПРИ ОСВОЕНИИ ВИЭ

Виды рисков	Наименование рисков
Внешние риски, не зависящие от девелопера проекта	
Политические риски	Политическая нестабильность, изменение таможенной политики, риск географической нестабильности и государственного неподчинения обязательствам.
Регулировочные риски	Риски изменения тарифного и экологического регулирования; регулирования в области безопасности; специфические налоговые риски; риски антимонопольного регулирования; риски, связанные с ограничениями в подсоединении и управлении сетью.
Рыночные риски	Риск недополучения прибыли, риск изменения стоимости капитала, риск влияния крупных транзакций на параметры рынка, финансово-экономические, изменение конъюнктуры рынка, цен на топливо.
Валютные риски	Риски, связанные с изменением или нестабильной валютой неблагоприятно влияют на стоимость инвестиций и возникают, когда есть валютное несоответствие активов (доходов) и обязательств (долговое финансирование).
Ресурсные риски	Риск, связанный с высокой пространственно-временной изменчивостью потенциала различных видов ВИЭ, риск неопределенности доступности потенциала ВИЭ, риск неопределенности будущей цены энергии от возобновляемых источников.

Экологические и природные риски	Риски нарушения экологического равновесия вследствие функционирования объекта на ВИЭ. Риски, связанные с возможностью катастрофических явлений (ураганов, ливней, снегопадов, смерчей, землетрясений).
Внутренние риски – определяются деятельностью девелопера проекта	
Стратегические (управленческие) риски	Разработка и воплощение неверных бизнес-решений, неспособность управленческого аппарата принимать правильные решения с учётом изменений внешних факторов.
Операционные риски	Возникновение отклонений в информационных системах и системах внутреннего контроля, связанные с недостаточностью систем контроля; риски, связанные с ошибками людей
Технологические и технические риски	Непреднамеренные сбои в работе, неверный выбор технологического оборудования, нарушения технологических процессов, нерегулярные профилактика и ремонт оборудования, потери в результате сбоев и поломок.

Значительный мировой опыт разработок проектов на ВИЭ явился основой для изучения факторов и методов управления рисками. Исследование, проведенное среди ведущих специалистов по возобновляемой энергетике на основании принципа восходящего анализа экспертных оценок, показал, что, придавая большое значение финансовым, политическим и регуляционным рискам, 62 % респондентов считают для зарубежных проектов наиболее значимыми ресурсные риски, связанные с колебаниями объёма выработки энергоустановок на возобновляемых источниках энергии. К такому же результату приводят исследования проблемы рисков и управления ими на опыте развития возобновляемой энергетики в Европе, выполненные Международным энергетическим агентством (IEA). Если обратиться к конкретизации различных видов возобновляемых источников энергии, то следует отметить, что каждый тип генерации, использующей данный энергоресурс, подвержен специфическим финансовым рискам, являющимся преимущественно ресурсными и операционными.

Перечень данных рисков и способов управления ими по видам возобновляемых источников энергии (для России) представлен в табл. 5.6, составленной на основании обработки материалов ряда зарубежных и отечественных аналитических обзоров.

ТАБЛИЦА 5.6.
ОСНОВНЫЕ РИСКИ ПРОЕКТОВ И СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ
В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ (ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РОССИИ)

Вид ВИЭ	Основные факторы рисков	Возможности управления рисками
Ветроэнергетика	<ul style="list-style-type: none"> •длительные сроки окупаемости и высокие первоначальные затраты (например, разрешение на строительство и затраты на строительство); •критические сбои компонентов (например, шестерни, подшипники, лопасти и т. д.); •изменчивость ветроресурсов; •необходимость морской прокладки кабеля (для шельфовых ВЭС). 	<ul style="list-style-type: none"> - обоснование марки и модели турбины; - получение гарантий от поставщиков компонентов; - достоверные данные о ветровых ресурсах; - контроль потерь передачи энергии (надежность и доступность ЛЭП); - получение долгосрочных контрактов.
Фотоэлектрическая энергетика	<ul style="list-style-type: none"> •выход из строя компонентов системы (короткое замыкание и др.); •временные изменения прихода солнечной радиации; • технологические риски по мере увеличения мощности проекта и сочетания с другими технологиями; • кража/вандализм. 	<ul style="list-style-type: none"> - гарантия надежности (например, до 25 лет); - использование стандартных компонентов, с возможностью замещения и замены; - снижение затрат на техническое обслуживание.
Геотермальная энергетика	<ul style="list-style-type: none"> •расходы на бурение и связанный с этим риск (например, выклинивание термального пласта); •риски разведки бурения (например, неожиданная температура и скорость потока); •критические сбои в работе компонентов, такие как выход из строя насоса; •длительные сроки ввода (например, разрешение на строительство). 	<ul style="list-style-type: none"> -использование (пока ограниченного) опыта бурения в сходных условиях; - привлечение максимального объема данных о ресурсах - развитие стимулирующих технологий (химические и взрывчатые вещества) для повышения продуктивности скважин; - планирование и организация согласований на разрешение проекта.

Малая гидроэнергетика	<ul style="list-style-type: none"> •наводнения; •сезонная/годовая изменчивость стока; •отсутствие длительных рядов данных наблюдений за стоком. 	- использование долгосрочно проверенных технологий с низкими операционными рисками и эксплуатационными затратами.
Биоэнергетика	<ul style="list-style-type: none"> •поставки биомассы и вариабельность поставок; •вариабельность цен на биомассу; •экологические платежи, связанные с обработкой и хранением биотоплива; •действия оппозиции, связанные с проблемой запаха. 	<ul style="list-style-type: none"> - долгосрочные контракты на поставку сырья; - снижение стоимости обработки биотоплива; - контроль за утечками биотоплива; - строгое обеспечения безопасности для предотвращения потерь.

Рассмотрим более подробно некоторые значимые параметры, по которым могут оцениваться основные риски, присущие энергосистемам на возобновляемых источниках энергии. Так, например, параметр риска недополученной прибыли при осуществлении инвестиционного проекта в сфере возобновляемой энергетики (инвестиционный риск) возможно оптимизировать в случае перехода на сооружение установок комбинированного энергоснабжения небольшой мощности с использованием гибридных энергоустановок.

Причины возникновения параметров технологических рисков, выражающихся в сбоях в работе оборудования, могут быть связаны с ошибками, допущенными при выборе и проектировании технологического оборудования, нарушениями технологических процессов. Избежать действия данного вида риска возможно с помощью осуществления мер безопасности, использования сертифицированного технологического оборудования, своевременного его ремонта и т.д.

Параметры технических рисков обуславливаются недостаточной степенью организации процесса генерации энергии, снижением технической надёжности электрооборудования. Для минимизации подобных рисков необходимо повышать уровень профессиональной подготовки специалистов отрасли.

Параметры операционных рисков, связанные с возникновением отклонений в информационных системах и системах внутреннего контроля работы объектов возобновляемой энергетики, определяются ошибками людей и наличием недостаточных систем контроля. Для оптимизации управления данными рисками

необходимо обеспечивать соблюдение операционных мероприятий, утверждённых в нормативных документах, принятых к исполнению персоналом.

Ресурсные риски, связанные с пространственно-временными изменениями параметров генерации энергоустановок на возобновляемых источниках энергии, должны устраняться использованием достоверной информации о потенциалах возобновляемых ресурсов, актуализированных применительно к конкретным территориям размещения объектов возобновляемой энергетики.

Несмотря на важность ресурсных рисков на территории России с её высокой пространственно-временной изменчивостью ресурсных характеристик возобновляемых источников энергии, применительно к российским реалиям наибольшую опасность представляют инвестиционные и операционные риски. Это обусловлено следующими факторами:

1. Довольно сложный, в соответствии с нормативами, процесс государственного согласования и регулирования подготовки и реализации проекта.

2. Изменения курса валют, таможенных пошлин и прочих внешних условий являются самыми высокими факторами риска для инвестора. Даже оборудование и комплектующие, которые производятся в РФ, зачастую зависят от курса валют и таможенных пошлин.

3. Длительные сроки окупаемости энергообъектов на ВИЭ (в РФ сроки окупаемости для подобных проектов — порядка 8–11 лет), что осложняет привлечение инвесторов и финансово-кредитных организаций, поскольку в настоящее время на финансовом рынке РФ наиболее приемлемым сроком возврата займа является период до пяти лет.

4. Интеграция возобновляемой энергетики в рынок мощности в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 28 мая 2013 г. №449-ПП «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» имеет следствием применение большого количества ограничительных мер и условий. Возможно ограничение выработки по команде от системного оператора, при этом предусмотрены санкции, если энергообъект не обеспечит необходимый коэффициент использования установленной мощности (Киум). Возникают риски невыполнения или несвоевременного выполнения одного из условий стимулирующего

законодательства. Риски затягивания (по разным причинам) процедуры квалификации объекта ВИЭ могут стать причиной несоблюдения сроков поставки мощности по ДПМ.

5. Опыт развития возобновляемой энергетики в РФ в предыдущие годы позволяет отнести опасность внесения изменений в нормативно-правовые акты, регулирующие механизм стимулирования развития, к факторам высокого риска. При этом вероятность риска возрастает с увеличением длительности проекта.

Риски при реализации проектов капитального строительства объектов возобновляемой энергетики связаны с большими масштабами инвестиционной программы в России на ближайшие годы, а также сложной структурой управления и финансирования ряда проектов.

Управление вышеперечисленными факторами риска, или риск-менеджмент, зависит от возможности оценить и уменьшить вероятность наступления того или иного рискового события. Суть риск-менеджмента заключается не в исключении рисков, что просто невозможно, а в их оптимизации и получении максимальной выгоды от складывающихся ситуаций посредством скоординированных действий по руководству и управлению в отношении рисков. Все виды рисков могут быть разделены на потенциально изменяемые и неизменяемые, которые, в свою очередь, подразделяются на принимаемые и передаваемые. Изменяемые риски минимизируются в процессе подготовки инвестиционных проектов энергообъектов на ВИЭ. Неизменяемые риски можно принять на себя или передать другим (например, хеджированием или страхованием).

Анализ опыта зарубежных проектов на ВИЭ показал, что при решении задач риск-менеджмента можно выделить нефинансовые и финансовые механизмы управления рисками. *Нефинансовые методы* направлены преимущественно на действия девелопера проекта на ВИЭ для предотвращения или уменьшения потерь внутренних рисков при технологическом процессе работы объекта. Они включают в свой состав:

- технические меры уменьшения вероятности наступления негативных событий или минимизации потери;
- организационные мероприятия предполагают использование комплекса мер, направленных на оптимальное построение технологических процессов и отдельных операций, на разработку охранных и предупредительных мероприятий;

- правовые мероприятия включают разработку и утверждение соответствующих нормативных документов, которые регламентируют определённые ситуации, возлагают ответственность за нарушение или ненадлежащее исполнение возложенных обязанностей;

- обучение персонала также можно отнести к специфическим мероприятиям по воздействию на рискованные ситуации, т. к. в основе риска часто лежит человеческий или субъективный фактор.

В *финансовых методах управления рисками* в возобновляемой энергетике можно выделить три основные стратегии: *принятие, снижение и перенос риска*. Принятие риска обычно означает оставление всего или части риска за предпринимателем, т.е. на его ответственности. В этом случае предприниматель принимает решение о покрытии возможных потерь в результате свершения рискованного события за счет собственных средств, например, самострахование (создание девелопером собственных страховых фондов, которые предназначены для покрытия убытков), компенсация (покрытие риска за счет текущего денежного потока); резервирование (создание фонда средств на покрытие непредвиденных расходов).

При сооружении энергообъекта на ВИЭ распределение риска между участниками проекта является действенным способом его снижения. Он заключается в распределении риска между владельцем, инвестором и исполнителем проекта. Отношения между владельцем проекта и исполнителем проекта в большинстве случаев основаны на договорных отношениях. Поэтому при заключении договора подряда заранее оговариваются все штрафные санкции, которые будут применены к подрядчику за невыполнение им договорных обязательств. Тем самым риск будет распределен между участниками договора и некоторым образом компенсирован. Анализ опыта зарубежных проектов на ВИЭ показывает, что наиболее применимыми являются такие методы снижения рисков, как долгосрочные соглашения о закупке электроэнергии, контракты на эксплуатацию и техническое обслуживание, а также передача части рисков третьим лицам.

Вопрос о том, какой риск следует принимать на себя, является одним из самых сложных и важных в практике риск-менеджмента. Современное понимание риск-менеджмента базируется на так называемой «концепции приемлемого риска», согласно которой основной целью процесса управления риском является придание максимальной устойчивости всем видам деятельности компании путем удержания совокупного риска (ожидаемого уровня потерь) в заданных стратегией развития пределах.

Перенос риска – это методы страхования сооружения объектов на ВИЭ, их работы и выдачи гарантированной мощности. Страхование позволяет девелоперу (разработчику) проекта компенсировать потери, которые могут возникнуть в случае негативных последствий существующих рисков. К рискам, принимаемым страховыми компаниями, относятся обычно риски, разработанные для традиционных отраслей промышленности. Сюда относятся: технологические риски (выход из строя оборудования), организационные (задержки в поставках), стихийные бедствия, человеческий фактор, а также часть юридических и финансовых рисков. Страхование имеет существенные достоинства: предприятие получает возможность планировать будущие расходы, распределять средства согласно финансовому плану, предотвращать непредсказуемо высокие потери, которые могут возникнуть из-за ущерба. Это обеспечивает эффективность работы объектов ВИЭ – более низкие тарифные последствия на производство и передачу энергии конечному потребителю. Страховая премия необходима для возмещения возможного ущерба, причинённого имуществу страхователя. При наступлении страхового случая компенсацию производит компания-страховщик.

Далеко не все виды рисков, присущие объектам возобновляемой энергетики, подлежат страхованию. Страховые компании, как правило, покрывают только те риски, по которым может быть оценена вероятность наступления страхового случая, оценен размер возможного ущерба и вычислена соответствующая страховая премия. Ряд факторов риска, характерных для работы проектов на ВИЭ, и в первую очередь, изменение законодательства и экономического и политического климата в стране, обычно выходят за рамки страхования. Это также касается отдельных проектов с использованием новых технологий возобновляемой энергетики, реализация которых не отвечает базовым требованиям страховых компаний. В связи с этим многие проекты в области возобновляемой энергетики имеют высокий уровень риска, что снижает перспективы их инвестирования и получения кредитов банков.

Современные методы управления рисками

Анализ действующих проектов на ВИЭ показывает, что ряд крупных девелоперов активно используют и альтернативные инструменты передачи риска, адаптированные для возобновляемой энергетики. Рассмотрим некоторые кроме традиционного страхования существующие альтернативные механизмы передачи

риска, которые могут повысить инвестиционную привлекательность проектов возобновляемой энергетики.

Погодные деривативы. В течение многих десятилетий единственной возможностью снизить погодные риски было их страхование, и лишь в конце 90-х годов прошлого века появилось такое понятие, как «срочный контракт на погоду», который в настоящее время интенсивно используется иностранными компаниями для снижения риска, связанного с изменениями погодных условий. Ресурсные погодные риски влияют на надежность выработки большинства систем возобновляемой энергетики и, следовательно, на получение запланированной прибыли. Погодные деривативы – это финансовые фьючерсные контракты, выплаты по которым напрямую зависят от погодных условий: количества солнечных дней, колебания скорости ветра и количества осадков, отклонения от заданного значения температуры.

Фирма, владеющая, например, ВЭС может приобрести годовой фьючерс или опцион, фиксирующий определенное значение индекса. В случае, когда скорость ветра становится ниже данного значения, компания получает компенсацию от продавца опциона, тем самым снижая риск финансовых потерь. Таким образом, девелоперы проектов на ВИЭ могут застраховать (задействовать) свои риски в случае наступления для них неблагоприятного события, однако отказываются от сверхприбыли в случае наступления благоприятного события.

К новым формам управления финансовыми рисками в возобновляемой энергетике можно отнести также *интегрированные многорисковые контракты, рисковый капитал, залог акций, валютный своп и секьютеризация кредитов.* Основным препятствием для более широкого использования альтернативных методов управления финансовыми рисками в возобновляемой энергетике и разработки новых продуктов управления освоения ВИЭ в России является недостаток отраслевой информации. Финансовый сектор требует более глубокого понимания отрасли возобновляемой энергетики, существующих в ней технологий и операционных процессов. Для того, чтобы рассчитать премии за риск, страховые компании должны обладать полным объемом информации, позволяющим оценить вероятность наступления страхового случая, а также размер возможного ущерба от него. Решением данной проблемы может стать более тесное сотрудничество между разработчиками проектов возобновляемой энергетики и представителями финансового сектора.

Важным фактором снижения рисков и повышения кредитного рейтинга компании при создании объектов на ВИЭ и являются также гарантии международных институтов и государственного сектора. Данные гарантии играют ключевую роль в снижении политического риска, так как на сегодняшний день традиционные страховые продукты не покрывают риски, связанные с изменением политической обстановки и законодательства в той или иной стране. Это имеет особенно большое значение при привлечении финансирования для проектов возобновляемой энергетики в развивающихся странах с высоким уровнем политического риска.

В Российской Федерации на объектах возобновляемой энергетики проводится страхование на случай поломки оборудования, поскольку при поломке оборудования электростанции приходится простаивать в ожидании замены какой-то дорогостоящей и редкой детали и, следовательно, терять прибыль. Страхование покрывает не только замену оборудования, но и понесенный финансовый ущерб. Проводится также страхование от стихийных бедствий на площадках размещения объектов ВИЭ, где существует риск наводнений, землетрясений, града, сильного ветра. В России также существенны риски, связанные с низкими температурами, поскольку при падении температуры ниже нуля на лопастях происходит обледенение, что может привести к поломке оборудования.

Контрольные вопросы и задания

1. Понятие «Экологический потенциал (эффект) применения ВИЭ», значения по видам энергоисточников.
2. Воздействие на окружающую среду различных энергообъектов при использовании солнечных ресурсов.
3. Основные аспекты и последствия влияния на окружающую среду объектов ветроэнергетики и меры по их снижению.
4. Этапы и виды воздействия на окружающую среду в геотермальной энергетике.
5. Экологические проблемы развития биоэнергетики.
6. Преимущества и недостатки малой гидроэнергетики с точки зрения воздействия на окружающую среду.
7. Методы анализа рисков в возобновляемой энергетике. Понятие SWOT-анализа.
8. Реестр основных видов рисков при освоении возобновляемых источников энергии.

9. Основные риски в отраслях возобновляемой энергетики и способы их снижения.

10. Методы риск-менеджмента в возобновляемой энергетике.

11. Определение влияния объектов ВИЭ на снижение эмиссии углекислого газа в атмосферу.

На сайте Ассоциации продавцов и покупателей электроэнергии РФ НП «Совет рынка» (<https://www.np-sr.ru>) в разделе Рынок электроэнергии и мощности – ВИЭ (<https://www.np-sr.ru/ru/market/vie/index.htm>) по данным из «Перечня квалифицированных генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии...» (таблица Excel) сделать выборку данных и определить суммарную мощность ветровых или солнечных электростанций, работавших в 2020 г. в одном из субъектов РФ (по выбору).

Вычислить годовую выработку электроэнергии на ВЭС (СЭС) в данном регионе, принимая среднегодовой расчетный Коэффициент использования установленной мощности (Киум) для ВЭС равным 24%, а для СЭС - 15%.

Оценить снижение эмиссии CO₂ при выработке электроэнергии на ВЭС или СЭС (по сравнению с выработкой ТЭС на углеводородном топливе) за один год из расчета, что производство электроэнергии в России в среднем сопровождается выбросами около 500г CO₂/кВтч.

Результаты работы оформить в письменном виде.

12. Анализ рисков использования ВИЭ в регионе.

Провести анализ факторов риска сооружения ветроэнергетических (солнечных, биоэнергетических) электростанций с применением SWOT-анализа для регионов России (Республика Крым, Арктическая Зона РФ, Республика Якутия и др.). Рассмотреть факторы риска:

1. Природные – уровень потенциала возобновляемого энергоресурса и возможности его достоверной оценки, характер подстилающей поверхности (грунт, рельеф), температурный режим, угрозы возникновения стихийных явлений природы (ураганы, пожары, наводнения, землетрясения) и др.

2. Экономические – возможности получения разрешения на землеотвод, цены на электроэнергию, наличие инфраструктуры для доставки крупногабаритных грузов и др.

3. Социальные – курортно-рекреационное использование территорий, наличие квалифицированного персонала, отношение

населения к объектам на ВИЭ, возможный вандализм и кражи энергоустановок населением.

4. Экологические – наличие на территории ООПТ, путей миграции птиц.

Для расчетов рекомендуется использовать следующие источники: о ресурсном потенциале – материалы ГИС «ВИЭ России» (<https://gisre.ru/>), о физико- и экономико-географических условиях в регионе – «Национальный атлас России» (<https://nationalatlas.ru/>), о расположении ООПТ – (<https://oopt.info/>).

Результаты работы оформить в письменном виде.

Литература по разделу

1. Белов С. В. Техногенные системы и экологический риск. Учебник — М.: Издательство Юрайт, 2018. – 434 с.

2. География и рациональное использование возобновляемых источников энергии / под редакцией А.А.Соловьева. Коллективная монография / В. В. Алексеев, Т. И. Андреев, М. Ю. Берёзкин и др. — Издательский дом Энергия Москва, 2019. — 288 с.

3. Копылов А.Е. Экономика ВИЭ. Издание 2-е, переработанное и дополненное — М.: Грифон, 2017. 590 с.

4. Риски и экологическая безопасность природно-хозяйственных систем / В.И.Биненко, В.К., Донченко, В.В. Растоскуев — Санкт-Петербург, 2012. – 354 с.

5. Дегтярев К.С. ВИЭ и побочные экологические эффекты // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2015. № 5 (161). С. 90-94.

6. Карипова И. А. Риски предприятий электроэнергетической отрасли в формировании стратегии перехода на возобновляемые источники энергии / И. А. Карипова, П. И. Тишков // Креативная экономика. – 2020. – Т. 14. – № 11. – С. 2977-2992.

7. Нефедова Л. В., Соловьев А. А. Анализ рисков освоения возобновляемых источников энергии в России // Проблемы анализа риска. — 2015. — Т. 12, № 6. — С. 56–63.

8. Нефедова Л. В., Соловьев А. А. Финансовые методы управления рисками при использовании ВИЭ // Энергетическая политика. — 2020. — № 5 (147). — С. 62–75.

9. Соколов Ю.И. Проблемы и риски возобновляемых источников энергии // Проблемы анализа риска. — 2021. — Т. 18№4. — С. 28-47.

10. Unlocking Renewable Energy Investment: The Role of Risk Mitigation and Structured Finance, IRENA, 2016, Abu Dhabi, 148 pp.

ГЛАВА 6

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К КАРТОГРАФИРОВАНИЮ РЕСУРСОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

6.1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Комплексное картографирование ресурсного потенциала территорий целесообразно выполнять в несколько этапов (рис. 6.1). В первую очередь должен быть произведен анализ природных ресурсов. Под природным ресурсом далее будем подразумевать природные характеристики соответствующих видов ВИЭ. Для ветровой энергии таковыми являются скорость и повторяемость скорости ветра. Для солнечной энергии – падающая солнечная радиация на горизонтальную поверхность.

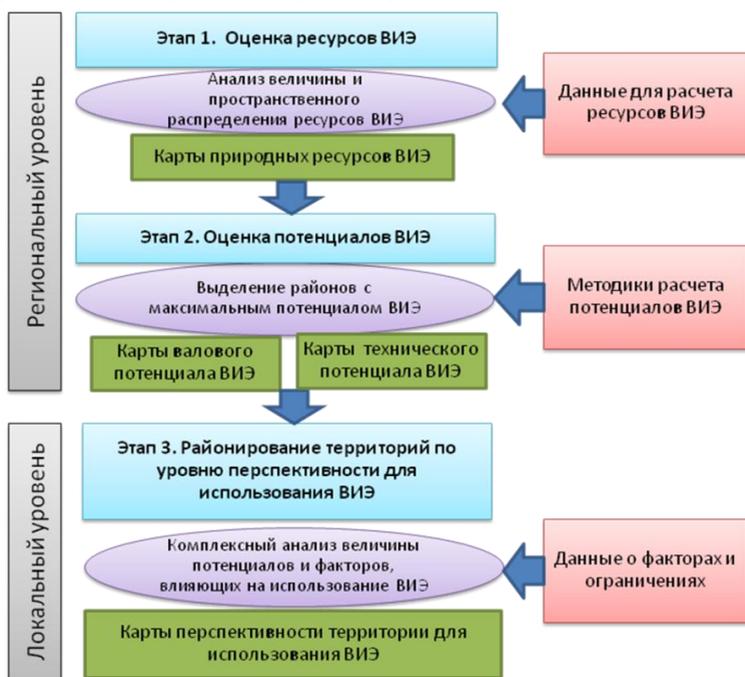


Рис. 6.1. Схема методики оценки и комплексного картографирования ресурсов ВИЭ

На втором этапе на основе собранных массивов данных о природных ресурсах различных видов ВИЭ проводятся расчеты производительности энергоустановок с учетом их технических параметров. Полученных в результате расчетов массивы данных отображаются на картах валового и технического потенциала ВИЭ.

На третьем этапе проводится пространственный анализ ресурсного потенциала и факторов, влияющих на его использование. Результатом является районирование территории по перспективности развития конкретной отрасли возобновляемой энергетики (ВЭ) и строительства объектов энергогенерации. Необходимость детального рассмотрения ряда факторов обуславливает переход на третьем этапе на локальный уровень анализа территории.

Следует отметить, что выбранная территория должна, в первую очередь, обладать достаточным природным и техническим потенциалом энергии ВИЭ. На перспективных территориях целесообразно в дальнейшем рассматривать факторы, препятствующие или ограничивающие строительство объектов на ВИЭ.

Соответственно, тематика карт, необходимых для обеспечения оценки ресурсов ВИЭ, подразделяется на 3 блока:

- карты природных ресурсов ВИЭ;
- карты валового и технического потенциала ВИЭ;
- карты факторов, ограничений и предпосылок, влияющих на размещение объектов на ВИЭ.

Итогом оценки, проводимой по данной методике, должна стать карта пригодности и перспективности территории для размещения объектов возобновляемой энергетики. Рассмотрим требования, которым должны соответствовать карты, разрабатываемые на каждом этапе комплексного картографирования ресурсов ВИЭ, на примере солнечной и ветровой энергетики.

Первая группа – карты природных ресурсов ВИЭ должна отражать характеристики возобновляемой энергии, необходимые для оценки природного энергетического потенциала территории.

Как правило, каждая отдельная карта отражает только один из рассматриваемых возобновляемых источников энергии. На картах *природного ресурса* ветровой энергии должны быть представлены: средние скорости ветра на различных высотах, соответствующих высотам современных ветроустановок (например, 10, 50, 100, 150 м); повторяемость скоростей ветра на различных высотах; максимальная скорость ветра. Карты *природного ресурса* солнечной энергии должны отражать значения средних суточных сумм суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность (за год, теплые полгода, летний период, отдельные месяцы). Также – для анализа возможности и результативности использования гибридных установок на ВИЭ – важным может быть составление карт

корреляции среднемесячных значений солнечной радиации и скоростей ветра.

Кроме того, на картах должны быть максимально полно отражены все доступные источники данных о характеристиках ВИЭ, а именно:

- данные метеорологических и актинометрических станций;
- данные реанализов и специализированных баз данных;
- данные локального ветромониторинга (при наличии таковых).

Вторая группа - карты валового и технического потенциала ВИЭ, отражающие расчетные характеристики мощности воздушной струи, производительности ветроустановок (для ветрового энергopotенциала), производительности солнечных установок (для солнечного энергopotенциала).

В данной работе предлагается считать характеристиками валового потенциала и представлять в картографическом виде: для солнечной энергии – значения прямой солнечной радиации на нормальную к лучу поверхность и суммарной солнечной радиации на различно ориентированные поверхности (среднегодовые и средние по сезонам суточные суммы), для ветра - энергию воздушной струи единичной площади сечения на разных высотах, соответствующих характерным размерам современных ветроустановок.

Карты технического потенциала должны отражать производные (расчетные) величины: производительность типовых ветроустановок на принятых в настоящее время в ветровой энергетике высотах установки турбины; производительность типовых солнечных фотоэлектрических установок, эффективность работы солнечных водонагревательных установок (все величины должны представлять собой среднее значение за определённый период). Максимальные значения величин на картах целесообразно отражать яркими цветами для удобства определения пользователем территорий с оптимальными для использования значениями технического потенциала. Так для солнечных коллекторов при выражении технического потенциала в виде доли покрытия нагрузки горячего водоснабжения (в процентах) значения менее 50% говорят о низком потенциале (то есть невозможности обеспечить нагрев воды до контрольного значения без использования резервного водонагревателя) (рис. 6.2). Значения от 50 до 80% говорят о среднем потенциале территории, а выше 80% - о высоком потенциале использования водонагревательных установок на солнечной энергии.

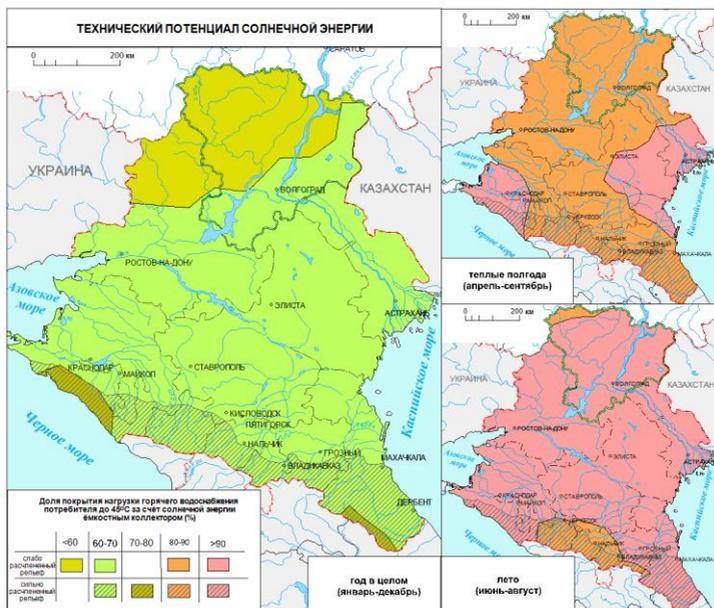


Рис. 6.2. Пример карты технического потенциала солнечной энергии.

Выделить пороговые значения при отображении на картах технического потенциала фотоэлектрических панелей сложнее. Опыт успешного использования таких установок в странах Европы со среднегодовым дневным поступлением солнечной радиации $4,7 \text{ кВтч/м}^2 \text{ день}$ (в Испании) и $3,3 \text{ кВтч/м}^2 \text{ день}$ (на юге Германии), может говорить о достаточно высоком потенциале солнечной энергии и в России. Возможные ограничения могут накладывать климатические особенности регионов с холодными зимами и периодами с условиями полярной ночи. Однако такие регионы часто характеризуются высоким коэффициентом прозрачности атмосферы, что повышает эффективность фотоэлектрических установок.

В качестве характеристики, позволяющей определить предельные (минимальные) значения технического потенциала ветровой энергии можно использовать коэффициент использования установленной мощности ($K_{\text{иум}}$). Эта характеристика определяет, какую долю энергии от максимально возможной может выработать ВЭУ данного типа в конкретной местности. Как указывалось выше в главе 4, при оценке фактической годовой производительности ВЭУ (E) учитываются климатические условия местности, а именно,

повторяемость скорости ветра $n_i(v)$ и технические характеристики данного типа ВЭУ (мощностная характеристика).

Ясно, что в зависимости от ветрового режима местности, время, в течение которого ветроустановка с заданными техническими характеристиками работает с максимальной мощностью, может теоретически варьироваться от 0 до 8760 часов (полный год). Соответственно $K_{\text{иум}}$ изменяется от 0 до 100%. В настоящее время среднее значение $K_{\text{иум}}$ для ВЭС, эксплуатируемых в Европейском Союзе, составляет порядка 25%. При существующем уровне развития ветроэнергетики в РФ $K_{\text{иум}}$ около 20% считается высоким и вполне приемлемым для использования энергии ветра. Если обсуждать перспективы развития ветроэнергетики, то в ЕС поставлена задача увеличить средний $K_{\text{иум}}$ до 30% путём максимально эффективного использования природных ветровых ресурсов и совершенствования проектирования станций. Целый ряд работ, посвящённых стратегии развития ветроэнергетики в России, также содержит обоснование значения $K_{\text{иум}}=30\%$ как целевого показателя. В связи с этим могут быть приняты следующие градации территорий по величине $K_{\text{иум}}$ ВЭС:

0-15%- низкий технический потенциал;

15-25%- средний (приемлемый) технический потенциал;

25-30% и выше – высокий технический потенциал.

По результатам анализа источников климатических данных – как международных, так и российских климатических справочников, баз данных, текущей метеорологической и актинометрической информации, проведенного в Главе 4, видно, что основной проблемой картографирования ресурсов ветровой и солнечной энергии является недостаточная плотность пространственной сетки данных. Поэтому при составлении карт природного и технического потенциала солнечной и ветровой энергии возможно использовать методы интерполяции. Этот метод применим больше в случае использования данных точечных измерений (например, многолетних измерений на метеостанциях). Однако в случае использования тематических баз данных (например, данные NASA POWER) следует учитывать, что они получены путём осреднения по ячейке сетки - следовательно, их интерполяция может привести к ошибочным результатам. В настоящее время такие данные во многих открытых базах метеорологических данных доступны для скачивания в формате NetCDF, который максимально точно позволяет отобразить распределение значений по территории в ячейках (рис. 6.3).

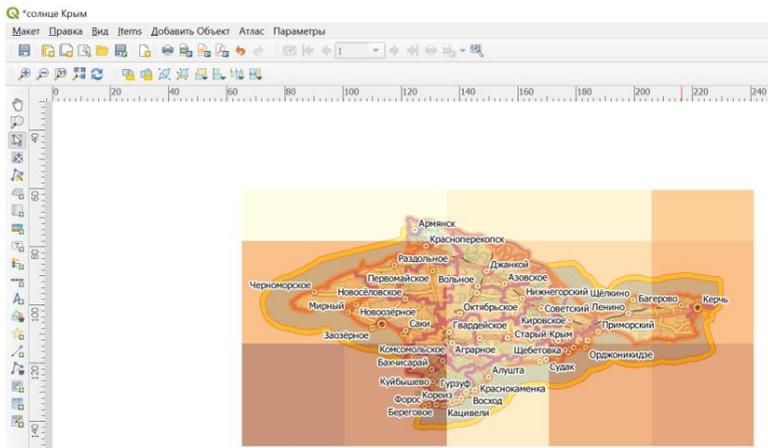


Рис. 6.3. Пример представления данных формата NetCDF из базы данных NASAPOWER в программе QGIS.

NetCDF (Network Common Data Form) – это двоичный формат файлов, предназначенный для создания, доступа и публикации научных данных. Он широко используется специалистами метеорологами и океанографами для хранения переменных, как, например, данных о температуре, давлении, скорости ветра и высоте волн. В файле netCDF записаны не только данные, распределенные по сетке определенного разрешения, но и информация о содержащихся в нем данных, в том числе, где были получены элементы этих данных и какие единицы измерения использовались. Формат является кросс-платформенным, что облегчает работу с данными независимо от геоинформационного ПО пользователей. Ещё одним преимуществом формата является масштабируемость данных.

Третий блок карт – карты факторов и ограничений, влияющих на размещение объектов на ВИЭ – должен отражать характеристики территории, влияющие на размещение объектов солнечной и ветровой энергетики (это могут быть как ограничивающие факторы, так и способствующие). Их можно подразделить на несколько основных групп: природные, экологические, технические, экономические и социальные. Основой для составления карт третьего блока должна быть количественная и качественная информация, представленная в векторном или табличном формате.

Результатом совместного анализа третьего блока карт с картами второго блока являются комплексные карты перспективности территории и выявление районов, оптимальных для размещения объектов солнечной и ветровой энергетики.

6.2. ОСОБЕННОСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОЙ И СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Важной проблемой при создании карт природных ресурсов, валового и технического потенциалов ветровой и солнечной энергии является обоснованность интерполяции метеоданных, которые, как правило, имеют точечную привязку и нелинейные характер распространения по территории. В региональных оценках следует разделять картографирование потенциалов по данным наземных метеостанций и по данным математического метеорологического моделирования. Как уже описывалось в разделе 6.1. данные из открытых метеорологических баз данных, таких как NASA POWER, SARAH, CLARA и др., необходимо использовать в формате их представления в исходных источниках – единые значения внутри прямоугольной ячейки. Для этого оптимальным при работе в ГИС-пакетах является формат NetCDF.

Интерполяция данных при картографировании характеристик солнечной и ветровой энергии может применяться к данным, полученным путём наземного измерения (на метеостанциях или в ходе мониторингов). В метеорологии используются детерминированные и геостатистические методы интерполяции, а также смешанные методы, сочетающие в себе два вышеупомянутых типа. Один из значимых факторов при выборе метода интерполяции – временной диапазон отображаемых данных. Так по Твейто О.Е. ежемесячные или сезонные карты должны быть основаны на интерполяции аномалий или нормированных значений, а ежедневные – на интерполяции абсолютных значений. Особую сложность представляет отображение данных многолетних измерений из-за возможных изменений в измерительной сети и необходимости обновления результатов статистической обработки при поступлении в массив данных новых измерений. Отдельно следует рассматривать задачу интерполяции метеоданных в горных районах, где даже при наличии наземной измерительной сети, большая часть метеостанций находится в долинах, и, тем самым,

общий массив данных не представляет собой объективную реальность.

Рассмотрим области и возможности применения к метеоданным наиболее известных методов интерполяции. Метод треугольной нерегулярной сети (TIN) и метод естественного соседа (NaturalNeighbor) применяются к характеристикам ветровой и солнечной энергии достаточно редко и эффективны только при высокой плотности сети измерений. Гораздо более широко используется при работе с метеоданными метод обратного взвешенных расстояний (IDW), за счет того, что он учитывает возможную анизотропию данных. Метод IDW широко используется в метеорологии. Примерами является интерполяция метеорологических аномалий метеослужбой Германии в работах по проекту REGNIE (REGionalisie rungräumlicher NIEDerschlags verteilungen), а также при генерации ежемесячных наборов данных для сетки разрешением 5 км по 36 параметрам метеослужбой Великобритании. В Португалии IDW используется для интерполяции температуры между 84 метеорологическими станциями; в Испании – для создания ежемесячных карт климатических аномалий температуры, осадков и инсоляции.

Метод сплайна считается достоверным при интерполяции ежемесячных и ежегодных метеорологических элементов, но менее пригоден на более высоких временных разрешениях, таких как дни и часы. Использование геостатистического анализа различными типами метода кригинга часто и эффективно используется при интерполяции температур, но ограничено плотностью измерительной сети. При недостаточно высокой плотности целесообразнее использовать метод IDW или комбинацию методов.

Известны также методы интерполяции для метеоданных, такие как MISH (Meteorological interpolation based on Surface Homogenized Data Basis) (разработан и использовался только в Венгрии), PRISM (разработан в Университете Орегона, США). Использование последнего при климатическом картографировании на федеральном уровне США и для горных альпийских территорий в Европе показало хорошие результаты для территорий с сильным расчленением рельефа. Однако для равнинных территорий с плотной измерительной сетью более эффективны классические методы.

Все описанные методы интерполяции достаточно широко представлены в современных геоинформационных продуктах. Наиболее известными инструментами с максимальным набором

методов интерполяции для картографирования ресурсов ветровой и солнечной энергии являются продукты ArcGIS и Generic Mapping Tools (GMT).

Таким образом, выбор метода интерполяции при создании карт ресурсов солнечной и ветровой энергии определяется плотностью пространственного распределения исходных данных, проекцией карт, характером рельефа, временным диапазоном данных, требованиям к сглаживанию. В этой связи использование для картографирования данных пространственного метеорологического моделирования значительно упрощает задачу определения оптимальных методов интерполяции, поскольку такие данные представлены на более плотной и равномерной пространственной сетке (в отличие от данных наземных метеостанций) и получены с учетом типа подстилающей поверхности.

Согласно проведенному сравнительному анализу для территории Юга России при интерполяции характеристик ветровой энергии наилучшие результаты дал метод IDW с весом 2. Более высокие значения веса приводят к потере некоторых значений за счёт сглаживания и не приемлемы. Для характеристик солнечной энергии оптимальные результаты показал метод сплайна.

6.3. ОСОБЕННОСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЗМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Основной целью создания карт факторов является определение оптимальных территорий для размещения объектов солнечной и ветровой энергетики. Для этого в первую очередь необходима типизация факторов, влияющих на принятие решения о размещении энергоустановки на заданной территории. Их можно разделить на следующие типы: природные, экологические, технические, экономические и социальные (рис. 6.4). Доступность информации о факторах по регионам России в картографическом формате достаточно неоднородна. Поэтому в разных регионах перечень анализируемых факторов может зависеть не только от целесообразности учета их именно в региональном анализе, но и от наличия данных.

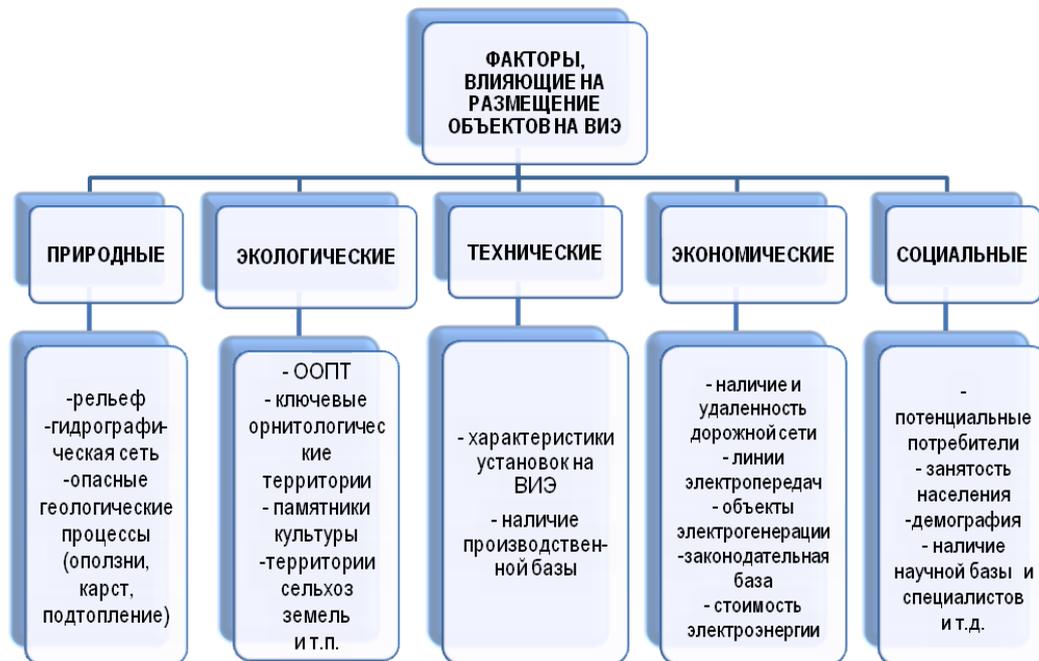


Рис. 6.4. Типизация факторов, влияющих на размещение объектов на ВИЭ.

Последовательность действий на этом этапе включает в себя следующие шаги:

1. Составление перечня факторов, влияющих на развитие возобновляемой энергетики в исследуемом регионе.

2. Разделение факторов на ограничивающие развитие ВЭ и способствующие с определением таких сопутствующих критериев, как степень ограничения или условие для благоприятности данного фактора. *(Например, дорожная сеть является благоприятным фактором, если объект ВЭ удален от дороги не более чем на N метров. Или: водный объект является строгим ограничением не только внутри своего контура, но и в пределах буферной зоны 200 м.)*

В мировой практике наиболее популярен метод деления ограничивающих факторов на 3 типа:

- **строгое ограничение** – строительство объектов ВЭ полностью запрещено;

- **среднее ограничение** – строительство теоретически запрещено, но может быть выполнено, если положительное воздействие объекта будет достаточно высоко;

- **слабое ограничение** – строительство может быть осуществлено после более детальной оценки воздействия объекта на окружающую среду.

Возможно деление на большее количество категорий. В таблице 6.1. представлен пример перечня ограничивающих факторов с их характеристиками и делением по 3 вышеупомянутым категориям.

ТАБЛИЦА 6.1.

**ПОЛНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ КРИТЕРИЕВ,
УЧТЕННЫХ ПРИ РАЙОНИРОВАНИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ
ПО СТЕПЕНИ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

(с учетом размера проекта: крупные проекты - более 1 МВт, мелкие проекты – единичные установки менее 1 МВт)

№	Ограничивающие факторы	Форма отображения	Уровень ограничения (в баллах)		Буферная зона, м
			Крупные проекты	Мелкие проекты	
1	Природные парки	полигон	3	2	
2	Природные заказники	полигон	3	2	

3	Охраняемые ландшафты	полигон	3	2	
4	Памятники природы	полигон	3	2	
5	Земли лесного фонда	полигон	3	2	
6	Районы с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями (склоны)	полигон	2	2	
7	Нелинейные гидрологические объекты	полигон	3	3	
8	Линейные гидрологические объекты	линия	3	3	
9	Ключевые орнитологические районы	полигон	3	3	150
10	Территории объектов министерства обороны	полигон	3	2	
11	Пашни, сенокосы	полигон	1	1	
12	Леса, выгоны и пастбища, пески, сады	полигон	2	2	
13	Территории населенных пунктов	полигон	2	1	
14	Линии автодорог	линия	3	2	40
15	Линии железных дорог	линия	3	2	40

3. Сбор информации по факторам и преобразование её в геоинформационные слои (ГИС-слои).

4. Совместный анализ полученных ГИС-слоёв и определение доступных для объектов ВЭ территорий в регионе. Для этого в геоинформационном ПО выполняется реклассификация имеющихся слоёв, которая зависит от условий их пригодности для объектов ВЭ. Все слои, независимо от их формата, переводятся в растровый формат с единым разрешением и едиными классами, учитывающими необходимые буферные зоны. После этого производится наложение (*Overlay*) слоёв друг на друга (рис. 6.5).

Полученная в результате этого карта доступности территории может быть преобразована в векторный формат для определения и использования в дальнейшем анализе площадей доступных территорий.

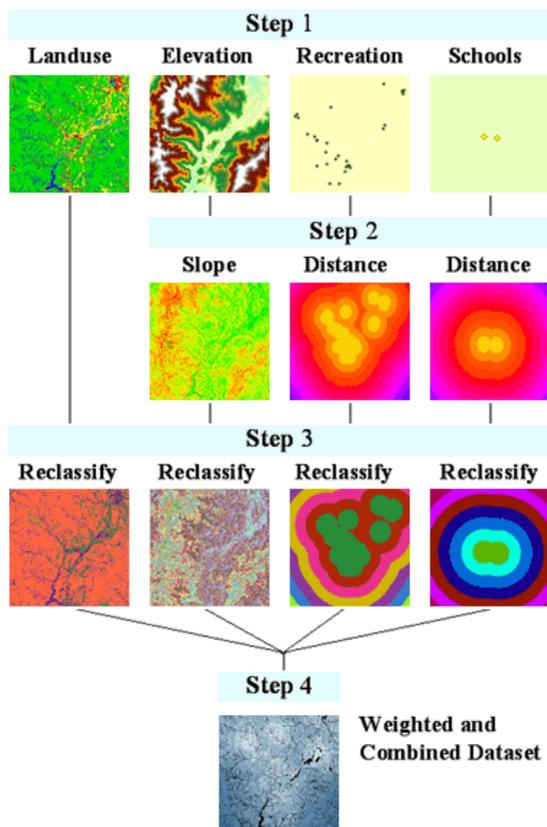


Рис. 6.5. Пример трансформации ГИС-слоёв из их исходного формата в карту доступности территорий.

5. Верификация полученных результатов путём сравнения доступных территорий с уже функционирующими в регионе проектами (данные о них представлены в ГИС «ВИЭ России»).

Рассмотрим более подробно перечень факторов, целесообразность их учёта в региональном анализе и источники информации по ним для регионов России.

Природные факторы

Природные условия территории является важными ограничениями при проектировании установок на ВИЭ. Одним из первых по значимости ограничивающих факторов при размещении объектов солнечной и ветровой энергетики является **рельеф**. Влияние этого фактора может сказываться на величине природного ресурса (например, вследствие формирования зоны тени как для солнечной радиации, так и для ветра), на формировании опасных инженерно-геологических процессов. Этот фактор может также определять эстетическую ценность территории, нарушение которой недопустимо.

Учитывая, что солнечные фотоэлектрические системы можно устанавливать на склоны практически любой экспозиции, ориентируя их по азимуту и углу для максимального поступления солнечной радиации, существенное значение при региональном анализе в роли затенения могут играть макроформы рельефа.

В ветроэнергетике рельеф (особенно горный, сильно расчлененный) значительно влияет на ветровой режим. С позиций картографии масштаб региональных исследований (от 1:2 500 000 и мельче) подразумевает отображение на картах элементов макрорельефа и мегарельефа. Таким образом на картах потенциала солнечной и ветровой энергии регионального масштаба целесообразно отражать только крупные формы сильно расчлененного рельефа (горные массивы, склоны).

Использование при составлении карт природного и технического потенциала ветровой и солнечной энергии реанализа и специализированных баз данных позволяет при региональных оценках учитывать влияние крупных форм рельефа и характера подстилающей поверхности (тип растительного покрова, снег, водная поверхность). Во избежание ошибок и пробелов в моделях на основе спутниковых наблюдений, производится корреляция данных с наземными измерениями. Считается, что данные по солнечной и ветровой энергии для горных районов следует использовать с большой осторожностью.

Источники данных: цифровые модели рельефа [1], геоморфологические карты регионального масштаба.

Гидрографическая сеть на картах ресурсов ВИЭ является строгим ограничивающим фактором. Она должна включать в себя речную сеть, каналы, озера, болота, водохранилища, водоохранные зоны, соответствующие масштабу и уровню генерализации.

Согласно Водному кодексу РФ [2], в границах водоохранных зон запрещаются все виды сельскохозяйственной деятельности (помимо сенокосов), а также движение и стоянка транспортных средств (что необходимо для строительства и обслуживания объектов возобновляемой энергетики). В различных регионах России применимость Водного кодекса может значительно отличаться, что связано с большой неоднородностью географических, климатических условий и связанных с ними основных видов хозяйственной деятельности. При региональных оценках влияния гидрологических факторов на размещение объектов ВИЭ следует учитывать – помимо собственно водных объектов, – водоохранную зону вокруг них, размеры которой определяются Водным кодексом.

Источники данных: топографические карты, слои Open Street Map [3].

Опасные геологические процессы при проектировании объектов солнечной и ветровой энергетики следует учитывать так же, как и при проектировании иных инженерных сооружений. При региональных оценках оптимальным могло бы быть использование имеющегося инженерно-геологического районирования территории, проводимого специализированными организациями и основанного на данных о геологическом строении региона, анализе свойств грунтов и мониторинге таких процессов, как оползни, сели, абразия. При отсутствии данных инженерно-геологического районирования на картах факторов необходимо отображать в первую очередь зоны распространения карста, карстовых воронок, суффозии, зоны возможного подтопления, зоны распространения опасных склоновых процессов (где возможны сдвиги и обрушения грунта под воздействием гидрометеорологических явлений), зоны распространения сейсмических процессов, абразионные и эрозионные процессы речных долин, просадки в лессовых и пепловых породах.

В северных регионах следует также отдельно рассматривать зоны распространения вечной мерзлоты и связанные с нею опасные инженерно-геологические процессы, а также уровень снежного покрова, катастрофические ветра, обледенение и т.д.

Источники данных: карты инженерно-геологического районирования (например, База знаний Института геоэкологии РАН <http://hge.spbu.ru/mappgis/start.html>).

Экологические факторы

Особо охраняемые природные территории, зачастую имеющие значительные размеры, при оценках на региональном уровне являются одним из наиболее серьезных ограничений размещения объектов возобновляемой энергетики. Однако в последние годы установки на ВИЭ всё чаще используются для решения вопросов энергообеспечения на территориях с максимально строгими запретами хозяйственной деятельности. Здесь важным становится масштаб проектируемых установок и изолированность территории от источников энергоснабжения. Именно в изолированных территориях при использовании ВИЭ положительный экологический эффект от них может превышать возможное негативное воздействие на окружающую среду.

Тем не менее, при региональном масштабе исследований важно учитывать интересы потребителя конечной картографической продукции, а именно, органы государственного управления, занимающиеся энергетической стратегией региона, инвестиционные компании, планирующие реализацию проектов возобновляемой энергетики мегаваттного класса. В этом случае необходимо отображать на картах все типы ООПТ, разделяя их по уровню ограничения хозяйственной деятельности. Для России это государственные природные заповедники, национальные парки, природные парки, государственные природные заказники, памятники природы, дендрологические парки и ботанические сады.

Для ветроэнергетики особо важным является учет воздействия планируемых объектов на орнитофауну. Поэтому на картах ресурсов ветровой энергии необходимо отражать **ключевые орнитологические территории (КОТР) и пути миграции птиц**. Ключевые орнитологические территории выделяются на основании специальных критериев, разработанных координационным центром программы КОТР в соответствии с требованиями Международной ассоциации охраны птиц (Bird Life International). Первоочередное внимание в этих требованиях уделено редким, сокращающим численность или образующим крупные скопления (и, следовательно, уязвимым) видам птиц. В основе большинства критериев - четкие количественные пороги численности. Значимой для вида или популяции принято считать потерю 1% численности. КОТР выделяется также в том случае, если на данной территории концентрируется не менее 20 тыс. водоплавающих или околородных птиц. В случае видов, находящихся в критическом состоянии, для выделения КОТР международного значения бывает достаточно лишь регулярного присутствия данного вида на этой территории. Эти величины и

использовались при расчете большинства порогов численности, на которых основано выделение КОТР России. Необходимо подчеркнуть, что КОТР не всегда представляют собой только участки ненарушенной или слабо нарушенной природы. В качестве КОТР нередко выступают участки антропогенного ландшафта – рыборазводные пруды, обводненные карьеры торфоразработок, водохранилища, искусственные лесонасаждения в безлесных районах и т.п. Причем видовое разнообразие и численность птиц на таких антропогенных КОТР могут быть столь же значительны, как и в наиболее богатых природных местообитаниях.

Источники данных: данные OSM, Пространственная база данных о границах КОТР международного значения России [4], база данных Международной ассоциации охраны птиц (Bird Life International) [5].

Ограничением для реализации проектов ВЭ также является расположение **объектов исторического и культурного наследия, археологических памятников**, на территориях которых возможно сооружение лишь малогабаритных установок, не влияющих на внешний облик памятника, при условии детального обоснования положительных и отрицательных сторон проекта. Кроме того, в регионах, обладающих уникальными природными и рекреационными ресурсами, могут быть рекомендованы оценки эстетической, туристической и рекреационной ценности территории.

Отдельно следует рассмотреть ограничения по типам **землепользования**. Крупные ВЭС и солнечные электростанции (СЭС) не могут быть размещены в населенных пунктах, однако на их территориях возможно использование единичных малых установок. Что касается сооружения таких энергообъектов на землях сельскохозяйственного назначения, следует учитывать тот факт, что СЭС создают затенение и не совместимы с сельским хозяйством. Однако, турбины ВЭС занимают только 1% от всей территории используемой ветропарком, а фундамент ветроустановки находится полностью под землей. Таким образом, земли под ветропарками могут не изыматься из сельскохозяйственного использования.

В российской практике, где развитие возобновляемой энергетики происходит во многом стихийно и в условиях серьезных финансовых рисков, наибольшее значение в последнее время имеет удаленность территории от линий электропередач и дорог, т.к. подключение к ним может серьезно влиять на стоимость проектов.

Источники данных: территориальные схемы планирования, данные OSM [3].

Технические факторы

Такие факторы, как шумовой эффект от ВЭС и др. детально рассмотрены в главе 5. В региональном картографировании их учёт целесообразен при поиске доступных территорий для крупных энергообъектов и в ГИС-анализе может выражаться в определении буферной зоны вокруг границ населенных пунктов 300-350 м шириной.

В целом для установок, работающих на солнечной и ветровой энергии в России, актуальна проблема отсутствия нормативов, регламентирующих их производство, эксплуатацию и утилизацию. В РФ на сегодняшний день отсутствуют ГОСТы, которые могли бы стать источником информации о факторах, ограничивающих размещение объектов солнечной энергетики. По оценкам экспертов нехватка таких стандартов наблюдается и в тех странах, где возобновляемая энергетика развивается давно и успешно. Без регламентированной общепринятой основы процесс многокритериального анализа сложно автоматизировать и на всех этапах проведения такого анализа необходимы экспертные оценки.

Социально-экономические факторы

Одним из приоритетных вопросов в возобновляемой энергетике является определение социальных и экономических факторов, влияющих на развитие ВЭ в регионе и определяющих последствия строительства объектов на ВИЭ. К ним могут относиться такие характеристики как улучшение условий жизни населения, обеспечение надежного гарантированного доступа к электроснабжению для сельских и отдаленных районов, создание новых рабочих мест. Целесообразность установки солнечных установок для энергообеспечения медицинских и учебных центров в развивающихся странах зачастую определяется только их социальной значимостью. Важных успехов в этой области достигли отдельные страны Латинской Америки, Африки, Азии, значительно расширив мощность установок на ВИЭ в сельских районах. Такой вид электрификации приближает выработку электроэнергии к потребителям, позволяет избегать строительства протяженных ЛЭП и сокращает потери в сетях. Кроме того, развитие возобновляемой энергетики приводит к созданию новых рабочих мест и повышению уровня образования населения.

Экономическими стимулами использования ВИЭ могут послужить их ценовая конкурентоспособность с традиционными видами топлива, обеспечение независимости от импорта энергоносителей в случае

энергодифицитности региона, сохранение местных запасов органического топлива для последующего экспорта. Также возможен коммерческий эффект на локальном уровне, который возникает вследствие привлекательности объектов, использующих экологически чистые технологии, для потребителей услуг. Данный фактор особенно важен в жилищном строительстве, гостиничном бизнесе и т.п.

В России до недавнего времени социальные факторы не являлись решающими в определении стратегии развития возобновляемой энергетики в регионах. Но в последние годы была сформирована законодательная база, а также реализован целый ряд проектов распределенной генерации на возобновляемых источниках, которые безусловно имели социально-экономическое значение. В качестве одного из примеров можно привести энергообеспечение рыбацких поселков Пялица, Чаваньга, Тетрино и Чапома комплексными солнцееетро-дизельными установками в рамках региональной программы энергосбережения Мурманской области в 2014-2015 гг. Этот проект стал муниципальной инициативой, которая была поддержана и профинансирована на региональном уровне. Установки солнечной и ветровой генерации с дизель-генераторами в качестве дублирующей мощности, созданные в поселках Якутии, Алтая, Ямала и др., позволили обеспечить комфортные условия проживания людей в удаленных от единой энергосистемы населенных пунктах. Таким образом, к социальным факторам следует в первую очередь отнести наличие потребителей энергии ВИЭ, которое определяется недоступностью электроснабжения от централизованной сети, и конкурентоспособностью энергии от ВИЭ по сравнению с другими источниками.

Информационные источники: анализ социально-экономических факторов развития ВЭ в регионах России средствами ГИС затруднен отсутствием открытых детальных информационных источников. Полезная информация для оценок возможных потребителей и потребностей в энергии от ВИЭ может быть найдена в базах Росстата и региональных статистических базах, отчётах энергетических и энергосетевых компаний, Программах регионального развития и т.п.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите основные этапы в оценке и картографировании потенциала возобновляемой энергетики на региональном уровне средствами ГИС.
2. На примере одного из субъектов РФ (выбирается самостоятельно студентом или задаётся преподавателем) соберите

данные для оценки потенциалов солнечной и ветровой энергии. Представьте их в виде картографических произведений (используйте данные, предоставленные преподавателем, а также открытые источники, такие как NASAPOWER).

3. Для выбранного региона определите факторы, влияющие на возможность реализации проектов на ВИЭ, составьте таблицу ограничивающих факторов, разделив их по степени ограничения по 2 или 3 типам, а также определив их формат представления в ГИС.

4. Проведите анализ информационных источников по выбранному региону для составления базы геоданных, позволяющей оценить доступность территории для объектов ВЭ.

5. Используя данные OSM или предоставленные преподавателем данные, проведите анализ доступности территорий региона для объектов солнечной и ветровой энергетики. Определите площади доступных территорий. (преподавателем предоставляется Инструкция для выполнения задания в рамках практической работы).

6. Выполните анализ полученных данных. Каким ресурсом солнечной и ветровой энергии характеризуется территория выбранного региона? Какие ограничения присутствуют на территории для развития этих видов энергетики? Что способствует и что препятствует развитию солнечной и ветровой энергетики в регионе? (Выводы делаются на основе выполнения всех заданий учебного курса в комплексе).

Литература к разделу

1. Официальный ресурс данных по цифровым моделям рельефа SRTM <https://srtm.csi.cgiar.org/>

2. Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 27 декабря 2018 года) (редакция, действующая с 1 июля 2019 года) [Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901982862>]

3. Картографический веб-сервис «OpenStreetMap». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.openstreetmap.org/>

4. Пространственная база данных о границах КОТР международного значения России <http://www.rbcu.ru/programs/78/27222/>

5. База данных Международной ассоциации охраны птиц <http://datazone.birdlife.org>

6. Ресурсы возобновляемой энергетики: методы оценки и картографирование/ С.В. Киселева, Ю.Ю. Рафикова, Т.И. Андреевко и др. — М.: Наука, 2019. — 194 с. Книга находится в открытом доступе на сайте ГИС ВИЭР (<https://gisre.ru/useful/publishing/828-resursy-vozobnovlyаемoj-energetiki-metody-otsenki-i-kartografirovanie>) или предоставляется в электронном виде по запросу слушателя.

ГЛАВА 7

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

7.1. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО МАСШТАБА

В настоящее время за рубежом ведётся разработка геоинформационных систем (ГИС) и, в целом, активное вовлечение ГИС-технологий в область возобновляемой энергетики. Разработанные и представленные в открытом доступе геоинформационные продукты по возобновляемой энергетике по охвату территории можно разделить на локальные, региональные, национальные и глобальные.

Пионерами в области создания атласов (в том числе интерактивных) и ГИС национального масштаба закономерно являются те страны, где активное развитие возобновляемой энергетики пришлось на конец XX века, – США, Германия, Франция, Дания и другие. И безусловным лидером в создании таких ГИС-продуктов является Национальная лаборатория возобновляемой энергии Министерства энергетики США (National Renewable Energy Laboratory (NREL) USA) [1]. Состав и форма представления данных в этих ГИС отражают современные тенденции и запросы ВЭ. Большинство разработанных к настоящему времени национальных и глобальных ГИС-продуктов в области ВИЭ в той или иной степени имеют аналогичную структуру, и состав карт (электронных или традиционных).

Состав ресурсных интерактивных карт, представленных на сайте тематической ГИС NREL в разделе REAtlas, включает в себя следующие тематические разделы:

1. Солнечная энергия. На интерактивных картах показаны среднемесячные и среднегодовые суточные суммы суммарной солнечной радиации, падающей на приемную поверхность южной ориентации, наклоненную под углом, равным широте. Для фотоэлектрических систем с концентраторами и трекерами (системами слежения за Солнцем) приведены карты среднего за год прихода солнечной радиации на нормальную к солнечному лучу поверхность. Ресурсы солнечной энергии представлены в пространственной сетке 0,1 градуса по широте и долготе. Карты снабжены краткими комментариями о методах и источниках получения данных.

В качестве исходных данных для расчета часовых сумм суммарной и прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность используются часовые значения приходящей солнечной радиации, измеренные на геостационарных метеорологических спутниках, ежедневные данные о снежном

покрове и среднемесячные значения содержания водяного пара, малых газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. Там, где это возможно, для проверки спутниковых данных привлекаются действующие наземные измерительные станции. Значения часовых сумм суммарной солнечной радиации на наклонные поверхности получают из баланса прямой и рассеянной радиации в суммарной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, путем пересчета прямой радиации на угол и с учетом типа рассеяния, характерного для данной географической точки. Интерактивность карт реализуется путем вывода по клику на любую точку территории массивов данных о среднемесячных значениях суточных сумм суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность и иной информации. При этом пользователю предоставляется доступ к результатам, полученным из различных источников исходных данных (рис. 7.1).

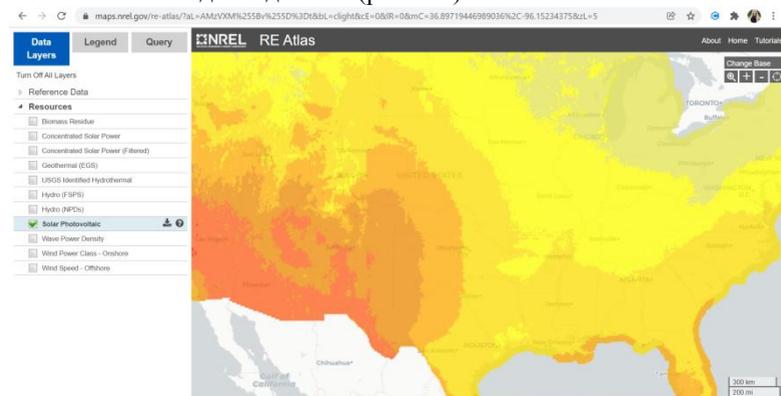


Рис. 7.1. Интерфейс страницы ГИС NREL REAtlas, раздел «Solar Photovoltaic» (Ресурсы солнечной радиации для использования в фотоэнергетике)

2. Ветровая энергия. На интерактивных картах REAtlas NREL представлены классы энергии ветра для сухопутных территорий США с низкой шероховатостью поверхности (травянистые равнины за исключением участков с уклонами более 20%, прибрежные (оффшорные) зоны). Источниками данных являются многолетние метеорологические и аэрологические измерения. Пространственное разрешение сетки составляет 1/4 градуса широты и 1/3 градуса долготы. Каждой ячейке сетки присвоен класс энергии ветра в диапазоне от 1 до 6, причем 6 – для самых высоких потенциалов энергии ветра. На основе имеющихся данных

были получены 12 региональных оценок ветровых ресурсов, которые затем обеспечили оценку ветровых ресурсов на национальном уровне. В комментариях указаны оценки общего валового потенциала энергии ветра территории страны в терминах мощности: более 8000 ГВт на высоте 50 м, причем средняя территориальная плотность валового потенциала составляет 5 МВт/км². Потенциал прибрежных акваторий оценивается в 2200 ГВт для высоты 90 м. Как и для интерактивных карт солнечной энергии, для каждой ячейки сетки по клику предоставляются данные о классе ветра из различных источников данных.

3. Энергия биомассы. Биоэнергетические ресурсы и валовый потенциал оценивались на основе статистических данных об органических отходах в предположении, что эффективность преобразования энергии биомассы в электрическую энергию составляет от 30 до 35% в зависимости от типов отходов. Интерактивные карты представлены с дифференциацией до городов и районов отдельных штатов, для которых по клику могут быть получены детальные данные об объемах образуемых отходов следующих типов: общий объем биомассы отходов, объемы отходов растениеводства, животноводства, лесного хозяйства, твердых бытовых отходов и т.д. (рис. 7.2).

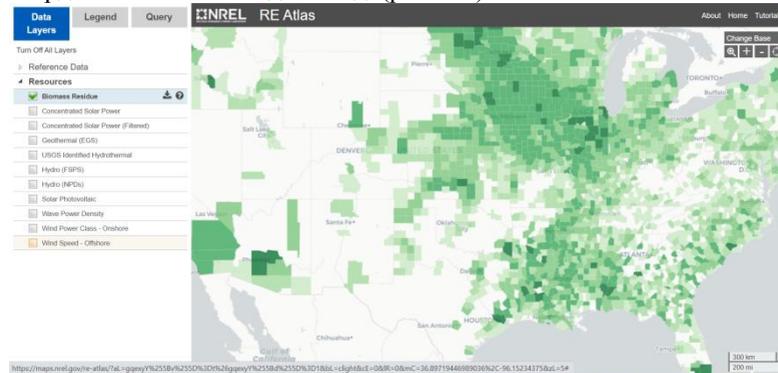


Рис. 7.2. Интерфейс страницы сайта ГИС NREL REAtlas, раздел «Biomass Residue» (ресурсы органических отходов). На вкладке указаны ресурсы различных видов органических отходов (тыс. т/год).

4. Геотермальная энергия. Представленные в этом разделе интерактивные карты отражают классы геотермальных месторождений глубокого залегания с точки зрения условий их использования для получения энергии. Основой классификации являются данные о температурах на глубинах от 3 до 10 км и

результаты химического анализа геотермальных флюидов. Рассматриваются только участки, где на глубине 10 км температура геотермального флюида выше 150°C.

5. Энергия водных потоков (гидроэнергия). На интерактивных картах сайта показан технический гидроэнергетический потенциал в виде мощности малых ГЭС при их создании на отдельных створах рек (рис. 7.3). При этом пользователю предоставлена возможность получить оценки этой мощности по различным источникам. Оценки технического гидроэнергетического потенциала приведены также для имеющихся плотин и створов рек, где мощность ГЭС (при их сооружении) составит более 1 МВт. Потенциал представлен в виде интерактивной карты с указанием названия плотины, реки, рассчитанной мощности ГЭС и производительности ее в каждый месяц года. Расчеты мощности и выработанной энергии гидроэлектростанций основаны на непрямых измерениях потока и напора, и результаты не могут быть применены для технического проектирования.

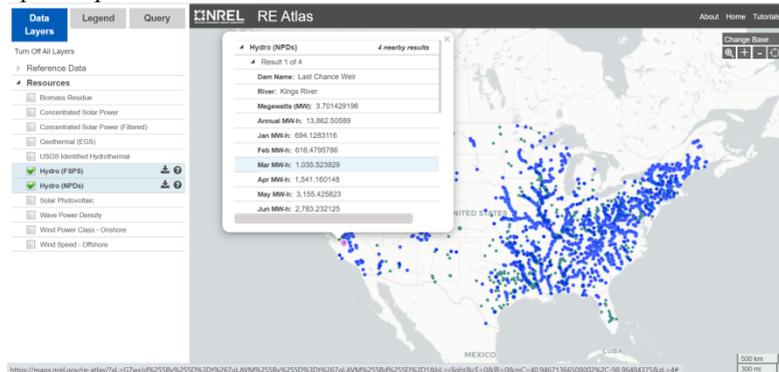


Рис. 7.3. Интерфейс страницы сайта ГИС NREL REAtlas, раздел «Hydro» (ресурсы гидроэнергии). На вкладке указаны вид гидроэлектростанции (малые ГЭС) и потенциальная мощность (кВт)

Интерактивные карты ресурсов в REAtlasNREL дополнены картами, отражающими расположение:

- нарушенных земель;
- земель федеральной собственности;
- земель, принадлежащих или занимаемых малыми народно-стями;
- границ штатов, округов и т.д.

Карты ГИС REAtlas NREL сопровождаются доступными для скачивания массивами исходных данных о ресурсах

возобновляемой энергетики, а также дополнительными программными инструментами для более детальной визуализации и анализа этих данных. В результате помимо интерактивного атласа ресурсов ВИЭ для всей территории США (REAtlas), в NREL был разработан и представлен в открытом доступе геоинформационный инструментарий, позволяющий визуализировать детальные данные по следующим направлениям возобновляемой энергетики:

- энергия биомассы (приложения «Bio Fuels Atlas», «Bio Power Atlas»);
- геотермальная энергия (приложение «Geothermal Prospector»);
- энергия океана (приложение «Marine and Hydrokinetic Atlas»);
- солнечная энергия (приложения «Federal Energy Management Program Screening Map», «National Solar Radiation Database Data Viewer», «The Open PV Project», «PVWatts», «Solar for All»);
- ветровая энергия (приложение «Wind Prospector»);
- данные о ресурсах ВИЭ для территорий зарубежных стран (приложение «Renewable Energy Data Explorer»).

Помимо характеристик ресурсов и энергетических потенциалов, ГИС NREL содержит также тематические слои по инфраструктуре возобновляемой энергетики США, а именно: установленной мощности объектов, энергетическому потенциалу прибрежных акваторий, образовательным организациям и программам в области возобновляемой энергетики, объектам на ВИЭ, установленным на школьных и университетских территориях и многое другое. Следует отметить, что карты представлены не только в национальном масштабе, но и детализированы до уровня отдельных территорий (штатов). Таким образом, национальный геоинформационный ресурс NREL является комплексным по содержанию и носит мультимасштабный характер.

Аналогичные, глобальные по охвату, но с детализацией информации по отдельным регионам, геоинформационные ресурсы в настоящее время достаточно широко представлены – как в открытом доступе, так и в виде коммерческих проектов. Целый ряд ГИС демонстрирует не только данные и карты о ресурсах ВИЭ, но и содержат простейшие калькуляторы, которые позволяют пользователю получить приблизительные оценки производительности солнечных и ветровых установок. Так, на сайте партнерства ESMAP [2] под эгидой Всемирного банка (World Bank Group) размещены в виде интерактивных ресурсов глобальный ветровой и солнечный атласы с разрешением 10x10 км. Атласы

предоставляют для любой точки мира (ячейки сетки) скорость ветра, удельную плотность энергии ветра (Вт/м^2) для высот 50, 100 и 200 м, компоненты падающей солнечной энергии на горизонтальную и наклонную поверхность, а также позволяют провести оценки производительности типового фотоэлектрического модуля / станции и ветровой установки.

В 2013 году Международным агентством по возобновляемой энергии (International Renewable Energy Agency, IRENA) был начат проект по созданию Глобального Атласа ресурсов ВИЭ [3]. Одной из главных задач проекта является создание на основе Google Maps региональных интерактивных карт ресурсных характеристик ветровой, солнечной, геотермальной, приливной энергии, энергии биомассы с учетом ограничивающих их использование факторов. При этом пространственная сетка данных достигает для некоторых регионов 100 м (по ветровой энергии). Представлены инфраструктурные характеристики территорий (наличие объектов возобновляемой энергетики, границы регионов, метеорологические станции, ведущие измерения значимых характеристик, электрические сети, электрогенерирующие станции, подстанции, особо охраняемые территории). По клику на перечень картографических слоев открываются краткие комментарии о пространственном разрешении, источниках данных и связанных ресурсах, а по клику на географическую точку, пользователь получает количественную величину ресурса для выбранной точки (рис. 7.4). В 2020-2021 годах проект разросся до отдельных глобальных атласов по каждому виду энергии. Ряд регионов представлен в GlobalAtlasIRENA с большей детализацией. Так, для региона Западной Африки дано картографическое представление прямой солнечной радиации на сетке с разрешением 2 км (осредненные за 10 лет результаты численного прогноза погоды для региона Западной Африки), скорость ветра, а также особо охраняемые территории и электрические сети.

В открытом доступе в сети Интернет представлены Глобальный солнечный атлас (*Global Solar Atlas*) и Глобальный ветровой атлас (*Global Wind Atlas*). Глобальный атлас солнечной энергии (*Global Solar Atlas*) является проектом Группы Всемирного банка, созданным для поддержки расширения использования солнечной энергии.

Данные для Атласа и методики оценки формируются компанией Solargis [4], крупнейшему поставщику информационных ресурсов, картографической и программной продукции для оценок ресурсов

солнечной энергии. В Атласе представлены как слои ГИС, так и статичные карты, показывающие ресурсный потенциал солнечной энергии на глобальном, региональном и национальном уровнях.

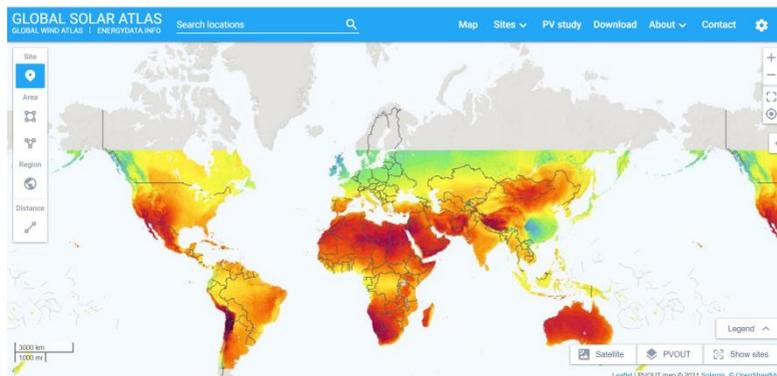


Рис. 7.4. Скрин-шотфрагмента Global Solar Atlas IRENA. Суммарная солнечная радиация ($\text{kВтч}/\text{м}^2$), охват территории – глобальный, разрешение сетки 1 км.

Для интерактивных слоёв в Атласе используются метеоданные реанализа ERA5 [5]. В качестве топографической основы в ГИС включены данные OSM (OpenStreetMap.org), Bing (Microsoft Coprogation), космические снимки компании Earthstar Geographics SIO. Интерактивная составляющая карт обеспечена использованием Java-плагинов Leaflet [6].

Атлас в интерактивном режиме предоставляет для любой географической точки следующую информацию:

- Солнечная радиация
- Температура воздуха
- Расчетная выработка энергии фотоэлектрическими модулями.

Моделирование с использованием данных о солнечной радиации и температуре воздуха приводит к созданию ряда предварительно рассчитанных слоев данных, которые можно получить в (почти) любом месте на карте. Предлагается возможность в запросе задать дополнительную информацию о типе и конфигурации фотоэлектрической системы для более точного прогноза выработки.

Для каждой точки также можно получить график годового хода Солнца относительно горизонта (рис. 7.5), который может использоваться для более точного расчета затенения солнечной

установки в конкретной точке. Согласно методике Global Solar Atlas, учитывается затенение только от крупных форм рельефа и не учитывается затенение от зданий, растительности и др.

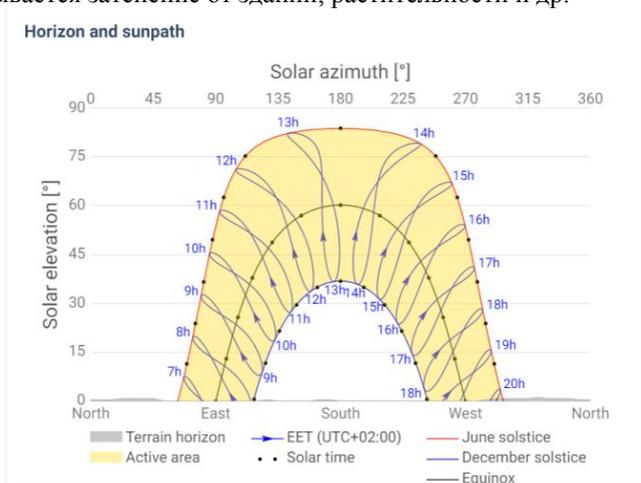


Рис. 7.5. Пример графика годового хода солнца относительно горизонта для произвольной точки, Global Solar Atlas [6].

Прогноз выработки энергии фотоэлектрическими модулями в Атласе дается для кремниевых модулей, размер, мощность, угол наклона и ориентация которых может быть задана вручную пользователем. Кроме того в пользовательский интерфейс заложены возможности автоматического моделирования для установок следующих типов: 1) малые частные (1 кВт), 2) средние коммерческие (100 кВт), 3) крупные наземные (1 МВт), 4) крупные плавучие (1 МВт).

Глобальный атлас ветровой энергии (GlobalWindAtlas[7]) также представлен в открытом доступе в сети Интернет (рис. 7.6). Помимо работы в интерактивном режиме на сайте Атлас предоставляет возможность загружать наборы данных для самостоятельной работы.

Текущая версия Глобального атласа ветров (GWA 3.1) является продуктом партнерства между Департаментом ветроэнергетики Датского технического университета (DTU Wind Energy) и Группой Всемирного банка.

В GWA 3.0 ветровые ресурсы рассчитаны с использованием лучших на настоящий момент доступных методов и исходных данных.

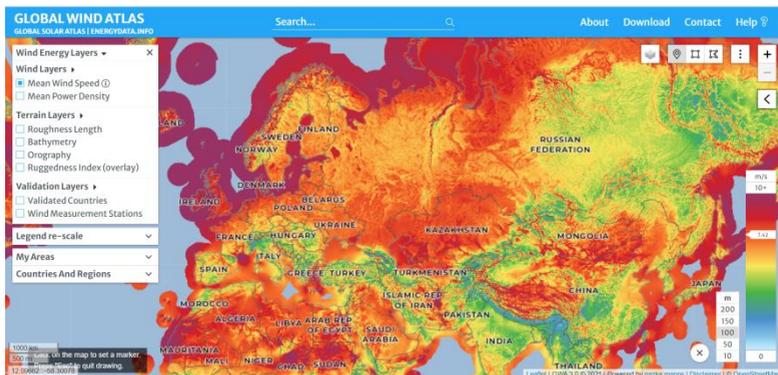


Рис. 7.6. Интерфейс Глобального атласа ветров (GWA 3.1) [7]

В дополнение к данным реанализа ERA5 по скоростям ветра, GWA 3.0 использовал улучшенные данные о рельефе и почвенном покрове. В Атлас включены данные о ветровых ресурсах на удалении до 200 км от всех береговых линий. Данные по ветровым характеристикам представлены для высот до 150 м (рис. 7.7.)

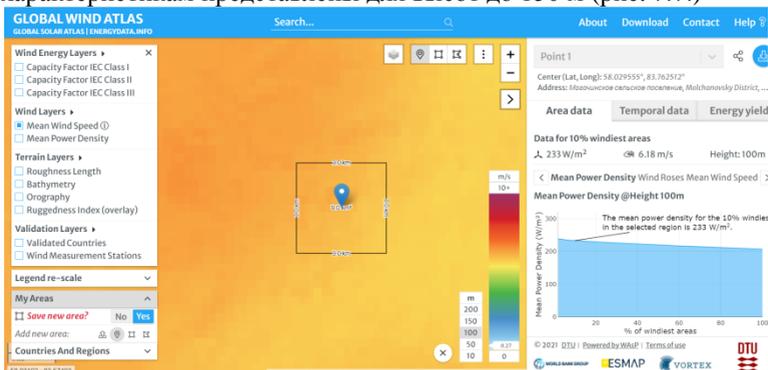


Рис. 7.7. Пример представления точечных данных в GWA 3.1. Слева - карта средних скоростей ветра на высоте 100 м, справа - график удельной мощности ветрового потока для обозначенного на карте квадрата (максимальное значение рассчитано для 10% областей квадрата с наивысшим ветропотенциалом) [7]

На момент выпуска GWA 3.0 была выполнена верификация данных по наземным метеорологическим измерениям для Пакистана, Папуа-Новой Гвинеи, Вьетнама и Замбии. На веб-сайте GWA введены дополнительные функции:

– калькулятор выработки энергии, который позволяет пользователям определять годовое производство энергии,

коэффициент мощности и часы полной нагрузки с использованием собственной кривой мощности для ветровой турбины;

– анализ динамики ветровых ресурсов: изменение средней скорости ветра по годам, месяцам и часам. Пользователи также могут комбинировать эту информацию с аналогичными временными данными, например, по солнечным ресурсам, доступным в GSA, для определения областей, в которых ветровая и солнечная энергия дополняют друг друга в зависимости от сезона или в течение обычного дня.

Помимо данных о ветровых потенциалах в GWA 3.1 представленные достаточно обширные топографические слои для всего земного шара. Эти данные можно подразделить на 3 вида:

1. Данные о **высотах** земной поверхности с разрешением 150 м представлены в слое «**Orography**» - базируются на цифровой модели рельефа (ЦМР) NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (между 60 ° с.ш. и 60 ° ю.ш.) и Viewfinder Panoramas (DEM) (к северу от 60°с.ш.).

2. **Коэффициент шероховатости** поверхности представлен в виде слоя «**Roughness length**», имеющим разрешение 300 м и предоставленном в системе координат WGS 1984 (EPSG: 4326).

7.2. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Если несколько лет назад можно было говорить отдельно о глобальных и национальных или региональных ГИС, то в настоящее время крупнейшие ГИС глобального уровня все чаще включают в себя детальные интерактивные карты для отдельных регионов с большим пространственным разрешением.

В то же время отдельные страны и регионы активно разрабатывают и поддерживают собственные национальные ГИС в области возобновляемых источников энергии. Большинство таких продуктов ориентированы в первую очередь на оценку ресурсов ВИЭ. Во многих проектах картографирование ограничивается представлением информации о действующих объектах возобновляемой энергетики и осредненных данных наземных наблюдений по характеристикам ресурсов (падающая солнечная радиация, скорость ветра, расходы в створах рек и др.). Иногда детальность отображения информации доходит до отдельных строений, что позволяет оценить технико-экономические показатели небольших (автономных или сетевых) ветровых или

солнечных энергоустановок. Такая подробность обусловлена ориентацией таких продуктов на широкое публичное использование (коммерческое и свободное). Часто эти продукты можно скорее отнести не к картографическим произведениям, а к калькуляторам, использующим геопривязанные данные о ресурсах ВИЭ.

Одним из самых ярких примеров региональных ГИС ВИЭ последних лет является “Атлас солнечных ресурсов Республики Казахстан” [8], созданный в рамках Проекта Министерства энергетики Республики Казахстан и Программы развития ООН «Оказание поддержки Правительству Республики Казахстан в реализации Концепции перехода к зеленой экономике и институционализации Программы Партнерства «Зеленый Мост». В качестве источников климатических данных в Атласе солнечных ресурсов Республики Казахстан используются базы данных NASA POWER [9], SARAH-E [10] и CLARA [11].

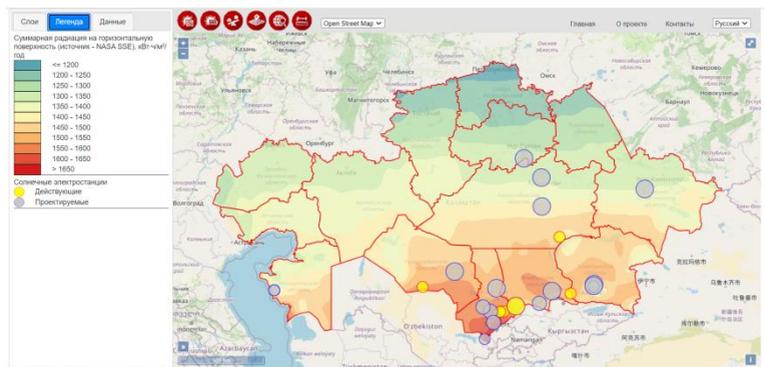


Рис. 7.8. Общий вид Атласа солнечных ресурсов Республики Казахстан - интерактивная карта распределения суммарной радиации на горизонтальную поверхность по данным NASA SSE (NASA POWER)

Проект является открытым интернет-ресурсом, в котором информация о солнечных ресурсах представлена в различных формах - интерактивные карты, таблицы и графики:

- ресурсные карты – карты многолетних среднегодовых значений показателей солнечной радиации;
- карты для оценки потенциала солнечной энергии – карты среднемесячных показателей различных видов радиации на

различно ориентированные поверхности, среднемесячные показатели геометрии Солнца (высота, азимут);

- климатические карты - карты основных метеорологических характеристик;

- карты объектов солнечной энергетики - карта с действующими и проектируемыми объектами солнечной энергетики;

- карты ограничений и предпосылок размещения объектов солнечной энергетики – карты факторов, благоприятствующих или ограничивающих размещение объектов солнечной энергетики (Особо охраняемых природных территорий республиканского значения; археологических памятников и других объектов историко-культурного наследия международного и республиканского значения; территорий лесных государственных учреждений; водоемов, водозащитных зон и полос водотоков; линий электропередач; автомобильных дорог; населенных пунктов.

- вспомогательные слои - цифровая модель рельефа (ЦМР), уклонов местности, экспозиции склонов, административно-территориальное деление, метеостанции РГП «Казгидромет».

Функционал Атласа солнечных ресурсов Казахстана включает в себя:

1. Общий функционал: выбор и визуализация картографических слоев из набора атласа, выбор базовых слоев, функция навигации по карте, масштабирование, просмотр легенды, инструмент «идентификация», инструмент измерений (расстояний, площадей), просмотр справочной информации о картографическом слое.

2. Выборка и экспорт данных по выбранной точке (таблица, график).

3. Сравнение исходных данных по нескольким выбранным точкам на карте (графики, диаграммы, таблицы)

4. Предварительное ранжирование пригодности территории для размещения объектов солнечной энергетики

5. Калькулятор для расчета выработки энергии проектируемой фотоэлектростанцией выбранного типа для выбранного местоположения

6. Калькулятор для расчета суммарного потребления электричества бытовыми электроприборами.

В последние 10 лет в России, в том числе в связи с активизацией отрасли возобновляемой энергетики, были созданы ГИС в области ВИЭ – как национального, так и регионального уровня. Одним из

первых проектов стала разработка ГИС ВИЭ России [12]. К настоящему времени ГИС содержит интерактивные карты, отражающие ресурсы и потенциалы солнечной и ветровой энергетики, которые определены на основе многолетних средних данных БД NASA POWER и приведены в пространственной сетке ($1^\circ \times 1^\circ$). В состав ГИС входят также карты объектов возобновляемой энергетики на территории РФ (рис. 7.9), базы данных и карты расположения организаций, работающих в области ВЭ, а также климатические базы данных, содержащие характеристики падающей солнечной радиации в той же пространственной сетке, что и карты.



Рис. 7.9. Скрин-шот ГИС ВИЭ РФ. Объекты солнечной электроэнергетики на территории России. Красным цветом выделены крупные сетевые объекты, строящиеся в рамках конкурсов согласно Постановлению Правительства РФ 449 от 28 мая 2013 г.

ГИС ВИЭР содержит также ряд региональных карт и баз данных, в частности, базы данных ресурсов ВИЭ Волгоградской области, карты валового энергетического потенциала отходов сельскохозяйственного производства федеральных округов РФ.

Методической и фактической основой ресурсных карт ГИС ВИЭР стали работы по созданию «Атласа ресурсов солнечной энергии на территории России» (2010 г.) [13] и «Атласа ресурсов возобновляемой энергии на территории России» (2015 г.) [14].

Состав карт последнего Атласа приведен в таблице 7.1. Методики и анализ распределения природных ресурсов и энергетических потенциалов возобновляемых источников энергии на территории РФ также представлены в разделах ГИС ВИЭР. В картографическом виде представлены как исходные характеристики ресурсов (скорость ветра на различных высотах, падающая солнечная энергия на различным образом ориентированные поверхности и т.д.) в пространственной сетке ($1^\circ \times 1^\circ$), так и энергетические потенциалы. Валовые и технические энергетические потенциалы ВИЭ приведены с детализацией до субъектов РФ. При этом ряд крупных субъектов Сибири и Дальнего Востока были разделены на регионы в связи со значительной площадью этих субъектов и существенным различием метеорологических (включая актинометрические) условий в пределах территории.

ТАБЛИЦА 7.1.
СОДЕРЖАНИЕ АТЛАСА РЕСУРСОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ
ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

№ карты	Наименование
1. Солнечная энергия	
1.1.-1.17	Суммарная солнечная радиация (различным образом ориентированные поверхности; средние за год, теплые полгода, лето)
1.18.-1.21	Прямая солнечная радиация (следающая за солнцем поверхность; год, теплые/холодные полгода, лето)
2. Ветровая энергия	
2.1-2.5	Среднегодовая скорость ветра (Н = 10, 30, 50, 100, 120 м)
2.6-2.9	Среднегодовая плотность энергии ветрового потока (Н = 30, 50, 100, 120 м)
2.10-2.13	Годовой удельный валовый потенциал энергии ветра (Н = 30, 50, 100, 120 м)
2.14-2.17	Годовой удельный технический потенциал энергии ветра (Н = 30, 50, 100, 120 м)
2.18-2.21	Общая продолжительность энергетических затиший в течение года (Н = 30, 50, 100, 120 м)
2.22-2.29	Годовой валовый/технический потенциал энергии ветра субъекта (Н = 30, 50, 100, 120 м)

3. Энергия органических отходов (биоэнергия)	
3.1-3.5	Валовый энергетический потенциал отходов растениеводства/ животноводства /ТБО / ОСВ/ ЛПК
3.6-3.15	Технический энергетический потенциал отходов растениеводства/ животноводства /ТБО / ОСВ/ ЛПК (производство электрической/тепловой энергии)
4. Энергия малых водных потоков	
4.1, 4.3	Энергия малых рек, валовый/технический потенциал
4.2, 4.4	Удельная плотность энергии малых рек (удельный валовый/технический потенциал)
5. Ресурсы торфа	
5.1	Балансовые запасы торфа по субъектам РФ
5.2	Балансовые запасы торфа по субъектам РФ
5.3-5.4	Прогнозные ресурсы по субъектам РФ, месторождения более 10 га /до 10 га
5.6	Валовый потенциал торфа по субъектам РФ
5.7-5.8	Валовый потенциал производства тепла/электроэнергии по субъектам РФ (торф)
5.9	Запас торфа на месторождениях с запасами более 1 млн. т (при содержании влаги 40%) по субъектам РФ
5.10	Запасы месторождений торфа при 40% влажности
5.11	Технический потенциал торфа по субъектам РФ
5.12-5.13	Технический потенциал производства тепла/ электроэнергии по субъектам РФ (торф)

В последние годы все больше ГИС помимо ресурсной составляющей дополняются данными о природных, экологических, инфраструктурных и экономических характеристиках территории, которые зачастую являются решающими факторами при принятии решений о строительстве генерирующих объектов на ВИЭ.

Так в Государственном объединении научных и прикладных исследований Австралии (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO) создан программный продукт WindScape, позволяющий создавать карты ветрового валового потенциала регионального масштаба на основе наземных и спутниковых измерений средних скоростей ветра. В качестве фактора, который следует учитывать при размещении ветростанций (ВЭС) предложено учитывать растительный покров (в частности, лесные территории) и особо охраняемые природные территории, на которых строительство запрещено на законодательном уровне. Растительный покров отображается на картах в качестве маски.

В ряде исследований и ГИС-проектов особое внимание уделяется учету критериев устойчивого развития территорий. Так в США разработано геоинформационное обеспечение для проекта EPA's RE-Powering America's Land Initiative (Потенциал чистой и возобновляемой энергии на загрязненных территориях). Здесь в картографическом виде реализована идея использования для размещения ветростанций, солнечных электростанций и биоэнергетических объектов территории, оставшиеся после разработки полезных ископаемых, а также иные площадки, образовавшиеся в результате промышленной и сельскохозяйственной деятельности человека и неблагоприятные с экологической точки зрения. Факторами, обеспечивающими привлекательность таких территорий для целей ВЭ, являются: наличие линий электропередач, инфраструктуры, дорожной сети, что может существенно упростить и удешевить строительство. Таким образом, предлагается новый, экономически привлекательный способ использования нарушенных земель, обычно малоперспективных ввиду больших затрат на их очистку и рекультивацию.

К настоящему времени проанализированы 130 000 площадок на территории 17 штатов с последующим расширением и обновлением данных (рис 7.10).

Следует отметить, что ГИС-проекты в области возобновляемых источников энергии с глобальным охватом обычно имеют более узкую специализацию по сравнению с национальными и региональными, что обосновано нелегко решаемыми задачами поиска и обработки детальной информации и трудностями учета национальной специфики использования ВИЭ на глобальном уровне. Геоинформационные системы и проекты (в том числе веб-ГИС) национального и регионального масштаба имеют более широкий спектр отображаемых характеристик ВИЭ, с одной стороны. С

другой, на национальном и региональном уровне разрабатываются различные узкоспециализированные ГИС и Атласы. В качестве типичного примера можно привести ThermoGIS – общедоступную веб-ГИС, основной целью которой является оказание информационной (в том числе, картографической) поддержки компаниям и правительству Нидерландов в развитии геотермальной энергетики [15]. ThermoGIS предоставляет помимо карт характеристик геотермальных месторождений, карты глубины, толщины, пористости и проницаемости многих потенциальных водоносных горизонтов в Нидерландах. ГИС снабжена on-line калькулятором, с помощью которого в окне просмотра карт при введении ключевых технических характеристик можно выполнить расчет производительности тепловой/электрической энергии геотермальной установкой или определить наиболее оптимальное местоположение для размещения станции. ГИС ежегодно обновляется, дополняется результатами бурения новых скважин. Поскольку информационной основой карт являются геологические данные регионального масштаба и их интерполяции, применимость картографического материала и получаемых с помощью встроенного калькулятора оценок является ограниченной.

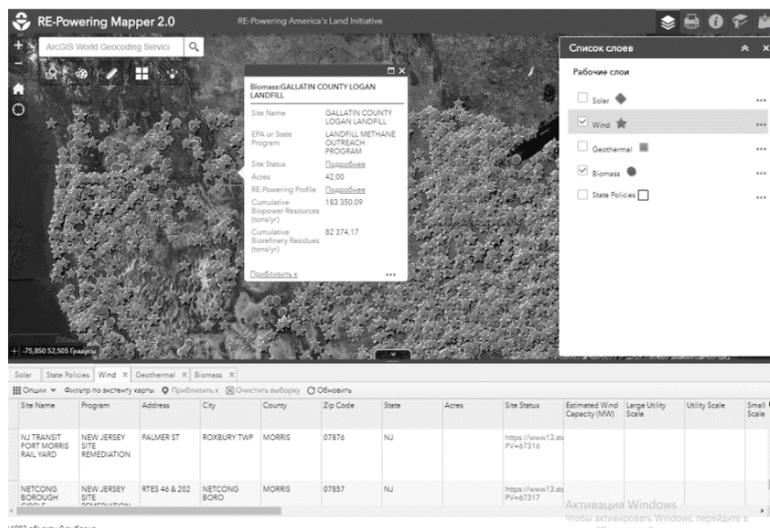


Рис. 7.10. Скрин-шот фрагмента онлайн-веб-приложения проекта EPA. Интерактивная карта и база данных, отражающие варианты использования загрязненных земель, свалок и шахт на территории США для размещения ветровых и биоэнергетических станций (август 2018 г.)

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите наиболее крупные по номенклатуре и территориальному охвату ГИС в области возобновляемой энергетики. Какие характеристики солнечной/ветровой/малой гидро-/геотермальной/биоэнергетики (по выбору) представлены в этих ГИС?

2. Какие основные функции и возможности характерны для современных ГИС по ВИЭ?

3. Какие возможности для определения региональных перспектив развития ВИЭ представлены в Глобальном ветровом и солнечном атласах IRENA? На каких метеоданных основаны данные ГИС? Позволяют ли они выполнять оценки для регионов России? В чём плюсы и минусы использования этих Атласов (по вашему мнению)?

4. Какие факторы, ограничивающие возможность строительства объектов солнечной энергетики учтены в Атласе солнечной энергии Казахстана?

5. Приведите примеры узкоспециализированных ГИС по ВЭ, опишите их особенности (оптимально использовать примеры не только данного пособия, но и найденные в открытых источниках и литературе).

Литература по разделу

1. Официальный сайт Национальной лаборатории возобновляемой энергии США. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nrel.gov/gis/about.html>

2. Официальный сайт партнерства ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.esmap.org/node/70853>

3. Официальный сайт Международного агентства по возобновляемой энергетике IRENA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://globalatlas.irena.org>

4. Официальный сайт компании SolarGIS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://solargis.com>

5. База метеоданных реанализа ERA 5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu>

6. Глобальный атлас солнечной энергии IRENA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://globalsolaratlas.info/>

7. Глобальный атлас ветровой энергии IRENA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://globalwindatlas.info/>

8. Атлас солнечных ресурсов Республики Казахстан. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://atlassolar.kz/>
9. База данных NASA POWER. [Электронный ресурс]. –Режим доступа:<https://power.larc.nasa.gov/>
10. База данных SARAH-E. [Электронный ресурс]. –Режим доступа:<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/surface-solar-radiation-data-set-heliosat-sarah-edition-1>
11. База данных CLARA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/clara-a1-cloud-properties-surface-albedo-and-surface-radiation-products-based-avhr>
12. Геоинформационная системы «Возобновляемые источники энергии России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gisre.ru/>
13. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России / О. С. Попель, С. Е. Фрид, Ю. Г. Коломиец и др. — Изд-во МФТИ Москва, 2010. — 83 с. Доступен по запросу в НИЛ ВИЭ.
14. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание/ Т.И. Андреевко, Т.С. Габдрахманова, О.В. Данилова и др. — РХТУ им. Д.И.Менделеева Москва, 2015. – 160 с. Доступен по запросу в НИЛ ВИЭ.
15. ThermoGIS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.thermogis.nl/en>

ГЛАВА 8

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БИОЭНЕРГЕТИКИ

8.1. МИКРОВОДОРОСЛИ КАК НЕТРАДИЦИОННЫЙ ВИД БИОМАССЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Преимущества микроводорослей как источников биомассы

В настоящее время большое внимание производителей биотоплива привлекает биоэнергетический потенциал водорослей. Водоросли – это постоянно возобновляемый ресурс, а также источник пищевых и кормовых белков и других ценных соединений, таких как углеводы, липиды, витамины, минералы и микроэлементы. Актуальной задачей стал поиск новых видов биомассы, новых технологий её переработки и, особенно, технологий комплексного использования. Биотехнологии энергетического применения микроводорослей (МКВ) являются одними из самых перспективных направлений. Однако экономически эффективное промышленное выращивание МКВ остается актуальной проблемой.

Интерес к выращиванию МКВ и их использованию имеет давнюю историю. Возникновение интереса к МКВ как сырью для производства биотоплива связано с энергетическим кризисом 70-х годов XX века, хотя ещё в 50-е годы была показана принципиальная возможность выращивания МКВ в массовой культуре в производственных масштабах. Крупные промышленные установки в эти годы были созданы в Германии, Японии, Чехословакии, СССР, Польше, Болгарии, Франции, Мексике и ряде других стран. Несмотря на высокую научную результативность исследований, в 80-е – начале 90-х гг. стало очевидно, что применение микроводорослевых систем как источника биомассы для энергетических целей является малоэффективным в силу дороговизны по сравнению с ископаемыми видами топлива. Поэтому в тот период в области водорослевых технологий безусловное лидерство получили исследования, связанные с неэнергетическими приложениями.

Однако ситуация изменилась в конце 1990-х гг. в связи с востребованностью жидких моторных биотоплив, развитием биотехнологий, поисками новых сырьевых ресурсов для биоэнергетики и т.д. В настоящее время можно говорить об очередной серьезной смене приоритетов в использовании МКВ: в последние два десятилетия значительно вырос объём научных исследований и количество осуществляемых проектов в области

водорослевой биоэнергетики. Именно МКВ привлекают огромное внимание производителей биотоплива, инвестирующих значительные средства в исследовательские программы.

Такой интерес к водорослям – и особенно к микроводорослям (рис. 8.1) – определяется тем, что их биомасса имеет ряд привлекательных свойств и удовлетворяет большинству требований, предъявляемых к растительному энергетическому сырью, а именно:

- водоросли являются фотоавтотрофами: для их роста и развития нужен солнечный свет, CO_2 и вода с относительно небольшим количеством минеральных солей;

- продуктивность МКВ по биомассе и маслу на порядки превышает продуктивность наземных, в том числе масличных растений;

- для выращивания МКВ не нужны пахотные земли, плантации можно размещать на поверхности водоёмов или на непригодных для земледелия почвах (засолённых, пустынных и др.), причём для МКВ нужны значительно меньшие площади;

- водоросли требуют намного меньше воды, чем традиционные зерновые культуры, их можно выращивать и в солёной воде, и на сточных водах, ослабляя давление на ресурсы чистой воды;

- при существующих в мире технологиях становится возможным крупномасштабное выращивание биомассы МКВ круглогодично не только в условиях тропического и субтропического климата, но и в умеренных климатических условиях, даже при отрицательных зимних температурах;

- биоразнообразие МКВ (известно более 40 000 видов, из которых лишь несколько процентов находится в коллекциях живых культур, и только у нескольких сотен штаммов определён биохимический состав, продукционные и иные характеристики) даёт практически неисчерпаемый источник для селекционной работы, генных исследований и обеспечивает возможность получения высокоэнергетических культур;

- микроводоросли не являются традиционным пищевым и кормовым сырьём. В связи с последним обстоятельством следует заметить, что МКВ в полной мере способствуют преодолению обозначившегося в 2005–2008 гг. конфликта в природопользовании, связанного с широким использованием зерновых и масличных культур (пшеницы, кукурузы, рапса, сои, масличных пальм) для производства биоэтанола и биодизеля (так называемое биотопливо первого поколения). В терминологическом плане это привело к

выделению биотоплива третьего поколения (топливо, производимое из специально выращиваемых для энергетических целей МКВ) и биотоплива четвертого поколения (из генетически модифицированных МКВ – продуцентов углеводородов, конвертирующих CO_2 непосредственно в топливо). В последнее время выделяют еще биотопливо пятого поколения на основе электробиосинтеза с применением особых электротрофных микроорганизмов, способных использовать электрический ток для конверсии углекислого газа из воздуха или морской воды в органические молекулы. Комбинация таких микроорганизмов с любым источником энергии: атомными и тепловыми электростанциями, возобновляемыми источниками энергии, а также с полупроводниковыми батареями позволяет добиться эффективности преобразования солнечного света, на порядок превосходящей эффективность фотосинтеза (10% и 1% соответственно). Технология электробиосинтеза может использоваться в условиях, где эффективное протекание процесса фотосинтеза невозможно из-за неблагоприятного климата (например, в Арктике) или отсутствия площадей для выращивания фотосинтезирующих МКВ (удаленные и труднодоступные районы, космос и т.д.). Данная технология находится на начальном этапе развития, тем не менее биотопливная индустрия уже стала заметным явлением в экономике [1, 2].

Изъятие культивируемой биомассы МКВ для нужд энергетики не нарушает естественную консервацию органического вещества в биосфере; при этом плантации МКВ служат эффективным краткосрочным стоком антропогенного CO_2 , конвертируя его в энергию высокой плотности. Этот фактор позволяет учесть секвестрацию CO_2 при оценке энергоэффективности производства биотоплива из МКВ, поэтому водородослей технологии рассматриваются среди существующих стратегий долгосрочного улавливания и хранения CO_2 (англ. carbon capture and storage, CCS), таких как:

1) захоронение общей биомассы водородослей в глубоких геологических образованиях;

2) захоронение богатых углеродом фракций, извлеченных из биомассы водородослей;

3) конверсия МКВ технологиями пиролиза и гидротермального сжижения (HTL), в результате которых углерод биомассы превращается в бионефть, синтез-газ, а также в биоуголь/биочар, состоящий на 90% из углерода, с возможностью последующего захоронения этого геологически стабильного биоугля [3].

Возможным способом снижения стоимости биотоплива на основе МКВ является производство ценных сопутствующих продуктов для химической, фармацевтической, медицинской, пищевой и кормовой промышленности (нугрицевтики, каротиноиды, бета-каротин, астаксантин, фикоцианин, хлорофилл, глицерин и пр.) обеспечивающих высокую добавленную стоимость. Кроме того, использование отходов других производств и особенно сточных вод при выращивании МКВ также может снизить стоимость производства биотоплива. Производство МКВ может быть оптимизировано для сокращения затрат, поскольку водоросли могут использовать различные источники питания: газообразные выбросы электростанций, промышленных предприятий, сточные воды и другие отходы [4].

Для применения микроводорослей в целях энергетики необходим скрининг штаммов-продуцентов масла и разработка технологии их крупномасштабного культивирования. Такие работы активно проводились с 80-х годов прошлого столетия. Самыми значимыми из них были программа Aquatic Species Program лаборатории возобновляемой энергетики США (the U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL)) с инвестициями в 25 млн.\$ [5] и проект Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE, Япония, 117 млн. \$) [6]. Однако экономическая рентабельность при производстве биотоплива с использованием фотосинтезирующих микроорганизмов в этих программах не была достигнута. Тем не менее, в 1997-2001 гг. на Гавайях осуществлено успешное крупномасштабное культивирование зеленой микроводоросли *Haematococcus pluvialis* [7], а полученный из липидов этой МКВ биодизель по стоимости на тот период времени приближался к стоимости дизеля, полученного из ископаемой нефти

Водоросли – это нетаксономическая сборная группа. К ним относят организмы, которые:

- в большинстве своем обитают в воде,
- питаются фотоавтотрофно (хотя встречаются гетеро- и хемотрофные формы),
- вегетативное тело их представлено талломом (слоевищем), т.е. вегетативное тело не дифференцировано на отдельные органы,
- среди них есть микроскопические и макроскопические организмы, одноклеточные и многоклеточные, одиночные или колониальные (рис. 8.1).

В современной альгологии пока нет общепринятой таксономической системы, а многие существующие системы

отдельных групп меняются, порой кардинально, что связано, прежде всего, с применением новых методов и подходов для ее построения (цитологических, биохимических, молекулярно-генетических).

Способы культивирования микроводорослей

В многолетней практике выращивания водорослей используются два способа культивирования: в фотобиореакторах (закрытый способ) и в открытых культиваторах (рис. 8.2 – 8.6). Фотобиореакторы обеспечивают контролируемые условия выращивания, но являются дорогостоящим, в среднем на один – два порядка дороже открытых культиваторов. При значительно более дешевом открытом культивировании возникает проблема неконтролируемости процесса, и, что существенно, заражения другими микроорганизмами. В результате в мировой практике только три вида водорослей (хлорелла, спирулина и дуналиелла) в настоящее время выращиваются в широких масштабах открытым способом. Это обеспечивается селективными условиями их роста (спирулина растет при pH среды > 8,5-10, а дуналиелла – на средах с минерализацией > 116‰). Для основной массы микроводорослей-продуцентов масла более перспективными являются закрытые фотобиореакторы с контролируемыми параметрами и стерильными условиями, однако получаемый при этом биодизель дороже минерального.

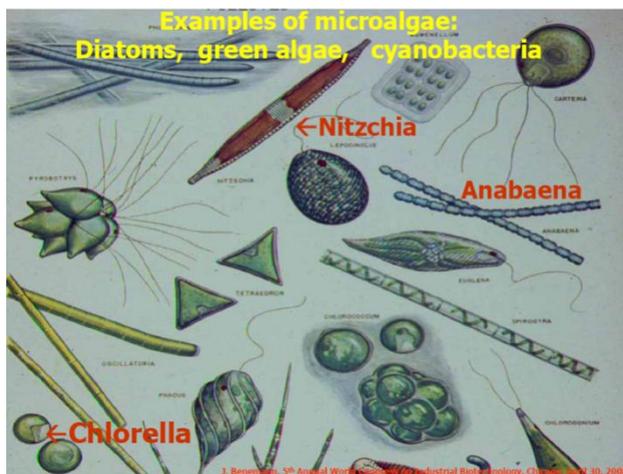


Рис. 8.1. Примеры микроводорослей (диатомеи, зеленые водоросли, цианобактерии/сине-зеленые водоросли).



Рис. 8.2. Крупномасштабные системы открытого культивирования: слева выращивание артроспир/спирулины в США (Калифорния); справа выращивание водорослей в Израиле (купол как защита от пыльных бурь).



Рис. 8.3. Культивирование микроводорослей артроспир/спирулины в открытых культиваторах в тепличных комплексах Подмосквья (экспериментальные работы НИЛ ВИЭ географического факультета МГУ)

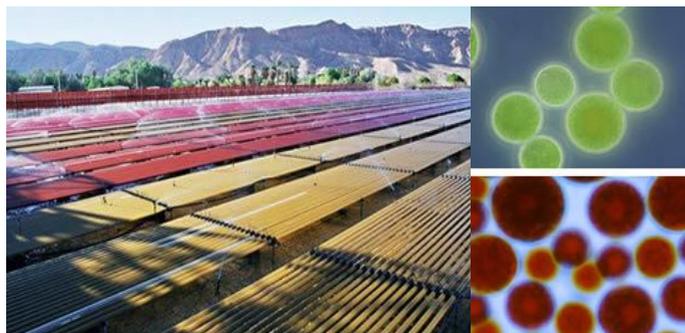


Рис. 8.4. Культивирование микроводоросли *Haematococcus pluvialis* фирмы

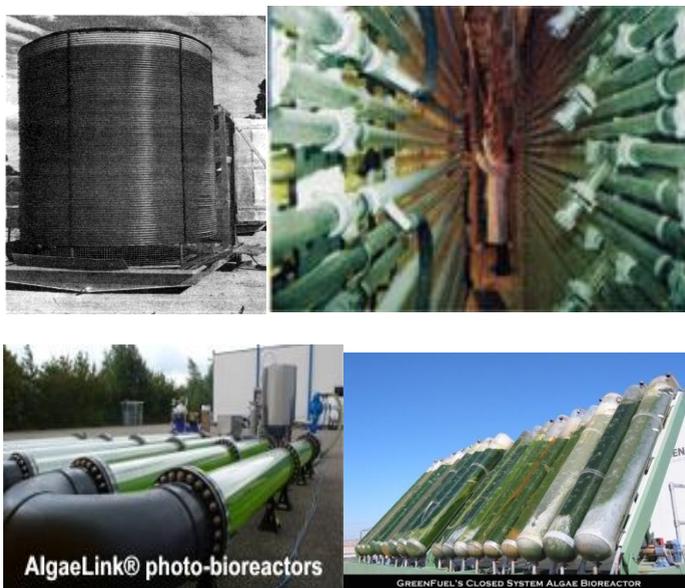


Рис. 8.5. Трубчатые закрытые фотокультиваторы для выращивания микроводорослей



Polyethylene bags and Annular Columns. Top left: Polyethylene bags at Necton, SA – Algarve, Portugal; Top right: Annular Columns at Department of Agricultural Biotechnology of the University of Florence, Italy; Bottom: Inflatable bags with multiple vertical panes (Proviron, Belgium).

Рис. 8.6. Одноразовые закрытые фотокультиваторы- мешки из полиэтилена Algatechnologie в пустыне Неgev, Израиль; слева- трубчатые фотокультиваторы; справа сверху – посевная культура (зеленая), справа внизу – культура в стадии накопления масла (липидов) и астаксантина (антиоксидант).

Если провести сравнение урожайности масличных культур (рапса) и микроводорослей (например, *Haematococcus pluvialis*) как сырья для биодизеля, то можно видеть принципиальную возможность замены наземных растений микроводорослями для получения биотоплива (Таблица 8.1). По современным оценкам общая площадь земель в мире, потенциально пригодных для производства сельскохозяйственных культур, – 2,6 Гга или около 19,5% площади земли. К 2050 г. примерно половина (1,31 Гга), по-видимому, будет использоваться для пищевых целей. Оставшиеся 1,28 Гга (9,6%) могут быть потенциально использованы для выращивания энергетических культур. Из данных таблицы 8.1 следует, что для производства маслосемян рапса, эквивалентного $300 \cdot 10^{18}$ Дж/год, потребуется примерно в 5 раз больше площадей пахотных земель, чем остается для энергетических культур (1,28 Гга), тогда как для топлива из биомассы микроводорослей – 0,3 Гга или 23% этих земель.

ТАБЛИЦА 8.1
СРАВНЕНИЕ РАПСА И МИКРОВОДОРОСЛИ
HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS КАК ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ [8]

Культура	Продуктивность биомассы, т/га/год	Энергосодержание общее, ГДж/га/год	Продуктивность по маслу, т/га/год	Энергосодержание по маслу, ГДж/га/год	Площадь, необходимая для производства $300 \cdot 10^{18}$ Дж/год энергии, Гга
Рапс (Германия)	3,1	77,9	1,2	44,7	6,7
Рапс (Финляндия)	1,6	24	0,65	25,4	11,8
Рапс (Россия) ¹⁰	2,5	61	0,75	29,3	10,2
Рапс (Россия) ¹¹	1,0	7,1	0,3	11,7	25,6
<i>Haematococcus pluvialis</i> (в среднем)	38,2	763	13,8	422	0,71
<i>Haematococcus pluvialis</i> (максимально)	91,8	1836	33,2	1014	0,3

¹⁰ Оптимистичный сценарий

¹¹ Реалистический сценарий

Экономические оценки показали, что стоимость биодизеля, произведенного из микроводоросли, может быть близка к текущим ценам на минеральный дизель.

Сопутствующие продукты производства микроводорослей

Рассмотрим другие аспекты использования биомассы микроводорослей. При соответствии качества выращенной биомассы гигиеническим требованиям и санитарным нормам – помимо энергетического использования – перспективным является применение ее в качестве биологически активных кормовых и пищевых добавок как с профилактической, так и с лечебной целью. Так, например, биомасса спирулины – активностью благодаря присутствию в ней жирорастворимых (А, Е) и водорастворимых (С, РР, В₂ и т.п.) витаминов, β-каротина и других каротиноидов, а также витаминоподобных соединений (биофлавоноиды, убихиноны, глутанион-SH и его предшественники – серосодержащие аминокислоты), микроэлементов (селен и цинк). Липиды спирулины представлены в большинстве полиненасыщенными жирными кислотами (ПЖК), такими как линолевая, γ-линоленовая, арахидоновая и эйкозопентаеновая, которые объединены в группу эссенциальных или эйкозопалиеновых кислот. Известно наличие антиоксидантных свойств у полиненасыщенных жирных кислот, поэтому спирулина, обладающая рядом положительных воздействий на процессы перекисидации липидов, может быть использована в оздоровлении населения как с целью повышения адаптационных возможностей организма, так и для коррекции уже возникающих вегетососудистых нарушений. ПЖК являются предшественниками простогландинов, основных гормонов, регулирующих в организме обмен веществ, в частности, кровяное давление и синтез холестерина, что дает возможность применения спирулины в качестве профилактического средства для лиц, страдающих коронарными болезнями, атеросклерозом и избыточной полнотой. ПЖК ингибируют процесс канцерогенеза, оказывают положительное влияние на структурно-функциональное состояние клеточных мембран при хронической почечной недостаточности, оказывают гепатопротекторный эффект. Научный и практический интерес представляют данные о радиопротекторном действии биомассы спирулины [9].

Так, показано, что этанольный экстракт спирулины действует как ДНК-стабилизирующий фактор, предотвращающий мутации и стимулирующий восстановление клеток костного мозга, испытавших воздействие γ -излучения. Противораковое действие спирулины связывают также с большим содержанием в ее биомассе β -каротина (1 700 мг/кг) и синего пигмента фикоцианина (до 20% сухого веса)

8.2. ПОЛУЧЕНИЕ БИОНЕФТИ ИЗ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЯМИ ПИРОЛИЗА И ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СЖИЖЕНИЯ

На рисунке 8.7 представлены *технологии переработки МКВ в широкую линейку транспортных биотоплив*: это биодизель, биокеросин, биоэтанол, биобутанол, бионефть/биомасло, биометан, биоводород и др.) [10]. В верхней части рисунка указаны продукты биосинтеза микроводорослей. Это различные углеводы, триацилглицериды в составе липидов и углеводороды, из которых соответствующими технологиями производятся биотоплива. Сбоку к стрелкам на схеме привязаны соответствующие технологии переработки продуктов биосинтеза: так из триацилглицеридов технологией переэтерификации получают биодизель, а гидрооблагораживанием водородом – возобновляемый дизель; аэробной ферментацией (спиртовое брожение) углеводов – биоэтанол, анаэробной ферментацией (ацетобутиловое брожение) углеводов – биобутанол; гидрокрекингом углеводородов, по аналогии с нефтепереработкой, получают фракции биокеросина, биобензина, биодизеля и биомазута. В качестве примера МКВ – продуцента углеводородов можно привести зеленые колониальные микроводоросли *Botryococcus braunii*. В данном случае указанные продукты биосинтеза микроводорослей являются сырьем для получения биотоплив. Но известны такие микроводоросли, которые в процессе своего роста способны сразу синтезировать биотопливо, например, биоводород образуют на свету МКВ *Chlamydomonas reinhardtii*.

В нижней части рисунка 8.7 после блока биомасса показаны пути утилизации остатков биомассы МКВ после экстракции/извлечения из нее целевых продуктов биосинтеза, описанных выше. В остатках мы имеем не менее половины биомассы МКВ, которую можно переработать без предварительного высушивания

технологией гидротермального сжижения или после сушки технологией пиролиза в бионефть, или же утилизировать технологией анаэробной ферментации/ метанового сбраживания в метантенках до образования метана, углекислого газа и шлама – ценного органоминерального удобрения.



Рис. 8.7. Современные технологии переработки микроводорослей в различные виды биотоплива

Одним из узких технологических мест конверсии биомассы МКВ в биотопливо является ее высокая влажность, требующая значительной затраты энергии на осушку. Кроме того, в случае производства биодизеля конвертируется только липидная часть биомассы, в то время как большая часть биомассы, включая белки и углеводы, не участвует в производстве биотоплива. Однако в последние годы появилась перспективная технология – гидротермальное сжижение (HTL) МКВ, не требующая сушки биомассы.

Из представленных на рисунке 8.7 технологий трансформации биомассы микроводорослей в моторные топлива рассмотрим технологии пиролиза и гидротермального сжижения, которые не были описаны ранее в главе 3.

Пиролиз – это технология термической конверсии биомассы без участия кислорода при атмосферном давлении и умеренных температурах (300–600°C) с получением твердых, жидких и

газообразных горючих продуктов. Содержание каждого из компонентов в составе продуктов пиролиза может изменяться путем регулирования рабочих параметров процесса пиролиза. При пиролизе МКВ обычно температурный режим поддерживается между 400°C и 600°C, но в некоторых случаях температура может достигать и 800°C. Наиболее интересен режим пиролиза МКВ, направленный на получение газов с высоким содержанием водорода и метана и высокой теплотворной способностью. Максимальная температура получения пиролизных газов в некоторых случаях достигает 900°C. Клетки МКВ малы по размеру, поэтому не требуют дополнительного измельчения, как другие виды биомассы. Однако для эффективного пиролиза биомасса микроводорослей должна содержать минимальное количество влаги, что значительно повышает стоимость реализации технологии.

Гидротермальное сжижение (НТЛ) представляет собой способ термохимической конверсии влажных микроводорослей, при котором производят жидкий энергоноситель, называемый «био-масло» или «biocrude», а также газообразные, водосодержащие (aquaphase) и твердые побочные продукты (биоуголь или biochar). Одним из основных преимуществ технологии гидротермального сжижения является отсутствие стадии предварительной сушки исходного сырья. Микроводоросли могут подаваться в реактор гидротермального сжижения во влажном состоянии, например, в виде водной суспензии. Другое преимущество – то, что в процессе гидротермального сжижения вклад в выход бионефти вносят не только липиды, но также углеводы и белки, что повышает суммарный выход продукта. Гидротермальное сжижение проводится при более низких температурах – 270-330°C

В результате процесса пиролиза биомассы МКВ получаются 3 продукта: пиролизная жидкость (бионефть), неконденсируемые пиролизные газы и биоуголь (рис. 8.8). Летучие продукты образуются в процессе пиролиза вследствие первичного разложения биомассы микроводорослей и вторичного расщепления паров. Пары (конденсируемые газы), состоящие из более тяжелых молекул, при охлаждении конденсируются и образуют бионефть. Газы, содержащие молекулы с более низким молекулярным весом, такие как диоксид и монооксид углерода, водород и метан, не конденсируются во время охлаждения.

В результате экспериментального применения технологий НТЛ из МКВ можно получать следующие продукты (Табл. 8.2; Рис. 8.9).



Рис. 8.8. Биомасса микроводорослей (слева) и биоуголь (справа) после пиролиза.

ТАБЛИЦА 8.2
СОДЕРЖАНИЕ ПРОДУКТОВ КОНВЕРСИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ
СЖИЖЕНИЕМ БИОМАССЫ МКВ В КОНЕЧНОМ ПРОДУКТЕ ПРИ
270°C, 300°C И 330°C [11]

НТЛ-продукты	Температура, °C		
	270°C	300°C	330°C
Бионефть, %	34,6	38,8	45,7
Синтез-газ, %	12,7	14,8	17,5
Биоуголь, %	28,7	27,4	26,0
Водная фаза, %	24,0	19,0	10,8

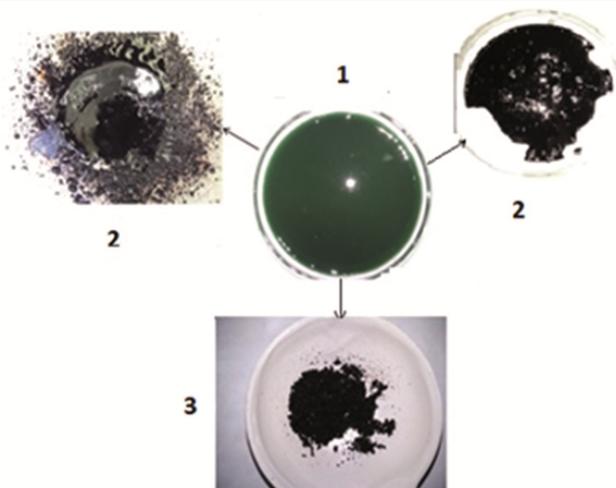


Рис. 8.9. Продукты конверсии биомассы микроводорослей технологией НТЛ. 1 – биомасса МКВ, 2 – бионефть, 3 – биоуголь

Сравнительная оценка технологий пиролиза и гидротермального сжижения для получения энергетических продуктов из выращенной биомассы микроводорослей показала, что выход бионефти, полученной технологией HTL (38,8-45,7%), что существенно выше, чем при технологии пиролиза (21,9%). При этом, выход биоугля при использовании обеих технологий был на высоком уровне – около 27%. Биоуголь, состоящий на 90% из углерода и являющийся геологически устойчивой его формой, можно рассматривать как еще одну альтернативную стратегию поглощения и последующего захоронения углерода.

Несмотря на многочисленные успехи, достигнутые в течение последних десятилетий, коммерциализация производства водорослей остается сложной задачей из-за высокой неконкурентной цены на произведенное биотопливо.

В настоящее время перед производителями энергии и топлива, как на основе ископаемого топлива, так и возобновляемых источников энергии, стоят задачи получения не только конкурентоспособного продукта, но и продукта, полученного с минимальными выбросами углекислого газа.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое микроводоросли? Приведите примеры.
 1. Какие способы выращивания микроводорослей вам известны?
 2. Сравните урожайность микроводорослей по биомассе и по липидам (маслу) с таковой у традиционных агрокультур.
 3. Микроводоросли в качестве нетрадиционного сырья для энергетики и производства сопутствующих продуктов. Что такое биотопливо 1-го, 2-го и 3-го поколений?
 4. Какой вид биотоплива производится из липидосодержащей биомассы микроводорослей?

Литература по разделу

1. Технологическая Платформа «БИОЭНЕРГЕТИКА» Стратегическая Программа Исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.tp-bioenergy.ru (Дата обращения: 05.06.2021 г.).
2. Постнаука [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://postnauka.ru/faq/42811> (Дата обращения: 05.06.2021 г.).
3. Hielmann SM., Davis HT, Jader LR, Lefebvre PA, Sadowsky MJ, Schendel FJ, von Keitz MG, Valentas KJ. Hydrothermal carbonization of microalgae // Biomass and Bioenergy, 2010. 34: 875–882.

4. Muller E. E. L., Sheik A. R., Wilmes P. Lipid-based biofuel production from wastewater // *Current Opinion in Biotechnology*, 2014. Vol. 30. P. 9–16.
5. Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J., Roessler, P. A. Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program - Biodiesel from Algae, Golden, CO, National Renewable Energy Institute. 1998. NREL/TP-580-24190, 328 pp.
6. Murakami M., Ikenouchi M. The biological CO₂ fixation and utilization project by RITE. 2. Screening and breeding of microalgae with high capability in fixing CO₂ // *Energy Conversion and Management*. 1997, Vol.38(Suppl.). P. 493–498.
7. Weldy C.S. and Huesemann M. Lipid production by *Dunaliella salina* in batch culture: effects of nitrogen limitation and light intensity. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/236354765_Lipid_Production_by_Dunaliella_salina_in_Batch_Culture_Effects_of_Nitrogen_Limitation_and_Light_Intensity (Дата обращения: 05.06.2020 г.).
8. Huntley M., Redalje D. CO₂ mitigation and renewable oil from photosynthetic microbes: a new appraisal // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2007. Vol.12. P.573–608.
9. Belay A., Y.Ota, K.Miyakawa et.al. Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina* // *J.Applied Phycology*. – 1993. – 5. – P.235-241
10. Chernova N.I., S. V. Kiseleva, M. S. Vlaskin, Y. Y. Rafikova. Renewable energy technologies: enlargement of biofuels list and co-products from microalgae // *MATEC Web of Conferences*. 2017. No. 112. P. 1–6.
11. Chernova N. Hydrothermal liquefaction of microalgae for biofuel production: the recycling of nutrients from an aqueous solution after HTL/ Chernova N., Kiseleva S., Vlaskin M. et al. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. — 2019. — no. 564. — P. 012101–1–012101–6.

ГЛАВА 9

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ «ЗЕЛЁНОГО» СТРОИТЕЛЬСТВА

9.1. ЗЕЛЕНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, СТАНДАРТЫ И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ

Понятие «зеленые технологии»

Понятие «зелёные» технологии включает в себя очень широкое содержание и характеризуется следующими положениями.

- «Зелёные» технологии (ЗТ) – системное понятие, которое должно быть описано в комплексной постановке с выделением подсистем и категорий, элементов, связей, установлением количественных и качественных характеристик и параметров, критериев, ограничений, руководств и функций.

- «Зелёные» технологии – это комплекс мероприятий, методов, нормативных документов, проектных решений управленческого, организационного, технологического и экономического характера, опирающийся на законодательные акты в области охраны окружающей среды, принципы ресурсо- и энергосбережения, управления отходами, сохранения природы, позитивный человеческий опыт в производственной деятельности.

- «Зелёные» технологии – направление в научной и образовательной деятельности в сфере технологий, организации и ведения строительства, подготовке профессиональных и научных кадров.

- «Зелёные» технологии обеспечивают выполнение регламентирующих формальных процедур в процессе проведения разного уровня экологической экспертизы, оценки воздействия на окружающую среду, страхования экологических рисков, экологического контроля, применения соответствующей системы административной и юридической ответственности лиц за принимаемые решения.

- «Зелёные» технологии формируются для всех этапов жизненного цикла продукции, поэтому эффективность от их применения должна рассматриваться в целом по объекту или его отдельным составляющим частям.

- «Зелёные» технологии имеют информационную основу, опираются на базы данных, получаемых в ходе практической реализации по всему миру многолетних наблюдений, экологического мониторинга с использованием глобальных информационных систем и компьютерных технологий.

- «Зелёные» технологии получают широкое развитие в различных производственных отраслях: строительстве, транспорте, энергетике, сельском хозяйстве, перерабатывающих отраслях [1].

Процесс широкого развития и применения ЗТ сдерживается во многом отсутствием конкретных документов, относящихся к определённой отрасли, методик, направленных на правильное применение этих документов [2].

Основными факторами, препятствующими развитию ЗТ в России, являются:

- неразвитая система технического регулирования;
- недостаточный уровень понимания в обществе, в том числе в профессиональных кругах, принципов управления жизненными циклами конечной продукции, на которых основывается подход «зелёных» технологий;
- отсутствие на рынке конкурентоспособных предложений от российских компаний, утверждённых методик, программных продуктов, экспертных методов, нормативно-технических документов.

В настоящее время широко распространено мнение о дороговизне всякого рода нововведений, когда расчёт ведется только на основе единовременных затрат без учёта того, что конечный продукт будет служить многие десятилетия, так как именно на протяжении всего жизненного цикла продукции будет достигаться видимая эффективность от внедрения «зелёной» технологии.

Вместе с тем многие современные подходы и понятия, основанные на философии жизненного цикла, уже прочно вошли в практику управления различными видами производственной деятельности. Поэтому особенно важно формализовать их до уровня норм, сводов правил, стандартов.

«Зеленые» стандарты

Одним из главных рычагов, способствующих приданию процессам «зеленых» технологий, в том числе «зеленого» строительства», конкретного и целенаправленного развития, является разработка и продвижение в производственные сферы стандартов, которые в терминологии «зеленых технологий» получили название «зелёных» стандартов.

Можно сказать, что экологические требования регламентов и «зелёные» стандарты выполняют три важнейшие функции:

1) «зелёные» стандарты должны стать сводом норм предельных излучений, норм предельных выбросов, норм предельных сбросов и норм предельно допустимых концентраций, а также правил экологической безопасности (например, в строительстве), обеспечивающих работу промышленности с точки зрения соблюдения единых требований экологической безопасности к технике и технологиям;

2) «зелёные» стандарты устанавливают в технических регламентах экологические требования к безопасности продукции и нормы качества окружающей среды, обеспечивающие в первую очередь её экологическую безопасность и функциональную пригодность;

3) «зелёные» стандарты выполняют функции управления экологической безопасностью, устанавливают правила построения и функционирования систем управления процессами производства и в обществе.

В европейских странах для различных типов зданий и сооружений широко используются технологии «зелёного» строительства, которые в последствии сертифицируются по добровольным рейтинговым системам, например, по Международному методу экологической оценки BREEAM (BRE Environmental Assessment Method), разработанному в 1990 году британским строительным научно-исследовательским институтом BRE Global. Применение стандартов с «зелёными» технологиями – это обязательное требование Международного олимпийского комитета, FIFA, а также ряда крупных корпораций (Рис.9.1). BREEAM является универсальным методом оценки экологичности и эффективности недвижимости в мире, на национальных территориях которого действуют самые разные строительные нормы и правила.

Разработка и внедрение «зелёных» технологий в различных сферах городских структур особенно актуальна для такого мегаполиса, как Москва. В современной Москве активно осуществляется дорожное и жилищное строительство, возводятся станции метрополитена и социальные объекты, ведутся работы по благоустройству, что способствует повышению уровня жизни горожан.



Рис.9.1. Офисное здание Оргкомитета Сочи 2014 (Источник: <https://gbcru.org/about/primery-iz-praktiki.php>).

Примеры модернизации городской среды при внедрении «зелёных» технологий можно рассматривать на трёх уровнях.

1. Администрация:

- устойчивое развитие города на основе создания комфортной и экологически безопасной городской среды;
- международный имидж города и управленческой политики администрации как лидера в области инновационных подходов к развитию города;
- позитивное отношение жителей, общественных организаций и массовых природоохранных движений в связи с реализацией конкретных мер, направленных на реальное оздоровление городской среды.

2. Жители:

- оздоровление городской среды, в том числе дворовых территорий, микрорайонов;
- повышение качества жилищно-коммунального хозяйства путём установки современного оборудования и инженерных систем в местах общего пользования в домах;
- постепенное снижение коммунальных платежей (до 30–50%), затрат на капитальный и текущий ремонт домов за счёт применения ресурсо- и энергосберегающих систем, оборудования и технологий.

3. Бизнес:

- налоговые, финансовые преференции и льготы для производственных предприятий при получении городского заказа; – значительное снижение затрат на эксплуатацию объектов в расчете на период его жизненного цикла;

– высокий общественный имидж, повышение конкурентоспособности, рост рыночной стоимости коммерческой недвижимости, увеличение стоимости арендной платы.

Географические факторы в развитии зеленого строительства

Основные климатические характеристики, которые необходимо принимать во внимание при проектировании здания – это температура воздуха, влажность, скорость ветра, солнечное излучение и различные микроклиматические эффекты.

Как правило, большинство регионов России подвержены сезонности. Сезонные и внутрисуточные колебания метеорологических параметров зависят от таких факторов как широта, близость к морю и т.д. Рассмотрим метеорологические характеристики, оказывающие наиболее влияние на принятие решений по оптимизации энергообеспечения зданий.

Температура воздуха считается основным показателем климата. Существует два очевидных температурных цикла в большинстве регионов России. Дневные циклы приходят к своему пику в течении 1-2 месяцев после летнего солнцестояния и в течении 1-2 месяцев после зимнего солнцестояния. Континентальный климат обеспечивает большие дневные и годовые колебания температуры, чем места расположенные вблизи береговой зоны.

Абсолютная и относительная влажность очень важный параметр для поддержания комфортных условий, подбора и расчета систем жизнеобеспечения и при анализе проблем конденсации. Высокая влажность может вызывать дискомфорт, снижая уровень испарения, который обычно представляет эффект охлаждения, а низкая влажность может вызывать дискомфорт – излишнюю сухость воздуха.

Скорость и направление ветра (роза ветров) должны быть использованы как предварительная оценка для последующего анализа фактических условий местности. Холодный воздух зимой затрудняет процесс обогрева. В свою очередь ветер при высоких температурах воздуха может оказать существенное влияние на поддержание комфортных условий в здании летом.

Солнечное излучение. Зимнее солнце является очень важным фактором, если рассматривается возможность использования солнечного тепла с точки зрения пассивного обогрева здания. Летнее солнце в большинстве климатических зон может привести к

возникновению дискомфортных условий в помещении, поэтому такие решения как дополнительные элементы затенения над окнами, применение светлых тонов кровли и наружных стен, являются предпочтительными.

Температура почвы является очень важным параметром при принятии энергоэффективного решения, например при рассмотрении вариантов конструкции пола (бетонное основание или приподнятый над землей пол). Как правило, температура почвы ниже температуры окружающего воздуха летом и выше зимой.

9.2. ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЗДАНИЯХ

Зелёное строительство — это практика строительства и эксплуатации зданий, целью которой является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания: от выбора участка по проектированию, строительству, эксплуатации до ремонта и сноса.

Другой целью зелёного строительства является сохранение или повышение качества зданий и комфорта их внутренней среды. Эта практика расширяет и дополняет классическое строительное проектирование понятиями экономии, полезности, долговечности и комфорта.

Хотя новые технологии по строительству зелёных зданий постоянно совершенствуются, основной целью данной идеи является сокращение общего влияния застройки на окружающую среду и человеческое здоровье, что достигается за счёт:

- эффективного использования энергии, воды и других ресурсов;
- мер по поддержанию здоровья жителей и повышению эффективности работников;
- сокращения отходов, выбросов и других воздействий на окружающую среду.

Схожий подход «натурального строительства», имеющий меньший масштаб, заключается в использовании натуральных местных материалов.

Зелёное строительство следует рассматривать также как комплексное знание, структурируемое стандартами проектирования и строительства. Уровень его развития напрямую зависит от достижений науки и технологии, от активности

промышленных инженеров и от сознания обществом экологических принципов:

- Сокращение совокупного (за весь жизненный цикл здания) пагубного воздействия строительной деятельности на здоровье человека и окружающую среду, что достигается посредством применения новых технологий и подходов;

- Создание новых промышленных продуктов;

- Снижение нагрузок на региональные энергетические сети и повышение надёжности их работы;

- Создание новых рабочих мест в интеллектуальной сфере производства;

- Снижение затрат на содержание зданий нового строительства.

В связи с развитием подходов зеленого строительства в практику введены следующие понятия и соответствующие технологии.

- *Зеленый дом.* Строительство «зеленого дома» требует активного применения материалов, обладающих минимальной теплоотдачей. Именно их использование существенно сокращает потери энергии при эксплуатации жилья.

- *Низкоэнергетический дом.* Понятие низкоэнергетический дом варьируется в Европе (и в мире) по регионам и в течение времени. Учитываются исторически сложившиеся требования к климату внутри помещений. Также под низкоэнергетическим домом понимается:

- дом ультранизкого энергопотребления (ultra low energy house);

- пассивный дом (passive house);

- дом с нулевым потреблением энергии (zero-energy house).

Термин применяется к зданиям, построенным по стандартам с низким энергопотреблением, но поскольку в разных странах разные критерии оценки низкоэнергетического строительства, то в данном понятии существуют различия. Каждой заинтересованной страной разработана система стандартов, а иногда и маркировки низкоэнергетических домов. Строительные кодексы стран не всегда содержат описание этого вида строительства. Кроме государственных органов, вырабатывать собственные критерии и проводить сертификацию могут негосударственные организации.

В условиях роста цен на электричество и тепло, остро стоит вопрос эксплуатационных затрат на жилье. Показателем энергоэффективности объекта служат потери тепловой энергии с квадратного метра ($\text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$) в год или в отопительный период. Энергосберегающим считается здание, где этот показатель ниже

50 кВт·ч/м² в год. Для того, чтобы дом считался пассивным, этот показатель должен составлять — менее 15 кВт·ч/м² в год (по критериям в Европе). Достигается снижение потребления энергии в первую очередь за счет уменьшения теплопотерь здания.

Развитие энергосберегающих построек восходит к исторической культуре северных и сибирских народов, которые стремились построить свои дома таким образом, чтобы они эффективно сохраняли тепло и потребляли меньше ресурсов. Материало- и энергосберегающая круглая форма жилищ (чум, юрта и т.п.), а также оболочка из эффективных теплоизоляционных материалов (шкуры животных, войлок) являются прообразами технологии пассивного дома. Классическим примером техники повышения энергосбережения дома является русская печь, отличающаяся толстыми стенками, хорошо сохраняющими тепло, и оснащённая дымоходом с системой оборотов.

Пассивные дома сохраняют такое количество внутреннего тепла, что им практически не нужно активное отопление. Это здание снижает до 70% расходов на электроэнергию и до 90% — на отопление, что уменьшает затраты и улучшает состояние окружающей среды. В идеале, пассивный дом должен быть независимой энергосистемой, вообще не требующей расходов на поддержание комфортной температуры. Отопление пассивного дома должно происходить благодаря теплу, выделяемому живущими в нём людьми и бытовыми приборами. При необходимости дополнительного «активного» обогрева, желательным является использование альтернативных источников энергии. Горячее водоснабжение также может осуществляться за счёт установок возобновляемой энергетики: тепловых насосов или солнечных водонагревателей. Решать проблему охлаждения/ кондиционирования здания также предполагается за счет соответствующего архитектурного решения, а в случае необходимости дополнительного охлаждения – за счет альтернативных источников энергии, например, геотермального теплового насоса.

Первые дома, которые должны расходовать мало тепловой энергии, начали строить в 70-е годы. Основное внимание уделялось герметичности, системе вентиляции, теплоизоляции. Примером этих проектов является сооружение, построенное в 1972 году в Манчестере, штат Нью-Гэмпшир (США). Оно имело кубическую форму, площадь остекления не превышала 10%, по северному фасаду остекление отсутствовало. Это позволяло уменьшить потери тепла за счёт объёмно-планировочного решения. Покрытие плоской кровли было выполнено в светлых тонах, что уменьшало её нагрев и,

соответственно, снижало требования к вентиляции в тёплое время года. На крыше здания были установлены солнечные коллекторы.

Первым в полной степени пассивным домом считается здание в немецком городе Дармштадт, район Кранихштайн. Проект разрабатывали профессор Бо Адамсон и доктор Вольфганг Файтс. Ученые создали новую схему, которая снижала энергопотребление до минимума. Этот дом был пассивно теплым, т.е. отапливал сам себя за счет внутренних источников тепла: поступающей солнечной энергии, небольшого нагрева приточного воздуха. Основной задачей было сохранить тепло, улучшить теплоизоляцию помещения, наладить систему рекуперации тепла, чтобы его можно было использовать повторно. Специалисты использовали солнечные коллекторы и грунтовый теплообменник, который нагревал воду. Здание было полностью построено в 1991 году: там поселилось четыре семьи. Энергосберегающий дом до сих пор выполняет свои задачи. С тех пор технология интенсивно развивалась, в результате сейчас в Германии построено более 6 000 пассивных домов. В России первые пассивные дома появились в 2010-х годах и представлены малоэтажной застройкой (Рис. 9.2.) В дополнение к технологиям пассивных домов развиваются методы проектирования и строительства активных домов. Если первые должны потреблять как можно меньше энергии, то активные дома производят энергию самостоятельно, причем в достаточном объеме, за счет фотоэлектрических модулей (солнечных батарей), тепловых насосов, а также систем климат-контроля. Рассмотрим, какие системы жизнеобеспечения здания являются наиболее энергоемкими.



Рис.9.2. Экодом с минимальным энергопотреблением – «пассивный дом» в г. Уфа (Источник: <https://ecology.md/ru/page/ekodom-s-minimalnym-energopotreble>)

Энергопотребление в зданиях, по разным оценкам, составляет от 10 до 30% от общего потребления энергии в мире и зависит от вида используемого оборудования и характера эксплуатации.

Вентиляция является обязательной для большинства общественных, административно-бытовых, промышленных и жилых зданий. Процесс *кондиционирования* не является обязательным в домостроении, однако становится все более востребованным, поскольку может осуществлять приведение температуры и влажности воздуха к заданному диапазону и, таким образом, повышает комфортность жизни и деятельности. Число частных домов с установленными кондиционерами увеличивается с каждым годом во всем мире, начиная с конца 90-х годов XX века. По разным оценкам, около 5-10% помещений в настоящее время оборудованы кондиционерами. В связи с энергозатратностью процесса кондиционирования, охлаждение воздуха составляет приблизительно 3% общего мирового энергопотребления. В своем большинстве современные установки кондиционирования – это безвоздуховодные системы с обратным циклом (воздушные тепловые насосы).

Для климатических условий России основная доля энергии тратится на *обогрев помещений* во время отопительного сезона. Процентное соотношение потребления тепла для разных климатических районов России меняется существенно и зависит от большого количества дополнительных факторов. В ряде регионов России, для целей обогрева, используется уголь или мазут. Нередки случаи применения древесины для обогрева частных домов или декоративного использования (камины, печи, бани и т.д.). Наиболее популярным и распространенным видом топлива является природный газ. Там, где нет газа, или существуют затруднения с магистральным подключением, могут использоваться тепловые насосы (геотермальные одно- и двухкаскадные, а в условиях более мягкого климата – воздушные).

Наименее предпочтительным видом обогрева в силу дороговизны является использование электрической энергии в электрических нагревателях, котлах, и т.д. Для некоторых случаев может быть целесообразным применение системы одновременной генерации электрической и тепловой энергии (когенерационные установки).

На сегодняшний день, доля затрат на *освещение* в России составляет около 15–20% от общих затрат энергии в системах жизнеобеспечения. Этот показатель ниже среднемирового показателя и уровня развитых стран, тем не менее, представляет значительную статью энергетического потребления в зданиях.

К основным энергосберегающим действиям в области освещения можно отнести использование:

- потенциала дневного освещения;
- полупроводниковых, светодиодных и флуоресцентных источников света;
- электронных пускорегулирующих устройств (балластов) вместо магнитных;
- систем автоматического регулирования освещения в зависимости от внешних факторов;
- комбинированных осветительных приборов, использующих для питания солнечную энергию.

Эффективность систем жизнеобеспечения

Эффективность систем, вырабатывающих энергию, определяет сколько первичной энергии необходимо потратить для того, чтобы произвести единицу полезной энергии. Например, почти вся электрическая энергия может быть переведена в тепло в конвекционном нагревателе, в то время как только часть энергии природного газа может быть преобразована в полезное тепло (часть тепловой энергии выбрасывается вместе с продуктами сгорания – выхлопными газами). В случае открытого камина отапливаемого древесиной, только небольшая часть энергии идет на обогрев, а остальная часть безвозвратно выбрасывается в окружающую среду.

Система реверсивного кондиционирования (тепловой насос) может произвести в 3-4 раза больше тепловой энергии, чем обычный электрический конвекционный нагреватель.

В таблице 9.1 приводятся энергоэффективность и выбросы CO₂-эквивалента при использовании различных устройств теплоснабжения в зданиях.

ТАБЛИЦА 9.1.
КПД НЕКОТОРЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЗДАНИЯХ

	Нагреватель (электр)	Нагреватель (газ)	Тепловой насос (электр)	Камин (древесина)
Энергоэффективность или КПД (COP)	100%	80%	300%	5%
CO ₂ -е на килограмм используемого топлива	1 кг	0.4 кг	0.3 кг	20 кг

На количество выбрасываемых парниковых газов при работе систем жизнеобеспечения в зданиях влияет тип используемого первичного топлива и эффективность преобразования энергии в полезное действие (кпд установок). В среднем отопление и

охлаждение являются наибольшими категориями потребления энергии, после которых идет электрическое освещение, горячее водоснабжение (ГВС) и т.д.

Меньшее количество парниковых газов выделяется в том случае, когда для целей обогрева и других хозяйственных нужд используются первичные источники энергии с низким потенциалом глобального потепления (ПГП) (газ, гидравлическая энергия и другие виды ВИЭ, атомная энергия). Относительно высокие показатели выбросов парниковых газов связаны с использованием электрического оборудования. В среднем выбросы парниковых газов для производства 1 кВтч электроэнергии составляют: бурый уголь – 1.4 кг CO₂, природный газ – 0.2 кг CO₂, древесина – 0.35 кг CO₂, нефтепродукты – 0.27 кг CO₂.

Снижение энергопотребления за счет оптимизации оболочки здания

Количество энергии, потребляемой зданием на нужды обогрева, охлаждения и вентиляции зависит от того насколько высоки требования к комфортности. Уровень условий комфортности, которые могут быть достигнуты, определяются дизайном и характеристиками ограждающих конструкций, такими как:

- оптимальность тепловой изоляции;
- распределение термической массы;
- контакт элементов конструкции здания с элементами термической массы более высокого порядка (земля, водоемы, термоаккумуляторы, и т.д.);
- наличие защиты от сквозняков и прочих воздействий неконтролируемой вентиляции;
- степень использования менее энергозатратных технологий при обеспечении комфортных условий пребывания (естественная вентиляция, дневное освещение, потолочный или напольный вентилятор и т.д.);
- виды остекления, способствующие сохранению тепла и реализующие потенциал проникновения солнечной энергии в здание, в зимнее время;
- наличие элементов затенения (для сокращения затрат на кондиционирование в летнее время).

Климатические условия региона определяют стратегию в энергоэффективном дизайне зданий для достижения наиболее оптимальных для потребителя и экономически рентабельных решений.

Один из современных приемов в создании теплоизоляции кровли, особенно в малоэтажном строительстве, является «зеленая» кровля с растительным слоем.

Зеленые крыши (зеленые кровли) могут значительно уменьшить объем ливневых стоков в результате дождя, способствуя очищению и удержанию дождевой воды. Зеленые крыши могут экономить энергию, поскольку они оказывают сильное регулирующее влияние на температуру нижележащих поверхностей крыши и внутренних помещений зданий, снижая количество энергии, необходимой для охлаждения здания, и уменьшая влияние эффекта городского теплового острова.

Растения на зеленой крыше обеспечивают тень, тепловую массу и охлаждение за счет испарения, что снижает температуру на поверхности крыши и внутри здания под ней (Рис.9.3).



Рис. 9.3. Образовательный павильон с примерами кровельного озеленение экстенсивного типа в Ботаническом саду МГУ «Аптекарский огород» на Проспекте Мира г. Москва. (Фото А.А. Саянова)

Если температура на поверхности обычной крыши может превышать температуру окружающего воздуха на 50°C или более в жаркий солнечный день, при этом большая часть тепла передается внутрь здания, то температура зеленой крыши может быть ниже, чем окружающий воздух. Хотя результаты различаются, исследования показали, что зеленые крыши могут снизить потребление энергии, необходимой для охлаждения этажа здания под крышей, более чем на 50%. Наиболее энергоэффективным типом кровельного озеленения является экстенсивный тип (рис.9.4).



Рис. 9.4. Сертифицированное по BREEAM здание бизнес-центра с эксплуатируемой и экстенсивной кровлями (фото А.А.Саянова)

Понятие термического комфорта

Термический комфорт, в первую очередь, определяется температурой тела человека, температурой излучения, влажностью и турбулентностью воздушного потока. Другие факторы – толщина одежды, уровень активности и акклиматизация.

Для того чтобы тело человека оставалось в состоянии постоянной температуры около 37°C , оно должно терять тепло с интенсивностью около 100 Вт. Тепло переносится кровью к поверхности кожи, откуда отводится (в основном излучением) к более холодным объектам конвекцией и при испарении пота. Если интенсивность отвода тепла больше, чем 100 Вт, организм испытывает дискомфорт от недостатка тепла, если же тело не может рассеивать достаточное количество тепла, то организм испытывает дискомфорт от повышения температуры.

Поскольку теплопотери тела зависят от температуры окружающей среды, температура воздуха является основным фактором, определяющим комфорт.

Степень охлаждения, получаемого при испарении, зависит от интенсивности испарения, которое в свою очередь напрямую связано с относительной влажностью и интенсивностью движения воздуха, прилежащего к телу. Другие факторы, которые определяют, насколько комфортно чувствует себя человек, включают акклиматизацию, уровень активности, одежду, возраст, пол, форму тела, уровень жировой прослойки, здоровье, уровень стресса, состав пищи и количество жидкости в организме.

В течение длительного периода времени считалось, что состояние комфорта может определяться независимо от климата или акклиматизации. Сейчас расширилось понимание того, какое значение имеет температура, влажность, движение воздуха, излучение тепла, физиология индивидуума, одежда и вид активности в общем восприятии комфорта. Эта адаптивная модель лучше объясняет разницу в определении комфорта людьми, живущими в холодных и теплых частях света.

Комфорт может быть оценен простым способом, связывающим температуру с понятием термической нейтральности. Психрометрический подход предлагает вычисления для определения границ зоны комфортности в условиях широкого набора условий, включая изменения влажности и движения воздушных масс.

В целях определения наиболее оптимальных технических решений по применению строительных технологий и материалов, в современном подходе «зеленого строительства», применяют различные наборы программного обеспечения для расчета энергоэффективности здания и анализу исходных микроклиматических условий. Ключевым параметром моделирования является количество солнечного излучения, падающего на стены, окна или крышу, и которое зависит, в частности, от меняющегося положения солнца на небосводе. Данные о солнечном излучении обычно поступают с актинометрических станций, где окружающая территория не содержит высокоэтажной застройки, и пиранометр, измеряющий солнечное излучение, не подвергается затенению. Следует учитывать, что в большинстве застроенных городских территориях здания окружены преградами, образующими с линией горизонта 15 и более градусов (половина площади полусферы неба расположена ниже высоты 30 градусов). Большую часть зимнего периода солнце расположено в южной части неба, таким образом, комнаты, окна которых выходят на юг, в среднем получают больше солнечного

света и тепла, чем остальные. Наиболее используемой частью дома является зона гостиной и, возможно, детские спальни, если они используются в качестве игровых зон. Предпочтительно, чтобы окна этих помещений выходили на юг. Части дома, оснащенные системой отопления и/или охлаждения должны находиться в смежном пространстве и быть изолированными от некондиционируемых помещений.

9.3. МЕЖДУНАРОДНЫЕ И РОССИЙСКИЕ СИСТЕМЫ СЕРТИФИКАЦИИ «ЗЕЛЕННЫХ» ЗДАНИЙ

Системы сертификации «зеленых» зданий

Рейтинг, как инструмент оценки одного объекта или субъекта относительно другого, применяется во многих отраслях и направлениях деятельности. Точный рейтинг по критериям (рейтинговая оценка) – необходимая, важная информация для принятия финансовых, маркетинговых и других решений руководством предприятия или организации. Рейтинг – это индивидуальный числовой показатель оценки достижений некоторого субъекта в классификационном списке. Фактически это система упорядочения в виде списка качеств любых объектов на основе количественных показателей (рейтинговых оценок). На практике рейтинг представляет собой некоторую числовую величину, выраженную, как правило, по многобальной шкале. К настоящему времени во всем мире существует большое количество рейтинговых инструментов оценки устойчивости зданий и сооружений.

С одной стороны, создание большого числа рейтинговых систем оценки устойчивости зданий и сооружений оправдано различием условий, где реализуются проекты: географическое положение, климатические условия, наличие и развитие технологий, рынок материалов и услуг и т. д. С другой стороны, обилие рейтинговых систем с различным набором критериев создает определенные трудности для заинтересованных сторон, включая инвесторов, которые покупают и строят здания в разных странах [4]. Рассмотрим некоторые примеры рейтинговых систем оценки устойчивости зданий и сооружений.

Глобальные рейтинговые системы. К этой группе рейтинговых систем можно отнести стандарты BREEAM (Великобритания) и

LEED (США). Существует ряд причин для такого выбора: данные стандарты были приняты в качестве национальных во многих странах или легли в основу национальных рейтинговых инструментов; количество сертифицированных объектов по данным стандартам велико в сравнении с другими рейтинговыми системами; данные стандарты являются самыми часто применяемыми во всех стран [3]. Стандарт BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) – экологический метод оценки зданий. Стандарт разработан в 1990 г. британской компанией BRE Global. В рамках BREEAM BRE Global поддерживает Совет по устойчивому развитию UKGBC, представляющий акционеров крупнейших представителей строительной промышленности. BRE Global готовит независимых лицензируемых оценщиков по системе BREEAM во всем мире, контролируемых UKAS в соответствии с системой качества ISO9001. BREEAM — первая в мире рейтинговая оценка зданий и сооружений. С ее помощью сертифицировано 200 000 зданий и более миллиона зарегистрировано для оценки. Выделим несколько причин активного глобального использования рейтинговой системы BREEAM:

- местные органы управления при планировании строительства начали требовать оценку и сертификацию по системе BREEAM;
- застройщики добровольно определили минимум требований BREEAM для новых зданий;
- минимальные требования стандарта BREEAM стали обязательными в государственном секторе для новых зданий или при капитальном ремонте зданий.

Цели BREEAM: смягчить негативное влияние зданий на окружающую среду; создать условия, при которых конкурентоспособность зданий повышается за счет экологических преимуществ; показать экономические преимущества «зеленого» строительства для заинтересованных сторон; увеличить спрос на «зеленые» здания.

Система BREEAM оценивает устойчивость здания по девяти категориям, каждая из которой включает в себя около десяти пунктов.

Схема BREEAM оценивает устойчивость здания на двух этапах: на стадии проектирования, где можно получить промежуточный сертификат, и на послестроительной стадии, где получают уже окончательный сертификат BREEAM

Региональные рейтинговые системы. К данной группе рейтинговых систем можно отнести стандарт Green Star (Австралия). Существуют национальные версии данного стандарта (в Южной Африке и Новой Зеландии). Стандарт Green Star — это комплексная, добровольная рейтинговая система оценки устойчивости проектирования, строительства и эксплуатаций зданий. Она была разработана советом по «зеленому» строительству Австралии в 2004 г. на основе BREEAM и LEED. По данному стандарту уже сертифицировано более 4 млн.м2 и более 8 млн.м2 зарегистрировано для сертификации [1]. Цели Green Star: определить стандартные требования к «зеленым» зданиям; продвигать интегрированное комплексное проектирование; повысить информированность о преимуществах «зеленого» строительства; определить влияния жизненного цикла зданий на окружающую среду

Локальные рейтинговые системы. К этой группе относятся все национальные стандарты, например, немецкий стандарт DGNB, французский HQE, датский EcoProfile, японский CASBEE, канадский GBI. Система сертификации DGNB была разработана в 2007 г. немецким Советом по устойчивому строительству. На данный момент по этому стандарту сертифицировано около 200 зданий в Германии. Цели DGNB: осуществлять защиту окружающей среды; развивать «зеленое» строительство; создавать платформу для интерактивного обмена знаниями; представлять достижения немецкого строительного сектора и сектора недвижимости в области устойчивого строительства. В DGNB существует шесть аспектов, влияющих на оценку: экология, экономика, социально-культурный и функциональный аспекты, методы, процессы, а также расположение объекта, которое учитывается отдельно. Сертификат свидетельствует о положительном воздействии строительства на окружающую среду и общество в количественном выражении. Разработчики системы DGNB стремятся обеспечить равномерное распределение оценок для всех типов зданий во всех категориях. Поэтому общего подсчета количества баллов недостаточно. Кроме того, необходимо, чтобы оцениваемые характеристики в каждой категории достигали определенного набора минимальных критериев. Так, для достижения «серебряного рейтинга DGNB» нужно, чтобы в каждой из пяти категорий была достигнута как минимум половина оцениваемых критериев».

Законодательство Российской Федерации в области «зеленых» технологий

Одним из базовых действующих законов в настоящее время является Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261 –ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Регламентирующий «добровольный» стандарт ГОСТ Р 54964-2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости» является первой попыткой осуществить нормативную оценку соответствия российских проектов принципам экологического соответствия.

Перечень основных нормативно-правовых актов Российской Федерации, касающихся энергосбережения и повышения энергетической эффективности:

- Указ Президента России от 04.06.2008 г. «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности Российской экономики».

- Федеральный закон Российской Федерации от 23.11.2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

- Постановление Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 г. №1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 г.».

- Постановление Правительства Российской Федерации от 01.12.2009 г. №1830 «Об утверждении плана мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в Российской Федерации, направленных на реализацию Федерального закона №261-ФЗ «Об энергосбережении...».

- Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2009 г. №1225 «О требованиях к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

- Приказ Минэнерго РФ от 19.04.2010 г. №182 «Об утверждении Требований к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации, и правил направления копии энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования».

- Приказ Минпромэнерго России от 04.07.2006 г. №141 «Об утверждении рекомендаций по проведению энергетических обследований (энергоаудита)».

- ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность состав показателей».

- ГОСТ Р 51387-99 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения».

- Постановление Правительства Российской Федерации от 21 сентября 2021 г. №1587 Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации

В настоящее время в России завершается подготовка нормативной базы для запуска системы льготного финансирования зеленых проектов и инициатив в сфере устойчивого развития. Критерии отбора таких проектов своим постановлением утвердил Председатель Правительства Михаил Мишустин в 2021 году. В документе разработаны критерии для реализации целей и основных направлений устойчивого (в том числе зеленого) развития Российской Федерации, а также критерии зеленых проектов (таксономия зеленых проектов) и критерии адапционных проектов (таксономия адапционных проектов). В документе указаны конкретные параметры, при достижении которых на реализацию зелёного или адапционного проекта можно привлечь льготное финансирование через специальные облигации или займы. Зелёные проекты должны соответствовать целям международных документов в области климата и устойчивого развития.

Зелёный проект может быть запущен в следующих сферах: обращение с отходами, энергетика, строительство, промышленность, транспорт, водоснабжение, сельское хозяйство, сохранение биоразнообразия и окружающей среды. По каждому направлению разработаны конкретные качественные и количественные критерии. В числе критериев – ограничения на выбросы CO₂ при добыче газа, нормативы по восстановлению кислотно-щелочного баланса почв, применение технологий улавливания и хранения парниковых газов, использование фторидных технологий при извлечении редкоземельных металлов.

Этим же постановлением утверждаются требования к системе верификации проектов устойчивого развития. В них прописаны

процедуры, необходимые для корректной оценки того или иного проекта, перечень подлежащих проверке документов, требования к компаниям (верификаторам), готовящим заключения.

Принятое постановление поможет установить единые критерии для зелёных и адаптационных проектов, позволит сформировать экономические стимулы для перехода на передовые экологические стандарты.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие принципы заложены в энергоэффективное или «зеленое» строительство? (Приведите примеры)
2. Какие географические факторы влияют на развитие энергоэффективного строительства?
3. Какие основные функции заложены в технологии озеленения крыш в городской среде?
4. Какие параметры учитываются при анализе термической комфортности?
5. Назовите известные Вам международные оценочные системы сертификации «зеленых зданий». Существует ли российский опыт?

Литература по разделу

1. Горохов В.А. Городское зеленое строительство. Серия: Специальность «Архитектура». М.: Стройиздат, Москва, 1991. 416 с. https://www.studmed.ru/view/gorohov-va-gorodskoe-zelenoe-stroitelstvo_f44b6cf22f4.html
2. Горшков А.С., Дерунов Д.В., Завгородний В.В. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2013. № 3 (8). С. 12–23.
3. Есаулов Г.В. Энергоэффективность и устойчивая архитектура как векторы развития // АВОК, 2015. № 5. С. 4–13.
4. Зеленое строительное переустройство зданий, сооружений / А. И. Мохов, А. А. Саянов, В. И. Светлаков, А. В. Стройков // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Вып. 16. Ч. 1: Материалы XX Национальной научной конференции с международным участием Модернизация России: приоритеты, проблемы, решения/ РАН. ИНИОН. Отд. науч. сотрудничества; Отв. ред. В.И.Герасимов. — М.: М., 2021. — С. 631–634.

5. Корниенко С.В. Зеленое строительство – комплексное решение задач энергоэффективности, экологии и экономии // Энергосбережение, 2017. № 3. С. 22–27.
6. Корниенко С.В., Попова Е.Д. «Зеленое» строительство в России и за рубежом // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017. № 4 (55). С. 67–93. DOI: 10.18720/CUBS.55.5
7. Корниенко С.В. Зеленое строительство – инновационный и социально значимый элемент повышения устойчивости среды//Здания высоких технологий. 2017. №3.с. 60-67. http://zvt.abok.ru/articles/447/Zelenoe_%20stroitelstvo__innovatsionnii_i_sotsialno_znachimii_element_povisheniya_ustoichivosti_sredi
8. Лунц Л. Б. Городское зелёное строительство: Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1974. 275 с.
9. Проектирование дождевого сада. Методическое пособие/ А. А. Саянов, Ю. А. Кондратенко, И. С. Щукин, О. В. Буцерова. — Гильдия Ландшафтных Инженеров Москва, 2021. — 12 с
10. Родичкин И. Д., Салатич А. К., Северин С. И. Озеленение городов.1975. 160 с.
11. Совет по экологическому строительству. <https://gbcru.org/about/primery-iz-praktiki.php>
12. СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «Зеленое строительство». Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания». 65 с.
13. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 192 с.
14. Теличенко, В.И. Обзор и классификация рейтинговых систем сертификации зданий и сооружений / В.И. Теличенко, А.А. Бенуж // Вестник ВолгГАСУ. 2013. № 31-1(50). С. 239–243.
15. Теличенко В.И., Бенуж А.А. Совершенствование принципов устойчивого развития на основе опыта применения «зеленых» стандартов при строительстве олимпийских объектов в Сочи // Промышленное и гражданское строительство, 2014. № 10. С. 40–43.
16. Komurlu, R., Arditi, D. and Gurgun, A.P., Applicability of LEED's Energy and Atmosphere Category in Three Developing Countries, Energy and Buildings, Vol. 84, December 2014, pp: 690-697.
17. Ecosystem services approach for landscaping project: The case of metropolia residential complex / V. Matasov, A. Yaroslavtsev, S. Bukin et al. // Springer Geography. — Cham, Switzerland: Cham, Switzerland, 2021. — P. 319–330

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Голубева Елена Ильинична – доктор биологических наук, профессор кафедры рационального природопользования географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова



Киселёва Софья Валентиновна – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова



Чернова Надежда Ивановна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова



Рафикова Юлия Юрьевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова



Саянов Алексей Андреевич – кандидат географических наук, инженер кафедры рационального природопользования географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова



Нефёдова Людмила Вениаминовна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова



Прасолова Анна Ивановна – кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова



Тулская Надежда Игоревна – кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Авторы будут признательны за конструктивные замечания и комментарии читателей. E-mail: rsemsu2016@mail.ru

Учебное издание

Елена Ильинична **Голубева**, Софья Валентиновна **Киселёва**,
Надежда Ивановна **Чернова**, Юлия Юрьевна **Рафикова**,
Алексей Андреевич **Саянов**, Людмила Вениаминовна **Нефёдова**,
Анна Ивановна **Прасолова**, Надежда Игоревна **Тульская**

**ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА
В КОНТЕКСТЕ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ**

Учебное пособие

Согласно Федеральному закону РФ от 29.12.2010 № 436-ФЗ
данная продукция не подлежит маркировке

В авторской редакции

Подготовка макета в печать *Е.С. Игнатовой*

Подп. в печать 22.10.2021. Формат 60х84/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 14,4. Усл. изд. л. 10,3.
Тираж 500 экз. Заказ № Т-409-21.

Издательство «Наука»
109117, г. Москва, ул. Окская, д. 20, корп. 2, пом. VI.