

ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. А. И. ГЕРЦЕНА»

*На правах рукописи*

**ДЕМИДИОНОВ Михаил Юрьевич**

**АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА МИРА: ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ  
ДИАГНОСТИКА, ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Специальность 1.6.13 Экономическая, социальная,  
политическая и рекреационная география

Диссертация  
на соискание учёной степени  
кандидата географических наук

Научный руководитель:  
доктор географических наук, профессор  
Гладкий Юрий Никифорович

Санкт-Петербург

2024

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>Глава I. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ НОВОГО ЭНЕРГОУКЛАДА: РОЛЬ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ</b> .....	9
<b>1.1 Трансформация мировой энергетики: экология против     энергетического рационализма</b> .....	9
<b>1.2 Географические предпосылки развития альтернативной энергетики</b> .....	22
<b>1.3 Водородная энергетика: характеристика и ключевые направления     развития</b> .....	36
<b>1.4 Географические подходы и роль пространственного моделирования в     энергетике</b> .....	47
<b>Глава II. ДИАГНОСТИКА РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ СТРАН КАК СРЕДСТВО ИХ КЛАССИФИКАЦИИ</b> .....	62
<b>2.1 К методике классификации стран в зависимости от многомерных     критериев развития альтернативной энергетики</b> .....	62
<b>2.2 Общие результаты систематизации стран по уровню развития     альтернативной энергетики</b> .....	79
<b>2.3 Региональная диагностика развития ветровой энергетики и     классификация стран</b> .....	87
<b>2.4 Региональная диагностика развития гелиоэнергетики и     классификация стран</b> .....	91
<b>ГЛАВА III. Пространственное моделирование при оценке потенциала территорий ДФО РФ к развитию некоторых типов альтернативной энергетики через призму производства «зелёного» водорода</b> .....	103
<b>3.1 Альтернативная энергетика в парадигме энергетической     безопасности</b> .....	103
<b>3.2 Пространственная модель для оценки потенциала некоторых     регионов ДФО к размещению предприятий по производству «зелёного»     водорода</b> .....	118
<b>3.2.1 Методологические основы пространственного моделирования         потенциала территории к альтернативной энергетике</b> .....	118

<i>3.2.2 Пространственная модель для оценки потенциала некоторых регионов ДФО к размещению ВЭС с возможностью последующего производства «зелёного» водорода</i> .....	131
<i>3.2.3 Пространственная модель для оценки потенциала некоторых регионов ДФО к размещению СЭС с возможностью последующего производства «зелёного» водорода.</i> .....	154
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	177
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ</b> .....	179
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	181
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	211

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы исследования.** В условиях новой парадигмы энергетического уклада и накопления множества проблем в традиционной энергетике (загрязнение атмосферы, потенциальное иссякание углеводородных ресурсов, проблемы геоэкономического характера), интерес к использованию возобновляемых источников энергии все больше возрастает, в т.ч. в нашей стране. Не исключено, что для сохранения энергетической и экономической безопасности, ей потребуется корректировка планируемых на долгосрочную перспективу объемов, масштабов и темпов освоения новых источников энергии, что подтверждается государственными планами.

Важную роль в данном процессе могут сыграть Дальневосточные территории РФ, особенно учитывая постепенную переориентацию России на Азиатско-тихоокеанский регион (АТР). Особенную актуальность, в связи с этим приобретают вопросы оценки потенциала территории к внедрению предприятий возобновляемой энергетики. Исследования на подобную тематику имеют значение, как для краткосрочного планирования, так и для выстраивания геополитической стратегии государства.

Сфера идей, отражающих в научной литературе развитие возобновляемой энергетики, широка. Они включают как возобновляемые источники энергии - ВИЭ (энергию ветра, солнца, воды, биомассы, геотермальную энергию) и способы получения энергии, так и инженерную механику, управление и преобразование энергии, энергетическое законодательство, экономические вопросы эффективности альтернативной энергетики и многие другие вопросы. Растет внимание к методологическим вопросам развития альтернативной энергетики – концепциям, методологическим подходам, критериям, классификациям и т.д.

Соответственно, мировой публикационный арсенал, посвященный комплексному исследованию теоретико-методических и прикладных основ, этапов

развития, особенностей и современного использования возобновляемых источников энергии насчитывает огромное множество трудов. Приоритет отдается рассмотрению отдельных видов технологий преобразования нетрадиционных ВИЭ в рамках малой энергетики для локального энергоснабжения. Отличительной чертой исследований является также их выполнение под экономическим, техническим и экологическим углом зрения.

В числе недостаточно разработанных научных основ развития альтернативной энергетики оказались *географические подходы*, концентрирующие внимание, прежде всего, на природно-ресурсных детерминантах конкретных стран и территорий, а также на систематизации региональных данных о состоянии и возможностях развития этой отрасли энергетики.

Среди исследователей, чьи идеи оказались исключительно полезными при выполнении настоящей работы, – отечественные авторы: В.К. Аверьянов, Ю.М. Беляев, П.П. Безруких, А.А. Авраменко, Н.Г. Гричковская, К.С. Дегтярев, И.Ю. Иванова, М.О. Рязанова, А.В. Андриухин, Г.Л. Багиев, В.Б. Вейнберг, В.З. Жук, М.И. Калинин, П.С. Каныгин, П.Д. Ковалев, А. Е. Копылов, Д.Л. Лопатников, Д.С. Стребков, В.Е. Фортов, Г.В. Шевченко, А.Е. Шейдлин и др.; и зарубежные – М. Burrows, J. Cambell, C. Carneiro, C. Catita, R. Dubayah, G. Desthieux, H. Effat, S. Freitas, N. Fueyo, R. Genova, M.F. Goodchild, J. Hofierka, S. Izquierdo, E. Knowles, L. Kumar, J. Liang, D. Lovell, J. Malczewski, E. Morello, P. M. Rich, M. Rodrigues, J. Rubner, A.K. Skidmore, G. Treverton, R. Young, M. Zlocha и др.

**Объект исследования** – альтернативная энергетика мира.

**Предмет исследования** – пространственные, региональные связи и отношения, возникающие в процессе формирования и развития альтернативной энергетики в странах и регионах мира.

**Основная цель исследования** – выявление пространственных особенностей и закономерностей развития мировой альтернативной энергетики с позиций

современной географической науки, с учетом природно-ресурсных и социально-экономических реалий конкретных государств и регионов.

**Задачи исследования** формулируются следующим образом:

– обоснование географических методов и инструментов исследования альтернативной энергетики мира и определение специфической роли пространственного моделирования в альтернативной энергетике;

– разработка и апробация методики географической диагностики стран по уровню развития альтернативной энергетики стран как средства их классификации;

– развитие и адаптация методического аппарата пространственного моделирования потенциала территории к развитию альтернативной энергетики в субъектах ДФО (Дальневосточный федеральный округ) и выработка рекомендаций по территориальному размещению ВЭС и СЭС;

**Методы исследования** – были использованы методы физико-географического, экономико-географического и статистического анализа территории, географической оценки потенциалов ВИЭ, картографического анализа, пространственного моделирования, а также методы математической статистики.

**Теоретико-методологическая информационная основа** исследования представлена трудами ведущих отечественных и зарубежных ученых, авторов идей устойчивого развития (В.И. Вернадский, А.Г. Гранберг, Н.Н. Моисеев, В.И. Данилов-Данильян, Р. Тернер, составители докладов Римскому клубу и др.), авторитетных экономистов – специалистов по экономическим проблемам традиционной энергетики и, особенно, нетрадиционной (Н.В. Красовский, П.П. Безруких, Д.С. Стребков, О.А. Поваров, А. Е. Копылов и др.), а также Энергетической стратегией РФ (2020 г.), ГОСТ Р 54531-2011 - «Нетрадиционные технологии. Возобновляемые и альтернативные источники энергии», Доктриной

энергетической безопасности РФ (2019 г.) и Концепцией развития водородной энергетики (2021 г.).

**Научная новизна.** Предложена концепция географической диагностики развития альтернативной (ветровой и солнечной) энергетик на основе оценки физико-географического (природного) потенциала территории, а также экономико-географических и «ограничительных» факторов с прогнозом на интересы России; разработан метод динамической классификации стран по уровню развития альтернативной энергетики с учетом географических показателей; для исследуемых территорий ДФО РФ впервые был применён метод комплексного пространственного моделирования потенциала следующих видов альтернативной энергетики: ветровой, солнечной (фотоэлектрические панели) и солнечной (электростанции концентрирующего типа), в том числе с учетом производства «зелёного» водорода.

#### **Защищаемые положения.**

1. Физико-географический (природный) потенциал территории играет ключевую роль при развитии альтернативной энергетики, в отличие от традиционной парадигмы развития энергоуклада, где данный фактор не играет экзистенциальной роли.

2. Разработанная методика географической диагностики стран и регионов по уровню развития альтернативной энергетики, отражающая специфический подход с оценкой, в том числе и физико-географического (природного) потенциала территории, охватывает большее количество факторов чем традиционный метод ранжирования по одному критерию, и позволяет вычленять региональные особенности исследуемой отрасли.

3. Согласно применённым методам пространственного анализа, территория ДФО РФ обладает существенным потенциалом к развитию возобновляемой энергетики, в том числе производству «зелёного» водорода. Особенно выделяются

Сахалинская область (ветроэнергетика), Приморский край (ветроэнергетика и гелиоэнергетика), Амурская область (гелиоэнергетика).

**Практическая значимость.** Разработанный алгоритм и программа пространственного моделирования потенциала сразу 3-х типов альтернативной энергетики вызвал интерес у представителей промышленных структур, имеющих отношение к развитию отечественной альтернативной энергетики.

Практическая нацеленность работы в известной мере способствовала ее положительной апробации. Ее основные идеи излагались на международной конференции «Proceedings of Topical Issues in International Political Geography» (Saint-Petersburg Polytechnic University, 2021); международных научно-практических конференциях «Герценовские чтения» (СПб, 2022-2023 гг.), 25й Межвузовской студенческой конференции «Студент-исследователь-учитель».

**Структура, содержание и объем диссертации** определены поставленными задачами и целью исследования. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка, списка сокращений и приложения.



# Глава I. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ НОВОГО ЭНЕРГОУКЛАДА: РОЛЬ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

## 1.1 Трансформация мировой энергетики: экология против энергетического рационализма

Смена технологической парадигмы и наметившийся энергопереход (4й) на возобновляемые источники энергии - общепризнанная тенденция начала XXI века. Она основательно проанализирована в литературе, поэтому сконцентрируем внимание, главным образом, на дискуссионных и сравнительно новых вопросах, связанных с использованием возобновляемых источников энергии, а также на географическом осмыслении наблюдающейся трансформации мировой энергетики.

В общественном сознании понятия «возобновляемая» и «альтернативная» энергетика уже давно слились в единое понятие. Между тем и в научном мире нет единого мнения на тему дифференциации данных терминов. По определению Оксфордского словаря, под альтернативной энергетикой следует понимать электрические мощности, полученные при воздействии солнца, ветра, воды и т.д., при производстве которых не наносится вред окружающей среде [48]. Согласно российским национальным стандартам, в частности ГОСТ Р 54531-2011, альтернативная энергетика, включает в себя использование возобновляемых и не возобновляемых источников, которые приобретают хозяйственную значимость на современном этапе развития энергетики [12]. И если последний фактор можно считать аксиомой, то граница, по которой происходит деление источников энергии на возобновляемые и не возобновляемые является предметом дискуссии. Ключевым параметром для выделения источника энергии как возобновляемого, является тот факт, что пополнение запасов данного ресурса превышает их потребление [165]. Но на практике упомянутое обоснование не может быть абсолютно точным.

Одним из ярких примеров данного утверждения является солнечная энергия. Солнце, воспроизводство энергии которого зависит от термоядерной реакции получения гелия из водорода, не имеет постоянного пополнения запасов последнего, вследствие чего не может в полной мере считаться источником возобновляемой энергии. Однако, если рассматривать общие запасы углеводородов в сравнении с запасами энергии солнца, из-за колоссальной разницы, можно принять тот факт, что ресурс возобновляемой энергетики практически не исчерпаем.

Согласно мнению британского издания [48], одним из факторов для выделения энергетики как альтернативной, является *отсутствие негативного влияния на природу*. Безусловно, на фоне традиционных источников энергии, таких как древесина и углеводороды, наиболее яркие примеры альтернативной энергетики, такие как солнечная и ветровая являются более экологичными, однако современные исследования показывают, что нельзя полностью исключать их негативного воздействия на окружающую среду.

Суммируя вышесказанное можно утверждать, что важным критерием для выделения тех или иных видов энергоносителей как альтернативных, является именно тот факт, что на современном этапе развития как энергетики, так и экономики они приобретают все большую *хозяйственную* значимость. В свою очередь, возобновляемыми будут считаться те энергоносители, чей ресурс практически не исчерпаем в ближайшие тысячелетия.

Подавляющее большинство исследователей относят к возобновляемым источникам энергии, следующие: *энергию солнца, ветра, гидроэнергию (в том числе энергию мирового океана), геотермальную энергию, биоэнергию* [12, 158, 165 и др.].

*Атомную энергетику*, которую нередко называют «энергетикой будущего», сложно относить как к традиционной, так и к альтернативной, поэтому зачастую её выделяют в отдельную категорию. Если рассматривать экологическую

составляющую работы атомных электростанций, то нельзя не отметить, в случае с АЭС показатели выбросов в атмосферу (в особенности диоксида углерода) намного ниже, чем, к примеру, у тепловых электростанций [11]. Однако, данное высказывание справедливо только в случае с примерами штатной эксплуатации станций, что подтверждают последствия аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима-1. Несмотря на это, если предположить, что атомная электростанция эксплуатируется в рабочем режиме, то вкупе с тем, что АЭС теоретически подпадают под упомянутое ранее понятие «растущей хозяйственной значимости», можно утверждать, что на шкале, где по разные стороны находятся традиционная и альтернативная энергетика, атомная располагается ближе к последней.

Актуальна и дискуссия о принадлежности некоторых отраслей атомной энергетики к возобновляемой (безусловно речь не идёт о привычных нам АЭС). Топливом для атомных электростанций являются изотопы урана ( $^{235}\text{U}$  или  $^{238}\text{U}$ ) и плутония ( $^{239}\text{Pu}$ ). В случае их использования для производства энергии на АЭС современного типа, их запасы, безусловно конечны, хоть и достаточно велики (по данным МАГАТЭ) [178]. Однако ряд технологических решений, к примеру, использование реакторов-размножителей, вырабатывающих ядерное топливо в количестве, превышающем потребление самим реактором или же термоядерных станций, опять же теоретически, позволяют отнести некоторые отрасли атомной энергетики к возобновляемой. Более того, упомянутые способы получения энергии уже не являются лишь футуристической утопией, а давно находятся в активной стадии разработки или уже нашли применения на практике. Свою роль в данном процессе играет и Российская Федерация.

Во-первых, именно на территории России находится единственная действующая промышленная станция (после закрытия французского реактора «Феникс»), использующая в своей работе реакторы-размножители – Белоярская АЭС. В данный момент на ней функционируют два подобных реактора на быстрых нейтронах (Б-600 и Б-800), а в проекте уже находится более мощный – Б-1200 [25]. Более того, российские ученые принимают активное участие в разработке

экспериментальных реакторов-размножителей, как в случае с китайским CEFR, причем не только в рамках проектирования и строительства, но и поставки ядерного топлива (АО «ТВЭЛ»).

Во-вторых, Россия принимает активное участие в создании экспериментального термоядерного реактора – ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) [120]. Более того, сама идея установки (ТОКАМАК) для протекания управляемого термоядерного синтеза, принадлежит умам советских физиков-ядерщиков – И.Е.Тамма, А.Д.Сахарова и О.А.Лаврентьева.

Применение упомянутых технологий в атомной энергетике даёт возможность рассматривать её, как возобновляемую. Еще в 1987 году комиссия Брундтланд (WCED) причислила реакторы-размножители к возобновляемым, основываясь на том факте, что они производят больше ядерного топлива, чем потребляют [24]. А в 2009 году американский штат Юта законодательно причислил атомную энергетику к возобновляемой [179]. Так же необходимо упомянуть и возможность применения МОКС-топлива – ядерного топлива, которое может изготавливаться в том числе и из избыточного оружейного плутония (к примеру  $^{239}\text{Pu}$ ).

Другим видом энергоносителей, который занимает обособленное положение в классификации источников энергии является *водород*. В первую очередь важно отметить, что в отличие от солнечной или ветровой, водородная энергетика не специализируется на производстве энергии. Это связано с тем фактом, что для производства самого водорода требуется больше электроэнергии, чем будет впоследствии получено при его использовании. На данный момент водородная энергетика находит свое главное применение в сфере хранения и транспортировки энергии [86].

При изучении особенностей любого вида альтернативной энергетики, перед исследователями непременно встает вопрос о экологической составляющей вопроса. Как уже было упомянуто выше, в случае с современными методами извлечения энергии из возобновляемых источников нельзя говорить об абсолютной безвредности таких производств для окружающей среды. Несмотря на это, в

большинстве случаев, альтернативная энергетика является более экологически безопасной, чем традиционная, особенно если речь идет о выбросах загрязняющих атмосферу веществ (в частности CO<sub>2</sub>).

Стоит отметить, что сокращение выбросов веществ часто является следствием не столько именно развития возобновляемой энергетики, а сокращения производства энергии традиционными способами (к примеру, на ТЭС), которое является возможным благодаря смене подобных предприятий на те, которые используют в своей работе возобновляемые ресурсы. Ярким примером данного явления служит энергетический сектор Германии (Рис.1).

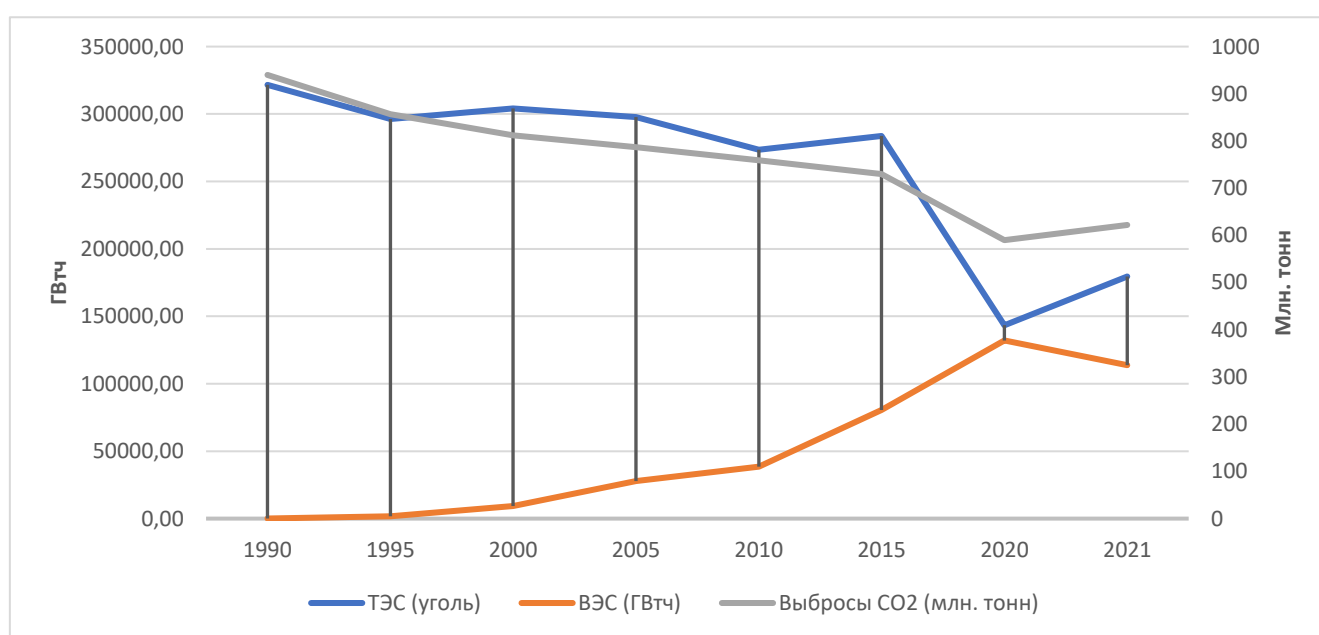


Рис.1. Некоторые показатели энергетического сектора Германии. Сост. авт. по [95].

Рост предприятий, использующих возобновляемые ресурсы при производстве электроэнергии, позволил снизить абсолютное количество выработки электроэнергии на тепловых электростанциях, где в качестве топлива используется уголь. Как следствие, упали и показатели выбросов углекислого газа. Подтверждением данных выводов являются показатели корреляционной матрицы между вышеупомянутыми показателями (Табл.1).

Табл.1. Корреляционная матрица некоторых показателей энергетического сектора Германии. Сост. авт. по [95].

	Выработка электроэнергии на ТЭС (уголь)	Выработка электроэнергии на ВЭС	Выбросы CO <sub>2</sub>

Выработка электроэнергии на ТЭЦ (уголь)	1	-0,92	0,91
Выработка электроэнергии на ВЭС	-0,92	1	-0,95
Выбросы CO <sub>2</sub>	0,91	-0,95	1

Очевидна прямая взаимосвязь между сокращением производства электроэнергии на ТЭС с использованием угля и выбросами CO<sub>2</sub> (0.91) и сильная обратная корреляция между двумя методами выработки электроэнергии (на ТЭЦ и ВЭС).



Рис.2. Распределение выработки электроэнергии по всему миру в 2022 году. Разбивка по источникам энергии. Сост. авт. по [188].

Несмотря на теоретические экологические выгоды использования именно альтернативной энергетики, доля соответствующих электростанций (ЭС) в общей энергетической системе мира невелика. По состоянию на 2023 год она составляет около 16% (без учета гидроэнергетики) от общего производства электроэнергии (Рис.2). Безусловно, главной причиной этого является более раннее начало

промышленного освоения угля и газа для нужд энергетики. Однако нельзя забывать и о большей их коммерческой выгодности – то, что является одной из составляющих энергетического рационализма.

В данном случае идеи рационализма, активно развиваемые великими умами прошлого, такими как Спиноза, Декарт и Лейбниц, находят свое выражение в сугубо экономической форме. При этом вопрос заключается не только в погоне за избыточной прибылью, при котором состояние окружающей среды не является ключевым фактором, но и в ограниченных (в связи с финансовыми проблемами) возможностях реализации проектов по альтернативной энергетике в бедных странах.

По сути возникает конфликт между экологическим рационализмом, когда во главу угла ставятся вопросы сохранения окружающей среды и ее безопасность и энергетическим рационализмом, где главенствуют идеи прибыли или в других случаях нормальной жизнедеятельности. Важно отметить, что в одном государстве возможно проведение в жизнь обеих моделей энергетического рационализма.

Ярким примером данного утверждения служит энергетический сектор Южно-Африканской Республики. Несмотря на большой природный потенциал для развития альтернативной энергетики подавляющее большинство электроэнергии в стране производилось и производится на ТЭС, использующих в качестве топлива уголь [49]. Во время проведения в стране политики апартеида, активное развитие такого типа электростанций было обусловлено их дешевизной. Режим апартеида предоставлял развивающейся капиталистической промышленности и растущему бизнесу дешевую рабочую силу, для которых нужны были новые мощности электроэнергии. Именно угольные ТЭС и стали решением проблемы [14].

После падения режима апартеида, перед новым правительством республики встал вопрос обеспечения электроэнергией бедных кварталов в городах. Мощности ТЭС на угле снова были увеличены. Таким образом энергетический рационализм проявил себя в одной стране, но с двух позиций (сначала в случае с наращиванием

капитала, затем для решения возникшего кризиса). Стоит отметить, что данный сценарий был реализован всего за 40-50 лет.

Данный пример затрагивает важные аспекты, являющиеся своего рода обоснованиями проведения в жизнь политики энергетического рационализма, а именно более низкую стоимость производства электроэнергии традиционными способами, а также относительную технологическую простоту строительства и последующей эксплуатации ТЭС. И если последний аргумент практически неоспорим, то в случае с первым, наблюдается положительная динамика, причиной которой является постепенное совершенствование технологий. Более того, согласно финансовым оценкам, можно выдвинуть предположение, что некоторые виды альтернативной энергетики уже становятся частью энергетического рационализма, по крайней мере по критерию себестоимости производства электроэнергии.

По оценке международной финансовой компании Лазар стоимость производства электроэнергии с применением возобновляемых источников по состоянию на 2023 год может составить конкуренцию всем видам традиционной энергетики. К примеру, значение себестоимости производства электроэнергии на угольных ТЭС колеблется в дельте от 68 до 166 долларов США (далее USD)/МВт, в свою очередь показатель ВЭС (расположенных на суше) находится в пределах от 24 до 75 USD/МВт [125]. Схожие оценки, но на 2020 год дает и агентство по ядерной энергии – ТЭС (уголь) – 88 USD/МВт, ВЭС (на суше) – 50 USD/МВт [126].

Стоит оговориться, что в данном исследовании речь идет о эксплуатации новых станций, что критично сказывается на цене электроэнергии, произведенной на ТЭС, так как в стоимость строительства закладывается цена установки систем фильтрации и очистки, обеспечивающих захват до 90% углекислого газа. Безусловно, если брать в расчет ныне действующие ТЭС, стоимость производства электроэнергии за счет их мощностей будет намного меньше.

Важно отметить, что при такого рода оценке необходимо учитывать именно нормированную стоимость электроэнергии – то есть ту стоимость, в которую



закладывается себестоимость всех этапов жизнедеятельности электростанции. В основе данного показателя лежат такие факторы как, инвестиционные затраты, затраты на содержание ЭС, затраты на топливо, само производство электроэнергии и ставка дисконтирования [70].

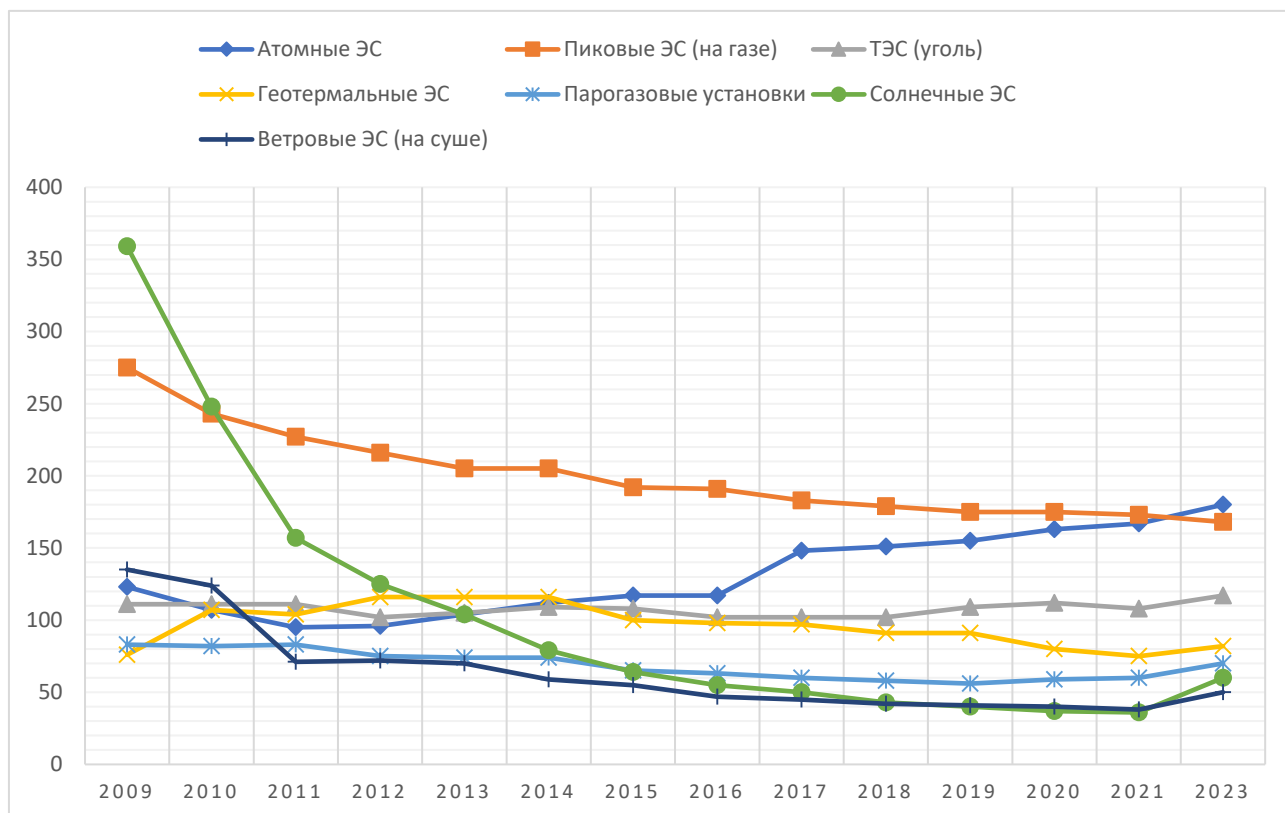


Рис.3. Нормированная стоимость производства электроэнергии. Стоимость указана в USD/МВт. Сост. авт. по [125].

При сравнении нормированной стоимости производства электроэнергии для современных станций, становится заметно, что с точки зрения финансов, позиции энергетического рационализма не так надежны (Рис.3). В период с 2009 года, стоимость производства электроэнергии с применением возобновляемых источников сильно снизилась, что особенно заметно по показателям солнечной энергетики.

Таким образом можно утверждать, что в случае со строительством новых электростанций, конфликта на почве финансов между экологическим и энергетическим рационализмом возникнуть не должно. Однако данное

противостояние возникнет при эксплуатации уже построенных станций на традиционных источниках энергии или при строительстве новых ЭС старых типов.

Последнее приобретает особенную актуальность, когда речь идет о менее развитых странах. Даже учитывая потенциально высокую экономическую рентабельность некоторых видов альтернативной энергетики их использование, к примеру в странах «третьего мира» ограничено в связи с их технологическим отставанием. Косвенным подтверждением этого может служить тот факт, что из всех регионов мира, именно в Африке не происходит сокращение темпов строительства газовых ЭС, хотя многие африканские страны обладают потенциалом для развития «зеленой» энергетики, во многом за счет энергии солнца. Однако большое количества необходимого топлива, в случае с северной Африкой – газа, а с южной – угля, делает газовые и угольные ТЭС экономически выгодными.

Строительство новых станций при технологической поддержке более развитых стран, могло бы стать решением проблемы, однако это куда менее выгодно, чем постройка традиционных ТЭС. Учитывая, что государственные меры по стимулированию развития альтернативной энергетики, введенные, к примеру, в Европейском Союзе, практически не распространяются на деятельность стран ЕС за рубежом, ограничивающие или же стимулирующие факторы на территории других государств не действуют.

Другим немаловажным фактором, играющим свою роль в деле энергетического рационализма, является строгая привязка альтернативной энергетики к наличию необходимого природного ресурса. При этом помимо собственно наличия такового, возникает параллельный вопрос стабильности источника энергии. Если геотермальные источники отличаются постоянством и предсказуемостью, то солнце и ветер не стабильны, а в некоторых местах планеты и вовсе носят сезонный характер.

Это же относится и к более экзотичным разновидностям альтернативной энергетики. Предприятия, использующие в качестве энергоресурса приливы и

отливы, обречены иметь локализацию в прибрежной территории морей и океанов. Даже такой пока что далекий от реальности тип энергетики, как грозовая, имеет различный потенциал в зависимости от частоты ударов молнии (Рис. 4).

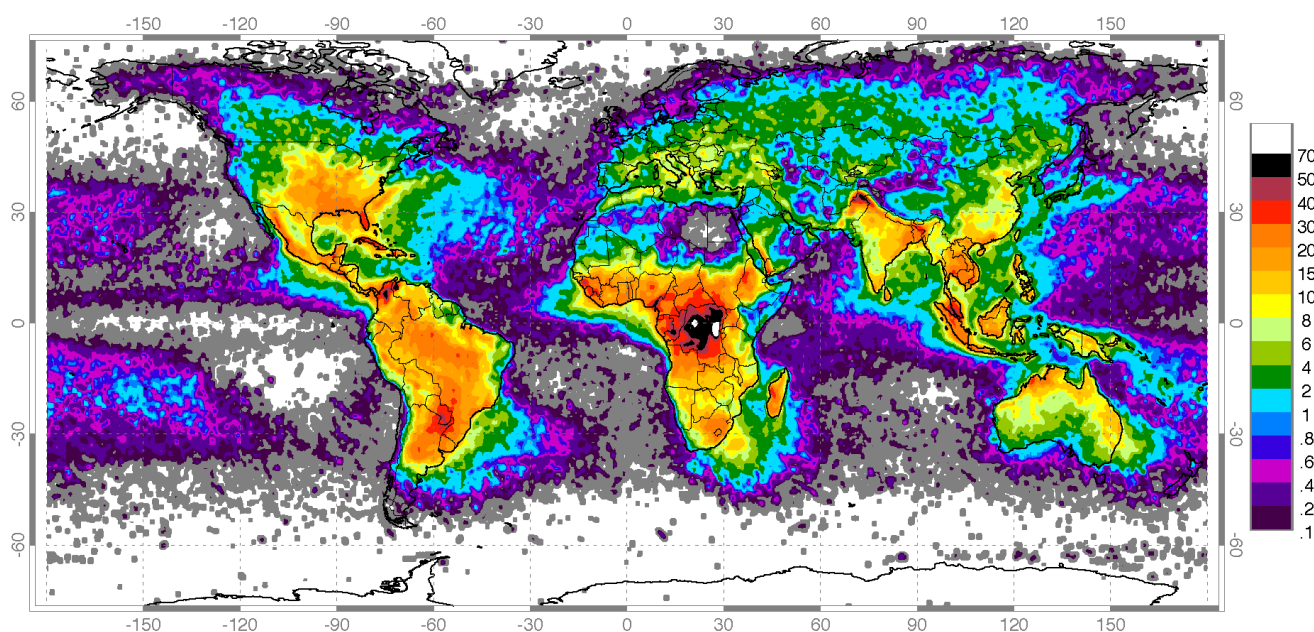


Рис.4. Частота ударов молнии на км<sup>2</sup> в год. Карта составлена NASA [183].

По цепочке зависимости, нестабильность некоторых возобновляемых источников энергии ведет к сложностям в других сферах энергетики и промышленности, зависящих от альтернативной энергетики. К таким относится, в частности, и производство зеленого водорода.

Во всем этом кроется преимущество традиционной энергетики в парадигме энергетического рационализма. Наличие энергоресурса в непосредственной близости от производства, как например в Северной Африке, является большой экономической выгодой, в то время как отсутствие необходимого источника энергии в свою очередь не исключает возможности строительства и эксплуатации ТЭС, а лишь усложняет логистику.

Вопросы экологии и охраны окружающей среды порой становятся вторичными, когда сталкиваются с энергетическими требованиями современного мира. Ни солнечная, ни ветровая энергетики на данный момент времени не могут полностью обеспечить, к примеру бесперебойное производство или же обеспечить постоянной и стабильной электроэнергией приполярные районы. В таких случаях

(и они не единичны) ставка чаще делается именно на надежность, которую в свою очередь могут предоставить традиционные энергоресурсы или же атомная энергетика, хотя эффективность применения последней в условиях отдаленных регионов, пока что спорна.

Ярким примером является отечественная Билибинская АТЭЦ. Пока она обеспечивала находившиеся там предприятия, в частности Билибинский горно-обогатительный комбинат, её эффективность была высока. Однако после закрытия промышленных предприятий, повлекших за собой и отток населения из региона, её мощности оказались избыточны. Помимо этого, стоит отметить и высокую стоимость вывоза отработанного топлива из столь отдаленных территорий.

Несмотря на все упомянутые сложности, на данный момент ТЭС и АЭС все равно рассматриваются как более перспективные чем, к примеру ВЭС для использования в отдаленных регионах России. Это подтверждается и тем фактом, что решение проблемы электрификации территорий обеспечиваемых постепенно выводимой из строя Билибинской АТЭЦ, было найдено не во внедрении в регионе энергетике, использующей возобновляемые ресурсы, а в строительстве плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов». Более того, имеются планы по строительству около 15 подобных станций по всему протяжению северного морского пути [32]. Так же ведутся разговоры об интересе ряда стран к данному проекту. В первую очередь речь идет о странах с протяженной береговой линией – к примеру Бразилия и Аргентина, а также государствах у которых есть островная инфраструктура – Индонезии и Малайзии [8].

Однако, несмотря на упомянутую парадигму энергетического рационализма альтернативная энергетика заслуживает внимательного и всестороннего изучения. Во-первых, с каждым годом вопросы экологии становятся все острее и все большие бюджеты выделяются различными странами на реализацию проектов посвященных охране окружающей среды. Несмотря на то, что альтернативная энергетика не является полностью «стерильной» относительно экологической обстановки, она намного безопаснее, чем традиционная, даже учитывая

современные системы фильтрации выбросов в атмосферу, которыми оснащаются многие современные ТЭС [40].

Вместе с этим стоит отметить и тот факт, что разговоры о том, что не все традиционные электростанции так вредны и не вся «зеленая» энергетика так безвредна, возможны лишь при нормальном (не аварийном) функционировании первых. Любая крупная техногенная катастрофа на ТЭЦ или АЭС мгновенно может помножить на ноль десятилетний труд любых систем фильтрации, устройств экранирования и защиты. В случае аварии на ветровой или солнечной электростанции последствия хоть и неизбежны, но не так существенны.

Во-вторых, нельзя забывать о том, что постоянное совершенствование технологий постепенно сводит на нет один из главных аргументов в пользу энергетического рационализма – а именно дороговизну альтернативных технологий. По состоянию на 2023 год многие виды альтернативной энергетики уже стали экономически более выгодными, что подтверждают большое количество авторитетных исследовательских центров в том числе уже упомянутые Лазар и агентство по ядерной энергии. Важно учитывать и то, что «зеленая» энергетика не имеет привязки к цене на топливо, соответственно практически индифферентна к скачкам цен на условный газ, уголь или нефтепродукты.

В-третьих, несмотря на то, что возобновляемые энергоресурсы имеют свою локализацию и сильно привязаны к местоположению того или иного природного ресурса, нельзя забывать о том, что существует большое многообразие типов альтернативной энергетики. Этот факт сильно расширяет географию потенциального охвата использования возобновляемой энергии. Постепенное развитие технологий не только позволяет использовать новые виды энергоресурсов, но и расширяет горизонты для уже применяемых. Ярким примером служит то, как ветровая энергетика, ранее используемая только на суше, уже успешно функционирует, занимая пространство шельфов морей.

Несмотря на все рассмотренные выше факторы, динамика последних лет борьбы экологического и энергетического рационализма говорит о том, что

последний постепенно сдает свои позиции. Если на 2000 год доля производства электроэнергии с помощью возобновляемых источников составляла всего 0,56%, то к 2022 г. выросла до 14,7% (Рис.5) по данным компании Our World in Data [160] (к 2023 до 16% по данным компании Statista [188]).

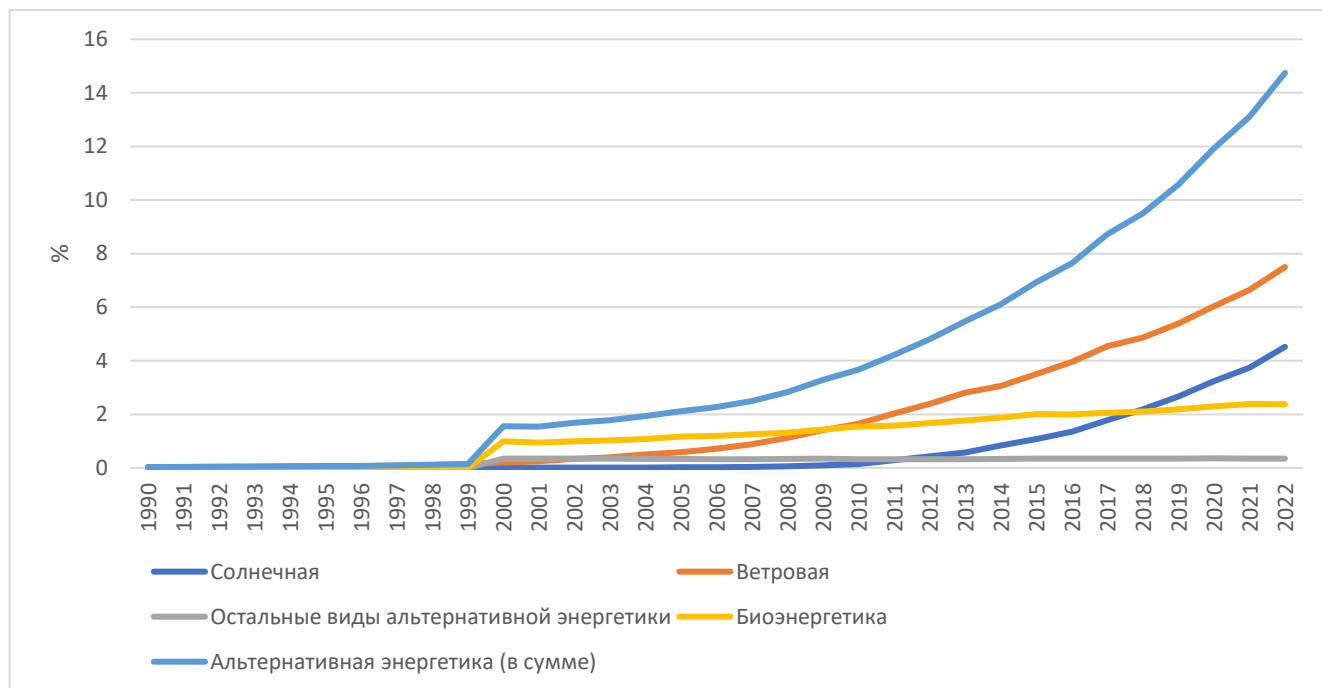


Рис.5. С большой долей вероятности альтернативной энергетики в общемировом балансе электроэнергии (1990-2022 годы). Сост. авт. по [160].

С большой долей вероятности можно отметить, что причина данного роста заключается не только в заботе о состоянии окружающей среды, но и в том, что сама альтернативная энергетика постепенно становится частью парадигмы энергетического рационализма и возможно в скором времени произойдет кросс-поинт, когда использование возобновляемых источников энергии станет так же выгодно, как и применение традиционных.

## 1.2 Географические предпосылки развития альтернативной энергетики

Применение возобновляемых источников энергии знакомо человечеству издревле. Одним из ярких примеров, являются ветряные мельницы или же древнегреческие водяные колеса, используемые для измельчения пшеницы в муку. С позиции хронологии, именно альтернативная энергетика, была первоначальным

источником энергии для человека, из-за того, что традиционные энергоносители захватили лидирующие позиции лишь с периода промышленной революции, так как оказались (и являются до сих пор) более экономически рентабельными.

Географические факторы всегда были одними из определяющих для расположения объектов, использующих возобновляемые источники энергии, при этом речь идет о комплексе различных аспектов, от физико-географических особенностей местности до геополитических взаимоотношений. И если последний фактор постоянно находился в динамике, то некоторые основы заложенные за счет использования природных особенностей территории, сохранились до сих пор.

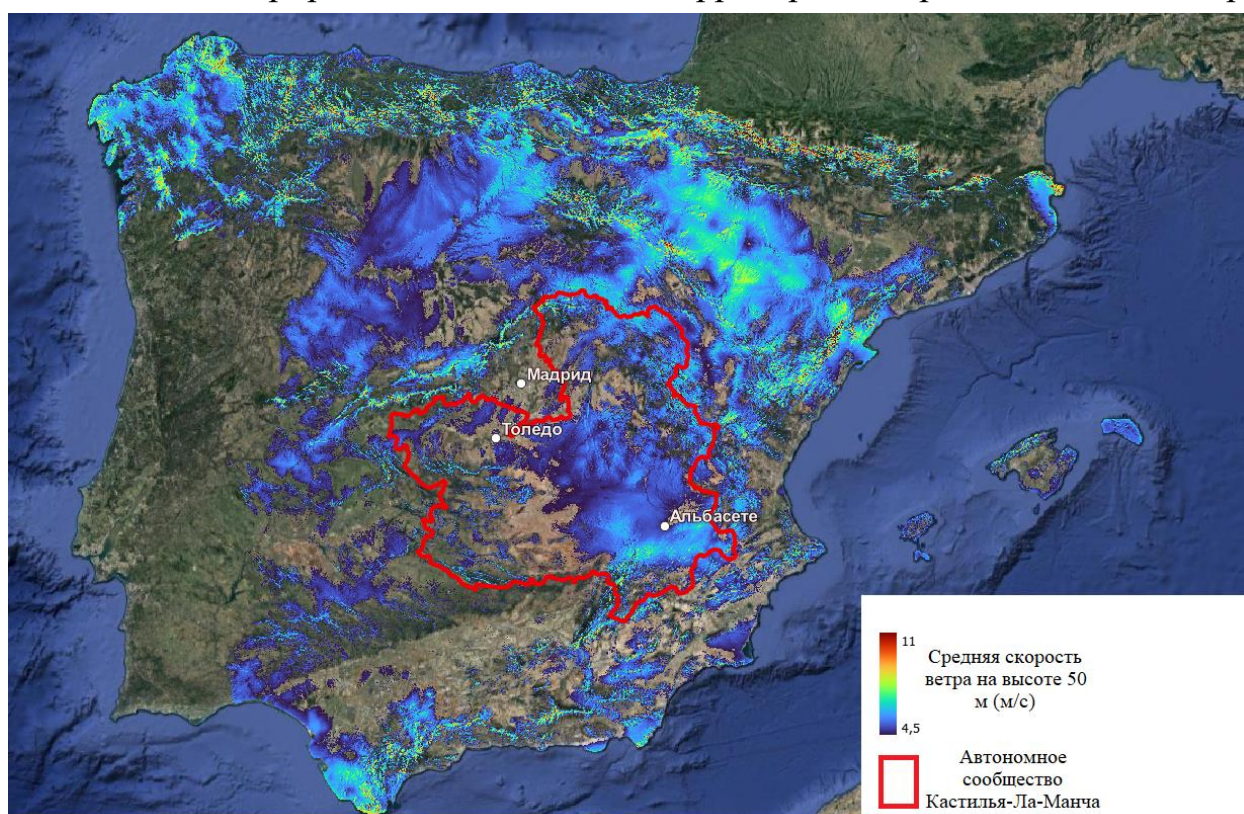


Рис.6. Средняя скорость ветра в Испании (м/с) на высоте 50 метров, с учетом скоростей выше 4.5 м/с. Сост. авт. по [164].

Ярким примером данного утверждения служит Испания. Большая часть ветряных мельниц страны находилась в пределах исторической области – Ла-Манча, увековеченная Сервантесом в романе «Дон Кихот». На это повлияло 3 сугубо географических фактора – достаточно высокая скорость ветра (Рис.6), уникальный климат, способствующий произрастанию злаковых культур, а также близкое

расположение области как к городам, так и к Средиземному морю, одной из главных транспортных артерий античности и средневековья.

При изучении данных расположения и мощности современных ветроэнергетических станций Испании, можно отметить, что из всех автономных сообществ страны, по выработке энергии на ВЭС Кастилия-Ла-Манча занимает 3е место (4.435 МВт - 14% от общей выработки), уступая лишь сообществам Кастилия-Леон (23%) и Арагон (16%) (по данным на 2021 год) [113]. При этом, факторы размещения аналогичны тем, которые применялись и при постройке ветряных мельниц (за исключением произрастания зерновых) – скорость ветра и близость крупных городов – Мадрида, Толедо, Альбасете.

Примеры первых попыток промышленного применения возобновляемых источников энергии следует искать в период с середины XIX до начала XX веков. К примеру, в случае с ветроэнергетикой, такой опорной точкой можно считать изобретение шотландским исследователем Джеймсом Блитом первой в истории ветряной турбины (1887 год) [141]. Следующим значимым этапом стало внедрение русским ученым В.П. Ветичкиным теории идеального ветроколеса. Данное исследование является важной вехой в изучении физических основ ветроэнергетики. Первая относительно крупная ВЭС, мощностью 1.25 МВт, была построена компанией S.Morgan Smith в городе Каслтон, штат Вермонт (США).

Для солнечной энергетики за точку отсчета можно принять создание Чарльзом Фриттсом первой в истории фотогальванической ячейки на основе селена, с последующей ее установкой на одной из Нью-Йоркских крыш в 1884 году [73]. В промышленный оборот данные технологии вышли в 60-х годах, когда японская компания Шарп (Sharp) начала массово производить солнечные батареи, которые стали выходить на рынок, что стало возможным благодаря высоким темпам роста промышленности Японии, в том числе в сфере электронных компонентов.



Поворотным моментом для развития возобновляемой энергетики в целом стало нефтяное эмбарго 1973 года. Его последствия были настолько ошеломляющими для Соединенных Штатов и других развитых стран Запада, что они начали активно реформировать свои энергетические структуры, в том числе и в сторону развития альтернативной энергетики [31]. США, по сути, стали лидером в проведении в жизнь идеи внедрения возобновляемых энергоресурсов, однако причины стоит искать в первую очередь в желании снизить свою зависимость от экспортной нефти (в главной степени от стран Ближнего Востока), а не в стремлении достичь экологически стабильной ситуации.

Можно смело утверждать, что двигателем развития альтернативной энергетики стали именно геополитические причины, будь то арабо-израильская война 1973 года, или Исламская революция в Иране 1979 года, спровоцировавшая последующий нефтяной кризис. В том числе поэтому изучение вопроса возобновляемой энергетики актуально именно с позиции географической науки.

Именно под патронатом США, в 1974 году в Париже было образовано Международное энергетическое агентство (IEA, МЭА). Помимо задачи стать противовесом и оппонентом уже существовавшего ОПЕК, МЭА преследовал и преследует цели развития альтернативной энергетики, как для содействия экологической политике, так и для изменения мировой энергетической структуры в пользу развитых западных держав. Помимо создания энергетического агентства важно отметить принятие в 1978 году Соединенными Штатами Федерального закона «О национальной энергетике» (NEA) [3]. Интерес к данному документу может быть вызван тем, что это один из первых в истории законов, который серьезно рассматривал перспективы внедрения возобновляемых энергоресурсов в крупных промышленных масштабах.

К 1980 году 54% (26,6 ТВт·ч) всей мировой электроэнергии вырабатываемой с помощью возобновляемых источников энергии производилось в США (по данным British Petroleum, далее BP), при этом речь не идет о солнечной и ветровой энергии, развитие которых наступит позже. В целом, весь период от начала промышленного применения возобновляемых источников, до 1990 года, можно наблюдать гегемонию штатов в сфере нетрадиционной энергетики (Рис.7).



Рис.7. Динамика выработки электроэнергии с помощью возобновляемых источников (ТВт·ч). Представлены страны-лидеры на 2000 год. Сост. авт. по [167].

Своё влияние на развитие альтернативной энергетики сыграла катастрофа на Чернобыльской АЭС, которая поставила под вопрос безопасность электроэнергии, произведенной с помощью атома. В том числе и это событие стимулировало страны начать разработки в сфере альтернативной энергетики, что привело к постепенному изменению соотношения между различными странами в данной сфере.

На начало 2000 года, доля США сократилась на 33%, в свою очередь активный рост наметился в Японии, Филиппинах и Мексике. Последние, используя свое физико-географическое положение, начали развивать геотермальную энергетику. Более того, к середине 80-х годов, 1/5 всей электроэнергии Филиппин

вырабатывалась именно за счёт возобновляемой энергии. Явный успех страны в сфере использования своего физико-географического потенциала был отмечен, и Филиппины стали своего рода флагманом развития геотермальной энергии. В данном контексте стоит отметить исследование Рудольфа Дж. Биршика «Филиппины. История геотермального успеха», опубликованное в журнале Геотермальная энергетика [62].

Аналогичные процессы происходили и в Японии. На 2000 год в стране функционировало 18 геотермальных станций (ГеоЭС), большая часть из которых располагались на севере острова Хонсю, и на острове Кюсю. При этом, важно отметить, что первые в стране разработки в данном направлении начались еще в 1925 году с постройкой первой геотермальной станции в префектуре Оита (о. Кюсю). Однако последующее активное и истощающее для экономики участие Японской империи во II мировой войне приостановило практическое применение имевшихся наработок до середины 60-х годов.

На рубеже веков, геотермальная энергетика была одним из лидеров в сфере альтернативной энергетики. Главный вклад в эту статистику вносили страны, территории которых находятся (частично или полностью) в зоне Тихоокеанского огненного кольца. Под данный фактор подпадают и Соединенные Штаты, ведь большая часть их геотермальной энергии вырабатывалась и вырабатывается именно в западных штатах, и в первую очередь в Калифорнии.

Отдельно в этот период стоит выделить высокие показатели Мексики. Главной причиной развития геотермальной энергии в данной стране является высокий потенциал данного типа энергоносителя, за счет нахождения большей части страны в тектонически активной зоне. Аналогично Соединенным Штатам, в первую очередь речь идет о западных штатах государства. Однако, ряд исследователей выделяют геотермальные провинции по всей территории страны. К примеру, Р. М. Прол-Ледезма в своем исследовании выделяет 11 таких территорий [144], чуть ранее В. Торрес-Родригез выделял 9 таких провинций [177]. Освоение

описываемого выше источника возобновляемой энергии происходило и в других странах, находящихся на периферии Тихого океана, однако их показатели были не столь велики: Индонезия – 4.8 ТВт·ч, Новая Зеландия – 3.9 ТВт·ч, Чили – 1.4 ТВт·ч. Суммарная выработка на ГеоЭС этих стран равнялась Филиппинской (на 2000 год).

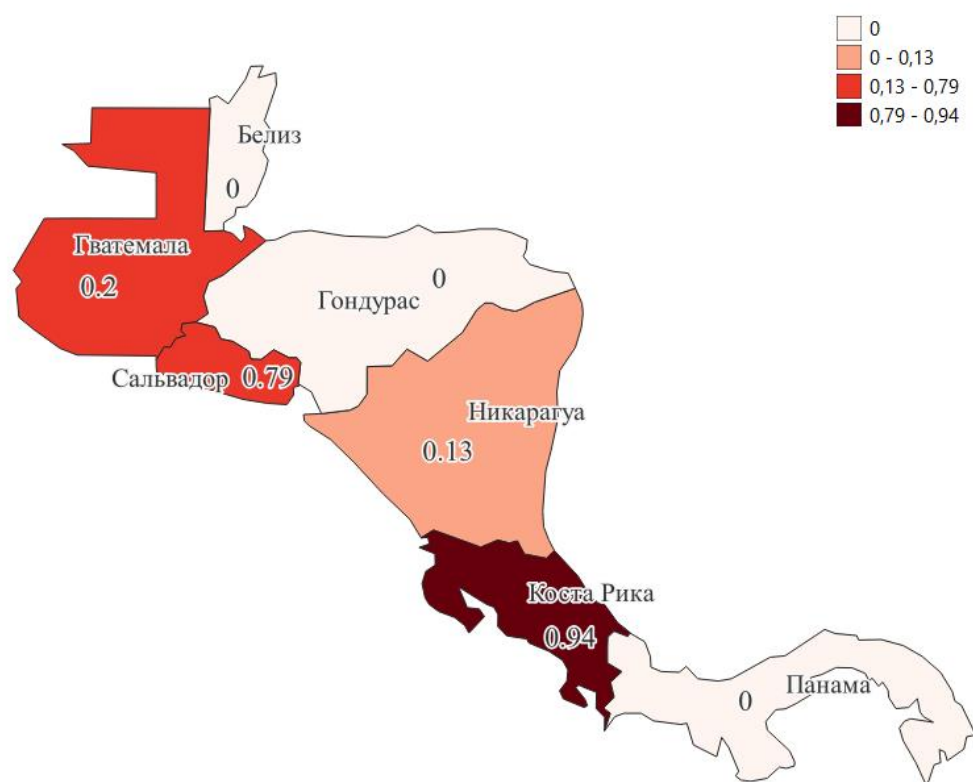


Рис.8. Выработка электроэнергии в странах Центральной Америки с помощью термальных источников энергии (ТВт·ч). Сост. авт. по [168].

Свою лепту в общее развитие геотермальной энергетики внесли и страны Центральной Америки (Рис.8). Несмотря на невысокий уровень экономического развития региона в целом, ряд государств обратили свое внимание на современные виды выработки электроэнергии. К примеру, в Коста-Рике за 2000 год было выработано чуть менее 1 ТВт·ч электроэнергии, а в Сальвадоре чуть менее 0.8 ТВт·ч. В случае с Коста-Рикой, важной причиной активного развития как нетрадиционной энергетики в целом, так и термальной в частности, стал приток инвестиций в данные направления, благодаря финансам, освободившимся после расформирования армии Коста-Рики в 1948 году [57].

Италия, хоть и не относится к Тихоокеанскому огненному кольцу, также активно развивала геотермальную энергетику, что не характерно для большинства других европейских стран. Более того, Италия первой в мире запустила геотермальный генератор (1904 год) и вплоть до конца 50-х являлась единственным в мире производителем геотермальной энергии в крупных масштабах [176]. Помимо физико-географических предпосылок, которые объясняются положением страны в сейсмически активной зоне, последующему росту суммарной мощности ГеоЭС способствовал период «итальянского экономического чуда», в который государство могло финансировать исследования в данном направлении. Однако с окончанием вышеупомянутого периода, развитие геотермальной энергетики в стране остановилось вплоть до середины 90-х годов.

Таким образом, можно выделить сформировавшийся к 2000 году тихоокеанский кластер по производству геотермальной энергии, в составе: США, Мексика, Япония, Филиппины, Новая Зеландия, Индонезия, Чили. Италия в свою очередь являлась единственным европейским представителем в данном списке на рубеже веков.

Многие развитые страны европейского континента, не имея физико-географической предрасположенности поддержать тренд развития геотермальной энергетики, сфокусировали свои усилия на других направлениях нетрадиционной энергетики. В период становления и начала активного промышленного использования альтернативной энергетики многие развитые страны Западной и Северной Европы обратили свое внимание на ветроэнергетику. Важно заметить, что речь в первую очередь идет именно о развитых странах, поэтому Восточная и Южная Европа (за исключением Италии и Испании) к началу XXI века не отличались даже малыми показателями производства энергии с применением возобновляемых источников. Одной из ключевых причин данного явления являлось экономическое отставание вышеупомянутых регионов.

Развитие нетрадиционной энергетики напрямую зависело и зависит от государственных и частных инвестиций, а также крупных послаблений от правительств. Таким примером является внедрение «зеленых тарифов» (feed-in-tariff). Они позволяют снизить риски для производителей, использующих возобновляемые ресурсы для производства электроэнергии. Необходимость дополнительно стимулировать разработки в сфере «зеленой» энергетики делает ее роскошью, на которую могли пойти в первую очередь развитые страны, что объясняет существовавшую на период рубежа веков мировую энергетическую структуру.

Странами-пионерами в области ветроэнергетики стали страны севера европейского континента, Испания, а также Соединенные Штаты. Последние инвестировали свои ресурсы во все сферы возобновляемой энергетики, в связи с тем, что:

1. На период начала активного использования нетрадиционных энергоресурсов, экономическая ситуация в штатах была наиболее благополучна, что позволяло обеспечивать дорогостоящий процесс интеграции альтернативной энергетики в общую энергетическую систему страны
2. США обладают большой территорией с разнообразными природными условиями, что является одним из ключевых факторов для развития альтернативной энергетики (в том числе и ветровой)

На 1990 год, в общемировом секторе ветровой энергетики на долю США приходилось 78%, но уже к 2000 году доля упала до 18%, при абсолютном приросте выработки на ВЭС в стране в 2 раза (от 2.8 до 5.6 ТВт·ч). Это явилось следствием активного роста данного сектора в Европе. Локомотивом описываемого процесса стала не только Германия, испытывавшая на тот момент экономический рост, в том числе и за счет объединения ФРГ и ГДР, но и другие развитые страны северной и западной Европы. Развитие ветроэнергетики в данном регионе явилось следствием с одной стороны необходимостью увеличения доли нетрадиционной энергетики в

энергосистеме стран, входящих в Международное энергетическое агентство (МЭА), а с другой стороны имеющимся потенциалом к постройке и эксплуатации ВЭС и отсутствием потенциала для развития других видов альтернативной энергетики.

Безусловно, развитые европейские страны имели финансовую возможность для инвестирования в любую сферу, связанную с возобновляемыми источниками энергии, однако первоочередным в данном случае опять выступает физико-географический фактор. Геотермальная и солнечная, как основные конкуренты ветровой энергетики, не могли составить конкуренцию последней именно из-за природных критериев. Высокая средняя скорость ветра в северной и западной Европе, вкупе с небольшим приходом солнечной радиации и слабым потенциалом к постройке ГеоЭС, определили ветроэнергетическое будущее данного региона.

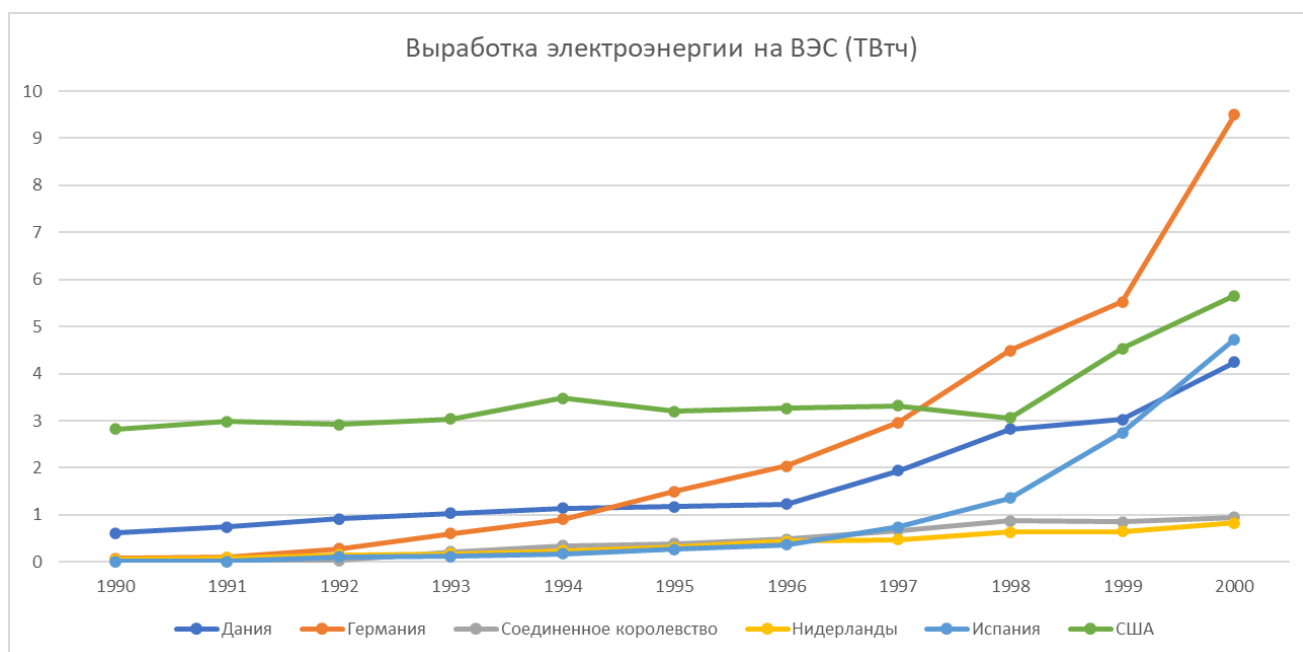


Рис.9. Динамика выработки электроэнергии с помощью ВЭС (ТВт·ч). Сост. авт. по [167].

На период с 1990 по 2000 годы основной прирост среди европейских стран в суммарной мощности ВЭС можно отметить в Германии, Дании, Великобритании, Нидерландах и Испании (Рис.9). Данный список могла пополнить и Франция, однако правительство последней в первую очередь обращало внимание на развитие атомной энергетики, что в том числе объясняет современную энергетическую

структуру страны (около 70% всей электроэнергии Франции вырабатывается на АЭС, по данным МЭА [90]).

Интересна разница между Соединенным Королевством и Германией. Несмотря на схожую среднюю скорость ветра в ряде регионов (в Германии особенно стоит выделить северные территории, в частности, Шлезвиг-Гольштейн и Нижнюю Саксонию), а также близкий уровень экономического развития, в период 90х годов, показатели развития ветроэнергетики в Германии на порядок выше, чем у Великобритании и Северной Ирландии. Ряд исследователей, к примеру Л. Батлер и К. Ньюхофф [65], отмечают разницу в подходе правительств стран к стимулированию сектора альтернативной энергетики к развитию. Одна из возможных причин кроется не в природных или геополитических особенностях стран, а именно в экономическом подходе к вопросу.

Как упоминалось ранее, развитие альтернативной энергетики возможно при активных инвестициях или государственной поддержке. На описываемый период времени в Германии была применена схема под названием «Feed-in tariff», при которой энергия, произведенная с помощью возобновляемых источников (в данном случае на ВЭС), покупалась по фиксированной цене. В свою очередь, в Соединенном Королевстве использовалась другая система – RO (Renewables obligations). Она работала по следующей схеме: производитель должен был вырабатывать определенную установленную долю электроэнергии с помощью возобновляемых источников, в противном случае данный производитель обязан был приобретать так называемые «зеленые сертификаты» у тех, кто вырабатывал «зеленую» электроэнергию в достаточных или превышающих установленные нормы объемах [65].

По сути, Великобритания и Германия провели близкий к идеальному экономико-географический эксперимент, продемонстрировав систему «кнута и пряника», в которой мягкие меры поддержки Германии оказались более жизнеспособны, чем ограничения, введенные в Британии.



Лидерами ветроэнергетического сектора Азии на рубеже веков стали Китай (в меньшей степени) и Индия (в большей степени). Последняя вырабатывала около 1,6 ТВт·ч в год (по данным на 2000 год), что равнялось показателям Нидерландов и Соединенного Королевства в сумме. Выделяется несколько причин, объясняющих относительно высокие показатели Индии в данном направлении.

В первую очередь, важно отметить удачное географическое расположение страны. Часть ее западных и юго-западных штатов, расположены в зоне тропического муссонного климата, который характеризуется достаточно высокой средней скоростью ветра. Также стоит упомянуть тот факт, что в связи с большой протяженностью береговой линии (около 7600 км), в случае с Индией необходимо рассматривать и потенциал шельфовых ветроэлектростанций.

Во-вторых, на период 90-х годов в Индии пришелся экономический рост, связанный с принятием ряда мер по развитию страны, в числе которых снижения пошлин на импорт. В контексте рассматриваемых событий, важно отметить и то, как именно происходил переход Индии на рельсы новой экономической политики. Плавная смена вектора, с сохранением опоры на внутренние ресурсы, стала мощным импульсом развития, в концепцию которого легли и изыскания в ветроэнергетике, начавшиеся задолго до 1990 года и являющиеся третьей причиной относительно высоких показателей Индии по выработке электроэнергии на ВЭС.

В 1960м году в Индии, было создано подразделение по ветроэнергетике, входившее в состав Национальной аэронавигационной лаборатории (NAL), которое в том числе занималось и оценкой потенциала страны в вышеупомянутом направлении энергетики [185]. Исследования проводимые на базе подразделения, основывались как на теории, так и на практических данных, получаемых с малых ВЭС, расположенных в различных частях страны. В результате был получен большой пласт информации, на основе которого разворачивалась последующая масштабная программа по постройке станций [132].

В 1982 году, под эгидой Министерства энергетики, был сформирован Департамент по нетрадиционным источникам энергии, который впоследствии был реорганизован в Министерство по нетрадиционным источникам энергии (с 2006 года – Министерство по новой и возобновляемой энергетике) [186]. В результате работы данной организации, к началу XXI века, Индия смогла выйти на 5е место в мире по выработке электроэнергии на ВЭС (1-е место в Азиатском регионе). По состоянию на 2002 год, большая часть генерации пришлась на южные и западные штаты (Рис.10).

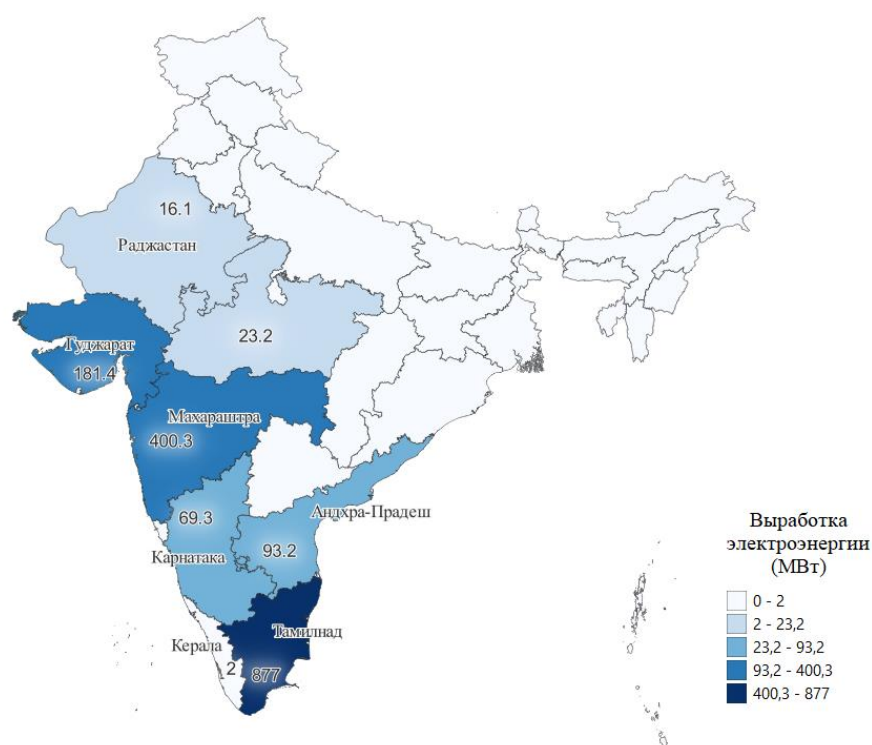


Рис.10. Выработка электроэнергии на ВЭС в штатах Индии по состоянию на 2002 год. Сост. авт. по [187].

Суммируя вышесказанное, можно утверждать, что на начальном этапе формирования ветроэнергетики не как экспериментальной, а как действующей в приближенном к промышленным масштабам отрасли, выявилось несколько потенциальных лидеров, наиболее успешно использовавших свой географический потенциал.

В Северной и Западной Европах таковыми стали – Германия, Дания (в том числе имея выработку на шельфовых ВЭС), Соединенное Королевство, а также Нидерланды (Рис.11). В южной Европе единоличным лидером стала Испания. В Северной Америке главенствовали Соединенные Штаты, а в Южной Азии лидером стала Индия, чью монополию на континенте в целом начал оспаривать Китай.

В случае с другими макрорегионами, относительно приемлемыми для общей статистики цифрами могли похвастаться: Северная Африка (0.2 ТВт·ч в год в сумме), за счет Марокко, Египта и в меньшей степени Туниса, а также Центральная Америка, в первую очередь благодаря Коста-Рике – одной из первых стран Латинской Америки, начавшей освоение данного ресурса [77].

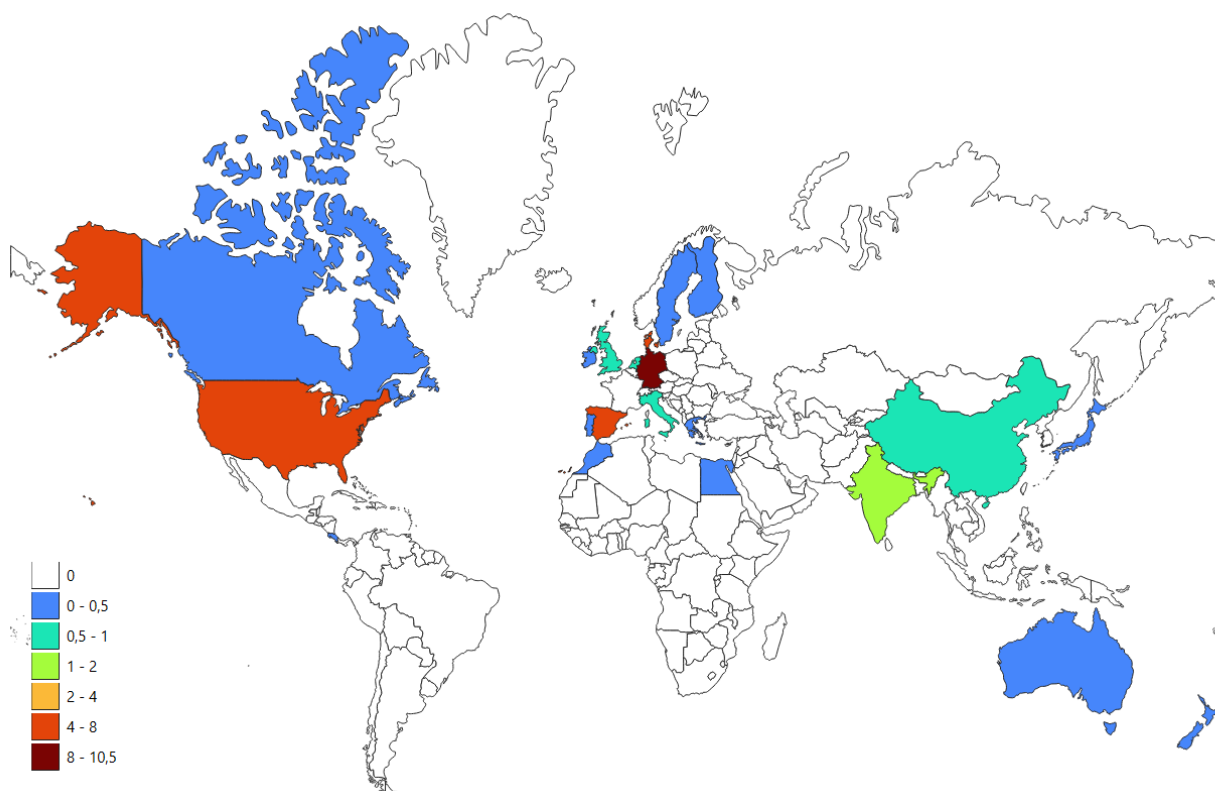


Рис.11. Производство электроэнергии на ВЭС в 2000 году (ТВт·ч). Границы государств соответствуют 2000 году. Сост. авт. по [167].

По состоянию на 2000 год, солнечная энергетика сильно отставала по темпам развития, как от геотермальной, так и от ветровой. Первопричиной данной тенденции явилась разница в стоимости производства между указанными видами электроэнергии, которая стала нивелироваться только последующим

технологическим развитием. Из всех стран, на указанный год можно выделить лишь США (0.5 ТВт·ч) и Японию (0.3 ТВт·ч).

Аналогичная ситуация сложилась и в случае с использованием энергии океана. Несмотря на большой теоретический потенциал внедрения «морской энергетики» во многих прибрежных территориях, что отмечалось и в конце XX века [92,143], фактически суммарная генерация энергии, полученной при помощи приливов, волн, солёности, разницы температур в океане и течений составила около 0.55 ТВт·ч. Абсолютным лидером по выработке стала Франция, имевшая 15ти кратное превосходство над расположившейся на второй строке рейтинга Канадой.

Географический фактор играет важную роль в развитии и другого вида альтернативной энергетики – производства биотоплива. Большая часть биологического топлива относится к категории твердого топлива. Фактически оно (в виде дров) и было одним из первых видов энергоносителей, используемых человечеством. Географический фактор в данном случае выражался, к примеру в площади территории, занятой лесами. Неудивительно, что к 2000му году лидерами по производству биотоплива (помимо вездесущих в сфере альтернативной энергетики Соединенных Штатов), стали Финляндия, Канада и Бразилия – страны, где лесное хозяйство играет одну из ключевых ролей в экономике.

### **1.3 Водородная энергетика: характеристика и ключевые направления развития**

Одной из важных составляющих «энергетики будущего» является водород. Сразу стоит отметить, что водородная энергетика по своей сути не связана с использованием возобновляемых источников энергии, так как являет собой более обширное явление. Важной особенностью водорода, как энергоносителя является возможность его транспортировки и использования как горючего топлива.

Водородную энергетику нельзя ставить в один ряд с другими видами альтернативной энергетики, в частности с солнечной, ветровой или атомной, так как сам водород (на данный момент) технически не является источником энергии. Причиной данного определения является тот факт, что при производстве водорода, затрачивается больше электроэнергии, чем можно получить при его последующем использовании. Согласно исследованию международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), для производства методом электролиза 1 килограмма водорода энергоемкостью около 143 мегаджоулей (около 40 кВт) требуется по разным оценкам от 50 до 83 кВт электроэнергии [103]. Данные цифры справедливы при использовании наиболее эффективных промышленных методов электролиза – с использованием протонообменной мембраны (PEM) или же щелочного электролиза (Alkaline). Потенциально существуют и более эффективные методики, к примеру использование твердооксидного топливного элемента (SOEC). Согласно оценкам IRENA, для производства 1 кг водорода с применением вышеупомянутых технологий требуется 45-55 кВт электроэнергии [103], однако исследования в данном направлении пока что не вышли на промышленные рельсы и рассматриваются на перспективу. На аналогичной стадии находятся и исследования, посвященные электролизу с использованием анионообменной мембраны (AEM), однако затраты на производство килограмма водорода данным методом выше, чем в случае с SOEC и колеблются между 57 и 69 USD [103].

Важно отметить, что к рангу альтернативной энергетики принято относить только тот водород, который был произведен с использованием возобновляемых источников энергии (в первую очередь ветра и солнца). В общепринятой классификации такой водород именуется как «зеленый».

В зависимости от методов ранжирования выделяется от 3 до 12 групп водорода. Наиболее распространена методика, при которой в основу классификации положены такие факторы производства водорода как: метод, количество выбросов углекислого газа в атмосферу, а также стоимость

производства. Многие исследователи, к примеру Х. Аркос, Д. Сантос [52], А. Аянович [44] выделяют следующие классы:

*Зеленый водород.* Водород, произведенный методом электролиза воды с использованием возобновляемой энергетики (в первую очередь ветровой и солнечной)

*Розовый водород.* Производится методом электролиза воды с использованием атомной энергетики.

*Фиолетовый водород.* Производится объединенным методом электролиза и термохимического расщепления воды с использованием атомной энергетики.

*Красный водород.* Производится методом высокотемпературного (500°C-2000°C) каталитического расщепления воды с использованием атомной энергетики [111].

*Желтый водород.* Производится методом электролиза воды с использованием электроэнергии из общей сети (в том числе полученный и на АЭС).

*Серый водород.* Производится методом паровой конверсии (риформинга), автотермического риформинга или частичного окисления метана.

*Бирюзовый водород.* Водород, полученный методом пиролиза метана.

*Коричневый водород.* Производится методом газификации бурого угля.

*Черный водород.* Производится методом окисления нефти и черного угля (каменного и антрацита).

*Голубой (синий) водород.* Производство базируется на использовании традиционных ископаемых источников энергии, но с использованием специальных «карбонных» ловушек, для предотвращения попадания углекислого газа в атмосферу.

*«Водный» водород (AquaHydrogen).* Представляет собой уникальную технологию, разработанную университетом Калгари и частной канадской компанией «Proton Technologies». Суть производства заключается в помещении кислорода в герметичный топливный резервуар между горными породами (с использованием неочищенной нефти в качестве топлива), где впоследствии

образуется смесь монооксида углерода и водорода называемая синтез-газ (водяной газ) [192].

*Белый водород.* Природный водород, который встречается в газообразном состоянии в слоях континентальной и океанической коры, гейзерах, геотермальных объектах.

Данная классификация, является одной из наиболее подробных из числа ныне существующих и учитывает новейшие достижения в области получения описываемого энергоносителя.

Важно отметить, что деление водорода «по цветам» не является абсолютным, и крайне редко используется в официальных правительственных документах, к примеру в концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации [30] или водородной стратегии Европейского союза [86]. Существует большое количество разногласий даже внутри упомянутой выше системы классификации «по цветам». В сентябре 2022 года, в докладе комитета по устойчивой энергетике Организации объединенных наций было описано 7 классов водорода [41]. В отличие от классификации представленной Аркосом [52], в систематике комитета отсутствуют «белый» и «водный» водород, «черный» и «коричневый» объединены в единую группу, а «фиолетовый» и «красный», по сути, объединены в единый класс, как водород, произведенный с помощью энергии АЭС и методами отличными от электролиза.

Отсутствие единой классификации является преградой для исследований и налаживание рыночных отношений между государствами в сфере водородной энергетики. Это отмечается как ЕС, так и Россией, в концепциях по развитию данного направления энергетики [30,86]. Создание такой классификации является одной из первоочередных задач, которые стоят перед исследователями в области альтернативной энергетики.

Одной из сложностей является периодическая трансформация критериев оценки, а именно влияние технологического прогресса, как на количество методов получения водорода, так и на себестоимость производства. Помимо этого, нет

единого мнения и по теме углеродного следа, низкие значения которого в ряде способов получения водорода и привлекают правительства, стремящиеся к достижению углеродной нейтральности.

Европейская экономическая комиссия занимается вопросом распространения на водородную энергетику своей системы рамочной классификации ресурсов (РКООН), в качестве одного из возможных методов решения проблемы систематики водорода [41]. Одним из ее весомых преимуществ является то, что благодаря отходу от стандартной линейной двумерной классификации в сторону трехмерной, удалось учесть большее количество факторов. Схема ранжирования учитывает 3 фактора, а именно: *техническую осуществимость проекта, экологическую и социально-экономическую жизнеспособность, степень достоверности оценки объема получаемой продукции.*

Перенос данного метода на водородную энергетику является одним из возможных решений проблемы ее классификации. Безусловно, учитывая высокий темп развития технологий, а если водородная энергетика действительно будет оправдывать ожидания, стоит ожидать и рост инвестиций, как частных, так и государственных, что приведет к большему росту технологического обеспечения процесса как производства и транспортировки водорода, классификация с учетом вышеупомянутых параметров неизбежно будет устаревать. Особенно это может коснуться пунктов о технической осуществимости. Так же важно учитывать и пространственные факторы, которые будут различаться для различных типов водорода.

Суммируя вышесказанное, важно отметить, что на настоящее время при проведении исследований в сфере водородной энергетики, можно опираться именно на классификацию водородной энергетики «по цвету». При этом возможно использовать любую из них, так как многие понятия, к примеру «зеленый» водород едины для всех схем, а различия (особенно в количестве типов) можно варьировать в зависимости от параметров самого исследования.



Исследования, посвященные всестороннему изучению «зеленого» водорода приобретают всё большую актуальность. Основной причиной является постепенный передел, происходящий в энергетической сфере и той доле, которую потенциально может занять водород в новом энергетическом миропорядке. Существует большое количество дорожных карт, программ и стратегий, рассматривающих потенциальное увеличение доли альтернативной энергетики. В случае с водородом, бóльшая часть таких документов нацелена на 2050 год.

По оценкам многих международных аналитических агентств и компаний, к 2050 году доля водорода в общемировом энергетическом «пироге» может составить от 12 до 22 процентов, причём большая часть должна приходиться именно на зелёный водород. Причина столь пристального отношения именно к этому типу изучаемого энергоносителя кроется в общемировом стремлении к снижению нагрузки на окружающую среду. Это подтверждает тот факт, что зелёный водород находит своё место в различных программах и стратегиях, направленных в том числе на снижение углеродного следа, а именно: Net Zero за авторством Международного энергетического агентства [97], Green Scenario разработанный Bloomberg NEF [66], 1.5<sup>0</sup> scenario от Международного агентства по возобновляемым источникам энергии [189] (Рис.12).

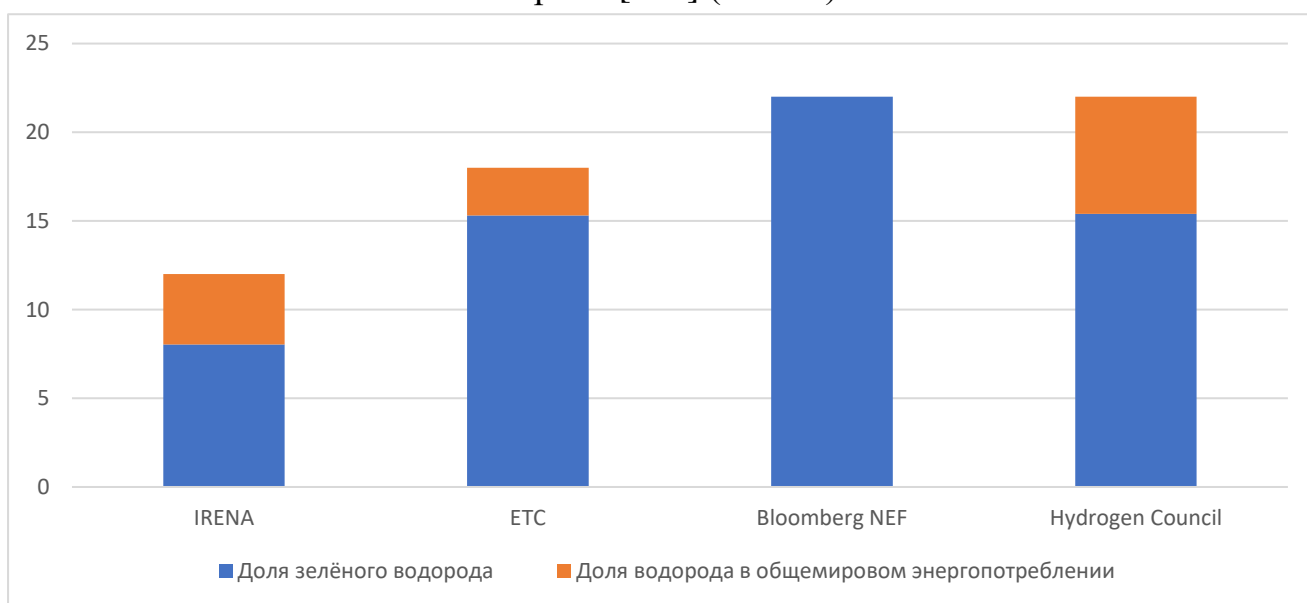


Рис.12. Доля водорода в целом и зелёного водорода в частности в общемировом энергопотреблении на 2050 год, по прогнозам различных аналитических компаний. Сост. авт. по [93].

Безусловно любые прогнозы, повествующие о том или ином явлении, имеющим тесную связь с экономикой, не могут претендовать на абсолютную точность, однако то, что водород может получить достаточно весомую долю в мировом энергобалансе уже к середине XXI века подтверждает большой интерес со стороны многих стран мира.

Периодические вспышки заинтересованности в водородных проектах возникали с начала нынешнего столетия и в основном были связаны с периодическими изменениями на рынке нефти и газа. Но с конца 2010-х годов, когда вопросы, связанные со стабилизацией и последующим улучшением экологического состояния планеты, начали рассматриваться уже с практической точки зрения, проблемы водородной энергетики обрели свои первые контуры уже на государственном уровне.

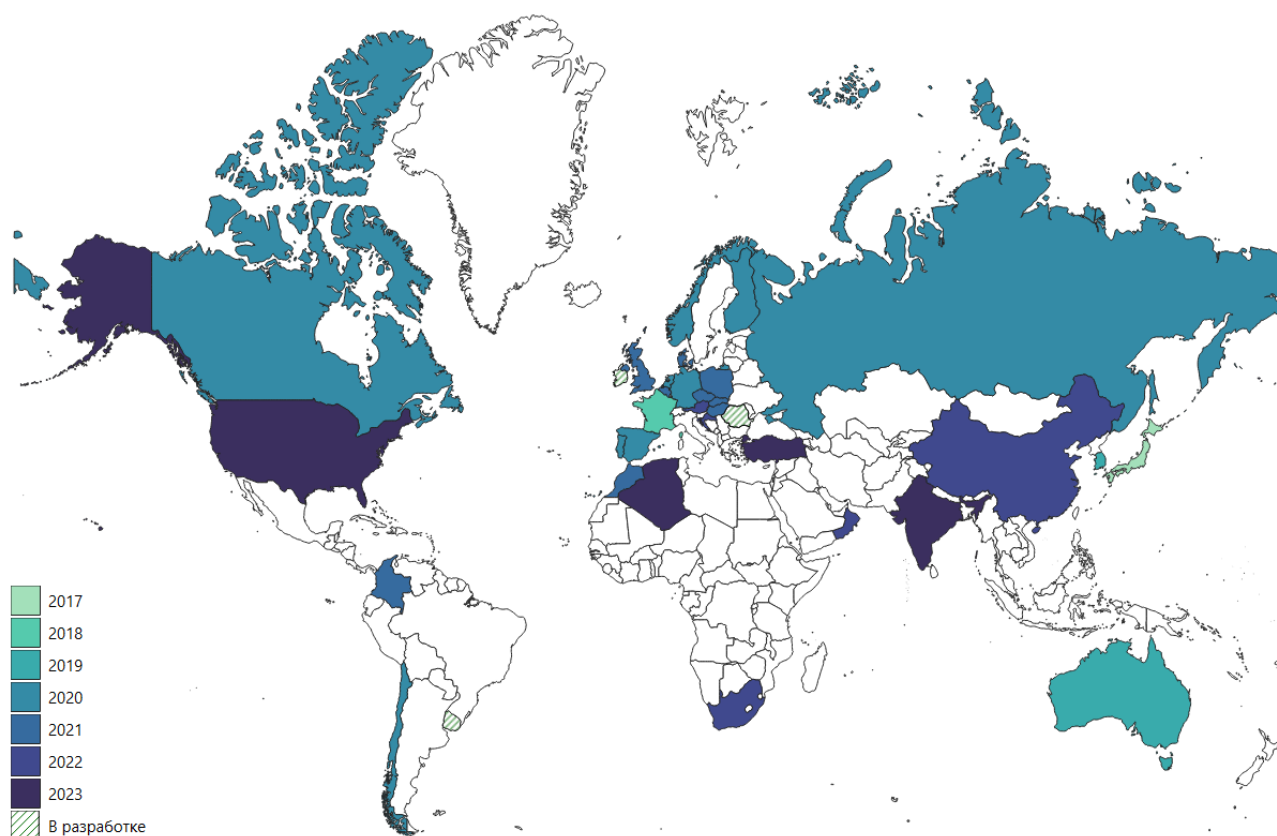


Рис.13. Год введения программы по развитию водородной энергетики. Сост. авт. по [114].

Одной из первых стран, которая ввела в оборот стратегию по развитию водородной энергетики, стала Япония. Данный документ был датирован декабрём

2017 года [61]. Чуть позже, в 2018 году свою стратегию, первой из европейских стран, разработала Франция [138], а в 2020 году, в том числе и на базе первой появилась стратегия по развитию «зелёного» водорода. С того времени подобные стратегии, дорожные карты и концепции были разработаны многими странами мира, в том числе и Российской Федерацией (Рис.13) [35,114].

Практически во всех разработанных водородных стратегиях, отдельно выделяется экологическая составляющая данного вопроса. Выделяются и роли водородной энергетики, как ныне существующие, так и планируемые. По состоянию на 2022 год подавляющая часть водорода используется в двух направлениях – в нефтепереработке (около 53 млн. тонн в год), к примеру для снижения содержания серы в дизельном топливе и в отдельных производствах как сырье для химической промышленности (около 41 млн. тонн в год). В случае с последней, 60% водорода приходится на производство аммония, 30% - на производство метанола, и около 10% в качестве восстановителя для сталелитейной промышленности [98]. Важно отметить, что 38% потребления водорода приходится на две страны, входящих в БРИКС, а именно Китай и Индию.

Несмотря на, то, что на данный момент водород используется в основном в двух направлениях, диапазон его потенциального применения намного шире. Одним из векторов применения водорода является транспорт. По данным международного энергетического агентства, с 2020 года масштабы применения водорода, как топлива для двигателей, используемых в дорожном транспорте, выросли более чем в два раза (с 15 до 32 тыс. тонн) [98]. При этом половина из этого числа используется, как топливо для автобусов.

Важно отметить, что одним из первых случаев, когда промышленники задумались о применении водорода в качестве топлива для двигателей, произошёл в 1979 году, когда концерн BMW создал автомобиль с подобным типом двигателя. Основным мотиватором для его создания стали нефтяные кризисы 1973 и 1979 годов, что ещё раз подтверждает вышеупомянутую мысль о влиянии катаклизмов

рынка углеводородов на интерес к альтернативной энергетике и, в частности, к водороду.

Так же стоит упомянуть, что на 2022 год, по данным того же МЭА, более половины транспорта на водороде функционирует именно в Китае, а если брать в расчёт весь Азиатский регион, то на него приходится более 75%, благодаря высоким показателям Южной Кореи и Японии. Во многом это объясняется тем, что именно азиатские гиганты автомобилестроения, такие как Тойота, Хонда, Ниссан (все Япония), Хёндэ (Южная Корея) больше остальных заняты производством автомобилей на водороде.

Помимо азиатских стран, нишу в данной сфере начинает захватывать и Германия, в лице БМВ, Ауди (концерн ВАГ) и Мерседес (концерн Даймлер). На данный момент, основным стопором в развитии данного направления, является относительная дороговизна топлива (в частности, на фоне электромобилей). Поэтому потенциальная успешная реализация проектов, определяющих своей целью снижение стоимости производства водорода, может стать толчком к развитию отрасли. Примерами данных проектов служат австралийский «H<sub>2</sub> under 2», а также чилийская стратегия развития «зелёного» водорода, в которую заложен план по достижению самой низкой цены производства – 1.5 USD за килограмм.

Помимо дорожного, водород находит своё применение и в других видах транспорта, в первую очередь в авиации и железнодорожном транспорте. В случае с последним, лидерство делят между собой некоторые европейские и азиатские страны. В Европе наибольший интерес к водородным проектам проявляют Германия и Италия. Последняя инвестирует более 300 млн. евро в развитие ж/д водородной инфраструктуры. В качестве тестовых полигонов были определены 6 регионов: на севере – Ломбардия; на юге - Кампания, Калабрия, Апулия, а также два островных – Сицилия и Сардиния [75].

Не менее важным направлением развития водородной энергетики является электроэнергетика. На данный момент производство электроэнергии с применением водорода, составляет около 0,2% от общемировой выработки. При

этом речь не идёт о использовании «зелёного» водорода, в связи с экономической неэффективностью. Более того, в основном используется не чистый водород, а его смесь с другими газами. Зачастую используется отработанный газ, использовавшийся в чёрной металлургии.

На данный момент предприятия по производству электроэнергии с использованием чистого водорода, в той или иной его форме, в первую очередь локализованы в Азиатско-Тихоокеанском регионе, а также в Соединённых Штатах. По данным Управления энергетической информации США, на декабрь 2022 года в стране функционировало 147 подобных станций суммарной мощностью 350 МВт (при общемировой мощности около 800-900 МВт) [168].

Согласно прогнозам МЭА, в случае успешной реализации заявленных на 2022 год проектов по строительству электростанций на водороде, к 2030 году общемировая суммарная выработка электроэнергии на них составит чуть менее 6000 МВт, около 70% из которой будет производится на парогазовых установках [98]. На фоне остальных видов энергоносителей, в краткосрочной перспективе водород не выделяется конкурентоспособностью в сфере производства электроэнергии. Однако развитие технологического цикла вкупе со стимулирующими решениями правительств различных государств, может повлиять на положительную динамику в данной сфере. Однако точной информации о том, какое направление развития водородной энергетики оправдывает возложенные на него авансы, на данный момент не существует.

Неопределенность прогнозов является характерной чертой любой аналитики, связанной с водородной энергетикой. Это связано, как с непредсказуемостью развития технологий, так и со сложностями геополитических процессов, влияющих на мировую рыночную систему. Ярким примером служит концепция развития водородной энергетики, разработанная правительством Российской Федерации [30]. Согласно данному документу, в РФ планируется создание нескольких кластеров водородной энергетики, в том числе и с ярко-выраженной экспортной ориентированностью. Один из вышеупомянутых производственных кластеров, был

заточен на экспорт водорода в страны Европейского союза. Однако, после усложнения отношений между Россией и странами ЕС, объёмы потенциального экспорта были скорректированы. Отчасти этот процесс коснулся и «Восточного» кластера, в связи с отказом от экспорта в Японию и Южную Корею.

Данная динамика никаким образом не должна сказаться на развитии самих технологий, даже несмотря на то, что именно экспорт рассматривается как одна из главных целей развития в стране водородной энергетики. Во-первых, нельзя забывать об обеспечении внутреннего рынка, во-вторых, наличие современных методов производства и транспортировки водорода, позволит в нужный момент масштабировать экспорт до необходимых размеров, к примеру в случае коренных изменений геополитической обстановки в мире. В-третьих, пул возможных импортеров российского сырья и на 2023 год остаётся достаточно внушительным, в том числе за счёт стран Азиатско-Тихоокеанского региона.

Однако даже без учёта геополитической динамики, прогнозы на количество производимого водорода не претендуют на какую-либо точность. В той же вышеупомянутой концепции, представленной РФ, значения экспорта водорода имели очень существенную дельту: от 2 до 12 млн. тонн в 2035 году и от 15 до 50 млн. тонн в 2050м [35]. На эту оценку наслаивается огромная дифференциация оценки стоимости водорода, к примеру по оценке агентства по возобновляемым источникам энергии, для России «оптимистичный» показатель составит около 1.2 USD/кг, а «пессимистичный» - 1.75 USD/кг. При этом есть страны, для которых дельта на порядок выше, к примеру для Марокко она составляет 0.7USD (от 0.7 USD/кг до 1.4 USD/кг).

Такие исходные усложняют научный подход к данному вопросу, так как любая наука хоть и не всегда может достигнуть, но стремится к достижению точности. В данном случае география имеет чуть более привилегированное положение, так как при оценке, к примеру потенциала развития водородной энергетики на той или иной территории, парадигма географической науки диктует необходимость использования в том числе и природного фактора, который в свою очередь

отличается большей предсказуемостью чем экономический. Комплексность оценки присущая географическим исследованиям в данной сфере, позволяет отчасти нивелировать большую дифференциацию, вызываемую экономической составляющей, позволяя обратить чуть большее внимание на природную целесообразность развития того или иного направления. Очевидным примером может служить то, что многие территории, где может возникнуть потребность в производстве «зелёного» водорода, просто не будут обладать необходимыми природными условиями, причём как со стороны эффективности производства, так и со стороны природных ограничений.

С другой стороны, экономическая составляющая может практически свести к нулю любую возможность использования водородного потенциала территории. На данный момент, Африка обладает наибольшим природным потенциалом к производству «зелёного» водорода, в первую очередь за счёт солнечной энергетики. Однако никто не может гарантировать потребность в произведённом там топливе на внутреннем рынке. Учитывая высокую стоимость транспортировки водорода, данный потенциал не столь эффективен, как кажется, на бумаге. Нахождение баланса между природным и экономическим фактором, есть одна из задач географии, на основе которой и может строиться энергетическое будущее планеты.

#### **1.4 Географические подходы и роль пространственного моделирования в энергетике**

Научные исследования, касающиеся любых видов энергетики (в том числе и альтернативной) особенно интересны тем, что зачастую несут в себе прикладной характер, что тянет за собой необходимость учитывать большое количество разнообразных факторов и обуславливает комплексность ряда исследований. В том числе применяется и географический подход, как с позиции физической, так и экономической географии. В свою очередь вопрос методологии в изучении энергетики расширяется за счет того, что различные методы, будь то методы

пространственного анализа или анализ статистики будут иметь свою специфику в зависимости от точки зрения на вопрос.

В случае со все более популярным в современной науке, комплексным подходом, использование различных методов исследования позволяет получить наиболее объективную картину происходящего и наиболее точно (насколько возможно) оценивать потенциал и предугадывать последствия внедрения и размещения технологий, что, особенно актуально учитывая прикладной характер исследований.

Применение большого количества методов, при проведении исследований может вызвать необходимость в выборе объединяющего звена, на котором можно будет замкнуть результаты изысканий с применением различных подходов. География, выраженная в анализе пространства, может являться основой, на которой будут замкнуты исследования с экологической, технологической и прочих точек зрения. Доказательством тому, может служить тот факт, что в случае с размещением промышленных объектов, в том числе и энергетических, часто оперируют сугубо географическими понятиями и вопросами: расстоянием, количеством населения и в целом расположением населенных пунктов, близостью к транспортным путям, как внутренним, так и международным, физико-географическими особенностями местности. Однако еще раз необходимо акцентировать внимание на том, что именно при учетывании многих факторов, знаний и построенных на их базе исследований (не только географических) можно получить наиболее объективную картину.

Сперва необходимо выделить изыскания в энергетике, которые затрагивают технические вопросы реализации проектов. Успехи в развитии технологий, связанных с альтернативной энергетикой, позволяют увеличивать потенциал территорий для эффективного и безопасного производства электроэнергии и расширять пространственный охват проектов. В случае с географией, особенно интересны технологии, позволяющие решать транспортную задачу, а также более



рационально использовать удачное физико-географическое расположение территорий или же напротив нивелировать природные факторы, которые снижают или исключают эффективность потенциала территорий к производству энергии с помощью нетрадиционных технологий.

Ярким примером данного суждения, является захват географического пространства ветровыми электростанциями. Если изначально они устанавливались лишь на суше, с развитием технологического цикла, появилась возможность размещения ВЭС на шельфе океана. Важной вехой стала постройка в 1991 первого в мире комплекса шельфовых ветроэлектростанций – Виндеби (Дания) [140]. Успешная выработка электроэнергии на данной «ветровой ферме» сменила изначальный скепсис относительно эффективности использования морских электростанций на идею о возможном успешном применении шельфовых ВЭС.

Помимо этого, расширился и пласт географических исследований различных аспектов альтернативной энергетики. К примеру, группа ученых во главе с профессором Корнельского университета – Р. Д. Бартоломью описали метеорологические аспекты влияющие на выработку электроэнергии на шельфовых ВЭС [58]. Компаративный анализ скоростей ветра на берегу и шельфе Северного моря, для оценки потенциала данной акватории для постройки ВЭС, был произведен в 1997 году Д. Келингом [74]. Данный факт еще раз подчеркивает важность применения географического подхода к изучению нетрадиционной энергетики.

Следующее фактическое расширение границ размещения ВЭС, произошло в 2009 году, после постройки первой в мире плавающей ветроэлектростанции – норвежской турбины Nuwind (компании StatoilHydro) [135]. Помимо физико-географических исследований направленных на определение в мировом океане потенциальных точек для размещения аналогичных станций, появляются и сугубо экономико-географические предметы для дискуссий. Особенно интересны в данном случае исследования, касающиеся энергетической безопасности и

межгосударственного сотрудничества. Схожих вопросов касается профессор университета Ньюкасла – Д. МакКиннон [131]. В своей статье он затрагивает вопросы международной легитимизации технологий на примере ветроэлектростанции Huwind Scotland, являющейся плодом совместной работы Норвегии и Шотландии.

Вопросы межгосударственного сотрудничества и трансграничных объектов являются одними из предметов исследования экономической и социальной географии. Поэтому неудивительно, что с постепенным расширением пространственного охвата альтернативной энергетики, вследствие развития технологий, и следующим из этого межрегиональным характером как разработки так размещения предприятий по производству энергии с помощью нетрадиционных источников, географические исследования будут являться одним из краеугольных камней в построении «зеленого» будущего планеты.

Стоит отметить, что и сама идея углеродной нейтральности, которая все больше овладевает умами на различных уровнях, от ученых до мировых элит [14], является географичной по своей сути, так как с одной стороны затрагивает физико-географические и экологические аспекты, а с другой не имеет возможности реализоваться без международного сотрудничества, анализ и выстраивание перспектив которого, является одним из предметов экономической географии.

Развитие технологий в альтернативной энергетике затрагивает и вопросы исследуемые лимнологией. В случае успешного применения вышеупомянутых плавучих ветроэлектростанций и потенциального развития методов передачи электроэнергии, может возникнуть вопрос об активном хозяйственном использовании мирового океана с позиции энергетики. В таком случае неизбежна дискуссия о морских границах, аналогично той, которая перманентно возникает вокруг деления Арктики, или в крайнем случае может привести к ситуации схожей с «тресковыми войнами». Методы, применяемые в экономической географии, в том

числе и пространственный анализ могут быть успешно применены в исследованиях, затрагивающих вышеупомянутые направления.

Суммируя вышесказанное, можно утверждать, что на первый взгляд самые далекие от географии, сугубо технические исследования в энергетике, могут оказывать влияние на изучение вопроса с применением географического подхода.

Помимо технологических изысканий в сфере альтернативной энергетики, можно выделить экологические, экономические и географические исследования. И если граница между исследованиями в технологической среде и вышеупомянутыми сферами относительно заметна, то между последними она подчас стирается, создавая единую систему, в центре которой, по аналогии с кругами Эйлера и находится тот самый комплексный подход к альтернативной энергетике.

Экономические работы, посвященные исследуемому вопросу, зачастую затрагивают темы влияния внедрения технологий альтернативной энергетики на рыночные взаимоотношения и поведение рынка, в том числе через призму необходимости дополнительных инвестиций в данный сектор. Примером исследования данного типа является работа М. Джикуча по инвестиционному потенциалу энергетического сектора Польши [82]. Основной упор автор делает именно на недостаток инвестиций в сфере альтернативной энергетики (в сравнении с другими странами ЕС). Так же в данном исследовании обращается внимание на другую важную тему, часто возникающую как в научной, так и в политической среде, а именно стимулирующие меры для увеличения доли производства электроэнергии на предприятиях, работающих на основе возобновляемых источников.

М. Джикуч затрагивает вопрос повышения платы за выбросы вредных веществ (в частности, углекислого газа) в атмосферу. Не менее интересна в данном контексте работа Д. Бистлайна в которой автор посредством статистического анализа и моделирования оценил, какое влияние могут оказать различные

формулировки мандатов на возобновляемые источники энергии (стимулирующих мер для роста предприятий альтернативной энергетики в различных штатах США) на динамику рынка [63]. Особый интерес вызывает то, что Бистлайн рассматривает проблемы через призму региональной политики, что делает его исследования не столько экономическим, а именно экономико-географическим.

Многие из методов исследования, используемых авторами вышеупомянутых работ, присущи также и географической науке. В их число входят, к примеру построение и анализ таблиц и диаграмм, методы описательной и математической статистики, картографический метод.

Через призму географии затрагиваются и другие вопросы, касающиеся альтернативной энергетики. В их число входят энергетическая безопасность и международное сотрудничество – вопрос, всегда находившийся на стыке географии и экономики [1,33].

Исследования экологической направленности, в которых затрагиваются вопросы альтернативной энергетики, в первую очередь направлены на изучение потенциального и существующего влияния подобных технологий на окружающую среду. В контексте пространственного анализа, экологические нормы устанавливают границы, в пределах которых возможно адекватное и относительно безвредное применение нетрадиционной энергетики. Если учитывать тот фактор, что развитие альтернативной энергетики обусловлено не только необходимостью заменить традиционные углеводороды, запас которых потенциально исчерпаем, но и заботой об окружающей среде, стремлением к неоднократно упоминаемой углеродной нейтральности, экология, вкупе с методами исследования ей применяемыми, должна оказывать влияние на любые планы по развитию «зеленой» энергетики.

Современная наука имеет различные, порой полярные мнения по вопросу влияния предприятий, производящих энергию из альтернативных источников на окружающую среду. Существует ряд исследований, посвященных теоретическому

обзору существующих и потенциальных проблем, возникающих при внедрении «зеленой» энергетики. К примеру, С. Говорушко в своем исследовании рассматривает широкий спектр возможных последствий постройки ВЭС [9]. Ф. Спеллман в своей книге «Environmental Impacts of Renewable Energy» приводит примеры различного влияния практически всех отраслей возобновляемой энергетики на окружающую среду [166].

Методы математического моделирования (являющийся в том числе и одним из основных при проведении пространственного анализа) и статистического анализа красной нитью проходят через многие этапы изучения альтернативной энергетики с позиции экологии. Они позволяют, как оценить риски и последствия постройки электростанции в том или ином месте, так и постфактум оценить масштабы оказанного влияния на экосистему, в том числе и на выбросы углекислого газа в атмосферу. Подтверждением их эффективности является большое количество работ, использующих данные методы.

С. Али в своем исследовании применил методы статистического анализа для оценки последствий влияния атомной и возобновляемой энергетики в Пакистане [47]. Д. Бек применил метод авторегрессии и распределенного лага для оценки взаимосвязи между потреблением электроэнергии, полученной в Соединенных Штатах на предприятиях атомной и возобновляемой энергетик и выбросами CO<sub>2</sub> [56]. Б. Лиддл применил вышеупомянутые методы для изучения корреляции между использованием не ископаемого топлива и выбросами углекислого газа в атмосферу [129]. Данное исследование является весьма значимым, в связи с тем, что при проведение статистического анализа были использованы данные по 93 странам мира, что позволило более комплексно подойти к изучению вопроса.

Из отечественных работ, на подобную тематику стоит особо отметить диссертационное исследование М.И. Саввина по оценке влияния предприятий теплоэнергетики на окружающую среду. Особенный интерес вызывает применение

автором многофакторного анализа с учётом геоэкологических и географических критериев [163].

В ряде исследований метод математического моделирования применяется для прогнозирования потенциальных изменений в географии размещения предприятий альтернативной энергетики при изменении климатических условий как в конкретном регионе, так и на планете в целом. Данные работы уже не являются сугубо экологическими и находятся на стыке геоэкологии, географии и геофизики. Ярким примером подобного исследования служит диссертация И. Сетин из Ближневосточного технического университета, посвященная изучению потенциального влияния изменения климата на ветроэнергетическую ресурсную обеспеченность Турции [71]. В данном исследовании произведен ряд расчетов для оценки изменения скорости ветра и некоторых ветроэнергетических показателей, в том числе и плотности энергии ветра (wind power density [157]), вплоть до 2100 года. Интересно и то, что как в данной работе, так и во многих аналогичных, находят свое применение геоинформационные технологии.

Проведение подобных научных изысканий, требует от исследователей применять технологически наиболее совершенные и современные методы. Геоинформационные системы (ГИС), обладают необходимым инструментарием для проведения географических исследований, связанных с пространственным анализом. Возможность одновременно учитывать большое количество факторов, используя обширную базу данных, а также иметь большой инструментарий для визуализации полученной информации делает ГИС универсальным инструментом для решения задач, которые ставит перед исследователем география. С началом активного применения геоинформационных систем в проведении научных изысканий, появилось большое количество работ по географии альтернативной энергетики, где ГИС стали платформой для объединения и анализа различных факторов, влияющих на итоговый результат.

Если говорить о географии, то в её рамках пространственное моделирование имеет почти двухвековую историю. Элементарным моделированием пространственных эффектов известен И.Г. Тюнен, прибегший в своей работе «Теория сельскохозяйственного штандорта» еще в XIX в. к использованию методов дифференцированного расположения производства в зависимости от транспортного тарифа на единицу расстояния. Позже к методу моделирования прибегали В. Лаунхардт (также ставивший во главу угла при размещении производства тот же тариф), А. Вебер, использовавший в качестве трех базовых факторов не только транспорт, но рабочую силу, агломерацию и т.д. И если они рассматривали закономерности локализации отдельного предприятия (уровень микроэкономики), то А. Леш, В. Кристаллер, У. Айзард, А. Предель, Т. Палландер и др., в отличие от своих предшественников, рассматривали экономическое пространство на мезоуровне.

Конечно, тогда речь шла лишь об отдельных элементах пространственного моделирования, редко взаимосвязанных друг с другом и охватывающих куда меньшие масштабы. Причиной этого являлись, как меньшие вычислительные возможности, так и в некоторой степени, несовершенство математического аппарата. В качестве примера можно привести теорию нечётких множеств, сформулированную Л. Заде только в 1965 году. Многие современные исследования, так или иначе касающиеся пространственного моделирования, имеют под собой фундамент, основанный на нечётких множествах. Соответственно у первопроходцев в области математико-географического исследования земного пространства такой опции не было.

Сегодня же пространственное моделирование – это аналитический процесс, проводимый при помощи ГИС-технологий, а также программирования, в том числе и веб-картирования, с целью анализа основных процессов и свойств для заданного набора пространственных объектов и последующей визуализации. Отсюда, цель пространственного моделирования состоит в том, чтобы иметь возможность

изучать и моделировать пространственные объекты или явления, которые происходят в реальном мире, и облегчать решение проблем и планирование.

На рубеже XX-XXI вв. пространственное моделирование широко проникло в сферу энергетики и, особенно, альтернативной, что во многом объясняется вовлечением в научный оборот многочисленных природных, социальных и экологических детерминантов, а также сильным влиянием природного фактора, на формирование отрасли возобновляемой энергетики.

Пространственный анализ, касающийся различных типов альтернативной энергетики (в том числе с использованием ГИС), производился для разных территорий, с применением различных методов. При этом, большая часть данных научных трудов несет под собой именно географическую, а не сугубо экологическую основу. К примеру, Д. Ли в своем исследовании сконцентрировался на расчете ветроэнергетических показателей для Юго-Восточной Азии [127]. А. Фурнье из Горной школы Парижа, изучил и проанализировал влияние климатических изменений на потенциал ветроэнергетики Австралии и Юго-Восточной Азии [89].

Острая потребность в точных и эффективных геопространственных методах для определения наиболее подходящих местоположений существует и при создании солнечных фотоэлектрических систем. Одним из основных аспектов применения геопространственных методов в планировании солнечной энергетики является возможность более комплексного использования пространственных данных для определения наиболее подходящего местоположения для использования фотоэлектрических систем. В дополнение к этому, геопространственные методы с использованием климатических и других данных могут относительно точно описывать различные процессы моделирования окружающей среды, связанные с солнечной радиацией, гидрологией, почвой и другими природными явлениями [102].



Можно привести немало примеров использования моделей по расчёту потенциала солнечной энергетики, основанных на геопространственных данных, которые относятся к моделированию и картографированию потенциала солнечной энергии в городском ландшафте. Разработка и применение этих моделей были эффективно продемонстрированы многими исследованиями в прошлом R. Dubayah, P. Rich, 1995; L. Kumar L. et al, 1997; M. Šúri, J. Hofierka, 2004; J. Hofierka, M. Zlocha, 2012; C. Catita, 2014; J. Liang, 2015; S. Freitas S., 2015 и др. [68,81,84,91,102,105,124,128,169 и др.]

Х. Эффат применила методы пространственного анализа для оценки потенциала как ветровой, так и солнечной энергетики для территорий мухафазы Асьют, Египет [83]. При проведении данного исследования, автором была предложена методика, в основу которой лег алгоритм, учитывающий физико-географические особенности местности, такие как скорость ветра и суммарная солнечная радиация (Global Horizontal Irradiation - GHI). Помимо вышеупомянутых факторов, во внимание были приняты экономико-географические параметры, такие как расстояние до населенных пунктов и путей сообщения. Данный алгоритм учитывал и экологические особенности, например особо охраняемые природные территории, а также земли, отведенные для сельского хозяйства.

Большой интерес вызывает работа В. Реджинато по географическому моделированию потенциала ветровой и солнечной энергетики для регионов Антележу и Альгарве (Португалия) [146]. Важной особенностью данного исследования является автоматизация процесса расчетов путем применения приложения Model Builder в геоинформационной системе ArcGIS. Схожие методы, но для большего количества видов альтернативной энергетики, были применены С. Саху в его исследовании потенциала «зеленой» энергетики провинции Гронинген (Нидерланды) [154].

Из работ отечественных авторов, посвященных изучению потенциала альтернативной энергетики, особенно стоит выделить кандидатскую диссертацию

Т. Ю. Горбуновой [10]. Данное исследование является примером всеобъемлющего подхода к географической науке, так как посвящено изучению ландшафтного потенциала для внедрения ветровой и солнечной энергетики. В связи с большим функционалом ландшафта, что отмечается автором диссертации, а также комплексностью самого понятия ландшафт, неизбежен и разносторонний подход к изучению вопросов с ним связанных. Автором была предложена и опробована пятиступенчатая методика, оценки ландшафтного потенциала, в том числе и с учётом социально-экономических, геоэкологических и физико-географических факторов. Особую роль в данной работе играет картографический метод исследования. Он был применён для визуализации данных, полученных с применением пространственного моделирования, и явился основой для сочленения ряда различных факторов.

Интерес вызывает и работа К. С. Дегтярева, посвященная развитию и территориальной организации возобновляемой энергетики республики Калмыкия [13]. В своей диссертации автор провел подробный анализ развития альтернативной энергетики в России и мире в целом, однако основной упор был сделан на исследовании Калмыкии. Результатом исследования стала перспективная схема, включающая в себя потенциальные крупные и малые энергетические узлы региона.

Исследования, в базисе которых находится пространственный анализ, нуждаются в применении математических методов, которые позволят беспристрастно оценить имеющиеся данные по единому алгоритму. В случае с альтернативной энергетикой, существует ряд методов, использующихся для пространственного анализа, базирующегося на взаимодействии большого количества факторов. Многие из этих методов подпадают под определение многокритериального анализа или многокритериального анализа принятия решений (MCDM) – набора подходов и методов, применяющихся для принятия

решения в сложных ситуациях, с учетом большого количества факторов (как правило более трех) [27].

Под данную группу подходит и метод анализа иерархий (МАИ), разработанный профессором Т. Саати [34]. При использовании данного метода, различные факторы, имеющие влияние на искомый результат, ранжируются и на основе вычислений производится поиск наиболее оптимальных решений. В случае с альтернативной энергетикой таким результатом является потенциал того или иного участка исследуемой территории.

Метод анализа иерархий (МАИ) неоднократно применялся для анализа потенциала размещения производств альтернативной энергетики, к примеру: Х. Аль Гарни, для расчета потенциала размещения солнечных батарей в Саудовской Аравии [45], М. Румбайян, для расчета потенциала размещения производств солнечной, ветровой и геотермальной энергетик в Индонезии [152], М. Тахри, для расчета потенциала размещения солнечных «ферм» в южном Марокко [170], Д. Должан для расчета потенциала размещения солнечных электростанций в Сербии [79].

Одним из преимуществ данного метода, является оценка «веса» как факторов, так и классов факторов таким образом появляется возможность более точной и многогранной оценки. Благодаря попарному сравнению факторов, исследователь может абстрагироваться от анализа всех составляющих сразу и поэтапно выстраивать схему (в случае с МАИ – матрицу) взаимосвязи факторов между собой.

Важной особенностью данного метода, является необходимость присвоения изначальных рангов для построения матрицы двойного сравнения, либо самим исследователем, согласно таблице разработанной Саати [34] (Табл.5). С одной стороны, это предоставляет большие возможности для калибровки параметров, но с другой, даже в случае, если ранги устанавливаются группой компетентных экспертов, фактор человеческой ошибки в расстановке приоритетов между

параметрами не исключен. Однако в ряде исследований, эта проблема решается посредством замены рангов на значения, полученные в результате эксперимента или же анализа имеющихся данных.

К примеру, в работе И. Фоменко по оценке оползневой опасности [39], веса информационных классов были рассчитаны как частное от деления плотности оползней в искомом информационном классе, на плотность оползней на исследуемой территории. Несмотря на то, что данное исследование не имеет прямого отношения к альтернативной энергетике, оно показывает возможность изменения и адаптации метода анализа иерархий в зависимости от параметров исследования, что особенно актуально для научных изысканий в исследуемой сфере.

Примерами других подходов к использованию методик, подходящих по группе MCDA, являются исследования Д. Янке по моделированию размещения солнечных и ветровых электростанций в штате Колорадо (США) [118], а также работа М. Анварзаи по оценке потенциала альтернативной энергетике для территории Афганистана [51]. Последняя работа интересна еще и тем, что автор рассматривает не только среднегодовые значения используемых для анализа факторов (таких как скорость ветра и солнечное излучение), но и их месячную и суточную динамику.

Для оценки потенциала размещения предприятия возобновляемой энергетике применяются и комплексные системы, основанные на использовании комбинации нескольких методов. В частности, в последние годы активно развивается подход, использующий методы анализа иерархий и нечеткой логики (Fuzzy logic). Совокупность данных методов позволяет производить более точные измерения и работать с более гибкими параметрами.

Примерами использования описываемого выше подхода являются исследования Х. Санчеса-Лозано для территории Мурсии (Испания) [155], Я. Шараби на примере Омана [72], С. Синду на примере солнечных ферм в Индии

[162], И. Талинли применил данный подход для оценки потенциала ветроэнергетики в Турции.

Естественно, проблема пространственного моделирования задач, отражающих уверенное развитие альтернативной энергетики в мире, не исчерпывается ветровой и солнечной энергетикой. К тому же, в любом случае построение пространственных моделей и даже их предварительное планирование, процесс достаточно трудоемкий, зависящий от множества факторов, количество и качество которых будет неизбежно разниться от одного исследования к другому.

Зачастую, задачи выходят за рамки географической науки, или, несмотря на «модные» тенденции, не всегда возможно и выгодно использовать те или иные возобновляемые источники энергии. А если это так, временно может теряться, необходимость в создании пространственных моделей для той или иной территории. По крайней мере до того времени, когда развитие технологий или какие-либо политические изменения, особенно в сфере энергетического законодательства позволят произвести переоценку на основе новых вводных.

Суммируя вышесказанное, можно утверждать, что в реалиях современной науки темы, касающиеся альтернативной энергетики, рассматриваются с различных позиций. Однако, существует большое количество точек пересечения, которые ведут к междисциплинарным исследованиям с применением разнообразных методов. Исследования, имеющие под собой географическую основу, порой объединяют различные методики, получая на выходе результат, претендующий на комплексность и точность, что в последствие может привести к успешному применению данных исследований на практике.

Особенно интересны те исследования, в которых использованы методы пространственного анализа, так как последний позволяет объединять в себе практически неограниченное количество факторов и, что немаловажно, используя разнообразные математические аппараты, приходиться к различным результатам и выводам, в зависимости от установленных приоритетов исследования.

## Глава II. ДИАГНОСТИКА РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ СТРАН КАК СРЕДСТВО ИХ КЛАССИФИКАЦИИ

### 2.1 К методике классификации стран в зависимости от многомерных критериев развития альтернативной энергетики

В региональной экономике много лет эффективно используется понятие «*экономическая диагностика регионов*», отражающее как их социально-экономическое состояние, так и дифференциацию (классификацию) на проблемные, депрессивные, кризисные, а также «перегретые» и перспективные регионы. Экономическое диагностирование дает возможность определить надежность региональных систем, в том числе, выявить причинно-следственные связи взаимодействующих сторон (институциональных сегментов, включая бизнес), узкие места, «болевы́е точки», с целью принятия адекватных мер. Из примеров исследований на подобную тематику, стоит выделить масштабное учебно-методическое пособие МГУ им. М. В. Ломоносова «Возобновляемая энергетика в контексте регионального развития» [6].

В контексте текущего исследования региональная диагностика развития альтернативной энергетики ассоциируется с сугубо *географическим* подходом к диагностике стран и регионов с учетом, прежде всего, физико-географического (природного) потенциала территории – мощности солнечного излучения, количества солнечных дней, скорости ветра и плотности воздуха, особенностей рельефа и ландшафта, водных объектов, существующих систем расселения и т.д. Будучи не столь объемным как в экономической науке, оно, тем не менее, позволяет получить реальное представление о предпосылках и возможностях развития различных видов альтернативной энергетики в странах и осуществить соответствующую *классификацию* стран и территорий мира.

При развитии альтернативной энергетики особое значение приобретает фактор учета физико-географического потенциала территории. В традиционной парадигме развития энергоуклада он обычно не играет экзистенциальной роли.

Так, топливо для электростанции, будь то уголь или газ, можно импортировать, и в некоторых случаях это может оказаться даже выгоднее, чем разрабатывать местные месторождения (что и происходит в реальности).

В случае с атомной энергетикой, камнем преткновения может явиться скорее не поставка топлива (хотя наличие урановой руды является большим плюсом), а возможность вывоза радиоактивных отходов (то есть, наличие соответствующих территориальных резервов). Для большинства же видов альтернативной энергетики, физико-географический фактор критически важен. Исключением является биотопливо (в том числе биогаз), поставки которого также возможны, хотя их экономическая рентабельность весьма спорна.

Возвращаясь к теме необходимости учёта физико-географических параметров, можно привести пример, что при развитии ветроэнергетики проектирование требует надежных данных о скорости ветра, плотности и температуры воздуха, высоты над уровнем моря, уклона поверхности и др. В свою очередь, при развитии гелиоэнергетики необходим долговременный учет прихода солнечной радиации, экспозиции местности, температуры воздуха, уклона поверхности и т.д. Как следствие, аналогичные данные востребуются при проектировании производства «зелёного» водорода.

При проектировании строительства приливных электростанций производятся тщательные исследования местоположений, где регистрируются максимальные приливы, а также топографические и геоморфологические территории для подготовки резервных водохранилищ, наполняемых во время приливов морской водой. При этом мощность и количество гидротурбин зависит как от характера и мощности приливов и отливов, так и от количества и объема резервных водохранилищ. К этому следует добавить, что при сооружении приливных электростанций происходит вывод из общего пользования обширных территорий под строительство резервных бассейнов и охранные мероприятия.

Кроме того проектировщики объектов альтернативной энергетики сталкиваются со множеством ограничений сугубо экономико-географического

характера: расстояниями до крупных населённых пунктов (например, радиусом шумового загрязнения от турбин), до автомобильных дорог, железнодорожных путей, аэропортов и взлётно-посадочных полос, линий электропередач, крупных водоёмов (что особенно важно для производства водорода). Ограничительным характером могут обладать объекты землепользования (поля, фермы, садоводства, частные жилые массивы, промышленные предприятия, военные объекты, кладбища, коммерческая застройка, особо охраняемые природные территории (ООПТ) и т.д.

Таким образом, неизбежно возникает дилемма: как можно оценить масштабы использования возобновляемых источников энергии в стране, какова её позиция относительно других стран мира и т.д.? Немаловажно учитывать и то, насколько эффективно используется природный потенциал территории государства.

Таким образом, географическая диагностика природного, экономико- и социально-географического потенциала территории любого региона (страны) требует от исследователя использования обширных знаний для осуществления комплексной предпроектной диагностики. С этой проблемой вплотную столкнулись государства, преуспевшие в развитии рассматриваемой отрасли.

Развитие возобновляемой энергетики получило значительный импульс именно в странах, обладающих богатыми природными ресурсами, такими как геотермальная энергия, гидроэнергетика и энергия ветра. Согласно многим рейтингам, лидером в выработке энергии из возобновляемых источников (2022 г.) является Исландия, за ней следует Норвегия, далее Швеция. Кроме них, в десятку стран с наибольшим количеством возобновляемых источников энергии входят также Бразилия, Новая Зеландия, Дания, Австрия, Швейцария, Финляндия и Колумбия.

Конечно, часть лидирующих стран (Норвегия, Бразилия, Колумбия и др.) достигли успеха благодаря интенсивному использованию гидроэнергии с помощью традиционных ГЭС, что не всегда регистрируется в статистических отчетах. Потенциальная энергия приливов и отливов, преобразующаяся



волновыми электростанциями в кинетическую энергию пульсаций, равно как градиент-температурная энергетика (основанная на перепадах температур в толще морей и океанов), безоговорочно относятся к сфере альтернативной энергетике, в то время как традиционные ГЭС не всегда. Поэтому, распространенные утверждения о том, что приведенные статистические данные подчеркивают глобальный сдвиг в сторону возобновляемых источников энергии, и что эти государства признали важность сокращения выбросов углекислого газа и смягчения последствий изменения климата путем перехода к более чистым источникам энергии, вряд ли можно воспринимать всерьез.

Но в данном случае важно аргументировать тезис о том, что в исследовании процессов и тенденций развития альтернативной энергетике географические методы, ассоциирующиеся с оценкой, прежде всего, физико-географического (природного) потенциала территории, а также экономических и социальных условий территории, играют первостепенную роль. Использование этих методов способствует реализации региональной диагностики развития альтернативной энергетике.

Распространенный в науке классификационный подход – ни что иное, как методология, используемая для организации и систематизации информации в различных областях знания. Востребованная проблема классификации и систематизации различных отраслей энергетике и энергоресурсов, равно как и государств по «энергетическому» критерию, нередко перемещается в область научной и общественно-политической полемики. Есть основания полагать, что это происходит потому, что данная операция имеет не только академический интерес, поскольку данные методические приемы равноценны организации, помогающей связать все звенья механизма базисной отрасли экономики воедино. При этом систематизация, по сравнению с классификацией, обычно считается более глубоким обобщением, отражающим внутреннюю сущность объектов исследования.

С одной стороны, метод *систематизации* корректнее ассоциировать с энергетикой в целом, как базисной отраслью материального производства, в то время как применительно к альтернативной энергетике, ее неотъемлемой парциальной части, казалось бы, более уместен *классификационный* подход, равно как и группировкам стран по тем или иным показателям, связанным с альтернативной или возобновляемой энергетикой. С другой стороны, с учетом многофакторного характера развития альтернативной энергетике и использования при ее анализе многочисленных показателей, в данной работе, по мнению автора, представляется оправданным употребление обоих понятий.

Зачастую, когда возникает потребность охарактеризовать страну с позиции уровня развития альтернативной энергетике в целом или же ее принадлежности к определённому виду, базисным показателем служит *доля искомого вида энергетике* в общем выработке электроэнергии в стране. Реже используются *суммарная выработка за определённый период* времени (в основном за год) или установленная мощность электростанций. Периодически, в дополнение к вышеупомянутым показателям, используются различные статистические параметры, которые, однако, являются производными от тех же доли и выработки. Примером может служить такой показатель, как *годовой прирост производства электроэнергии* (в %).

Оценка, основанная лишь на одном показателе, как правило, не может отличаться точностью. В результате некоторые выводы, особенно отражающие степень эффективности реализации страной своего потенциала в данной сфере, полученные на основе данной оценки, не могут претендовать на истинность. Это утверждение особенно значимо в тех случаях, когда проводится сравнительный анализ внутри большой выборки стран.

Сами показатели доли выработки электроэнергии с применением возобновляемых источников и абсолютной выработки с их же использованием не обладают прямой взаимосвязью. Самый базовый статистический параметр при

сравнении двух выборок данных – коэффициент корреляции, для описываемых ранее параметров составляет всего 0,03 (на 2021 год, при использовании данных IRENA [180]), что говорит об отсутствии взаимосвязи между ними.

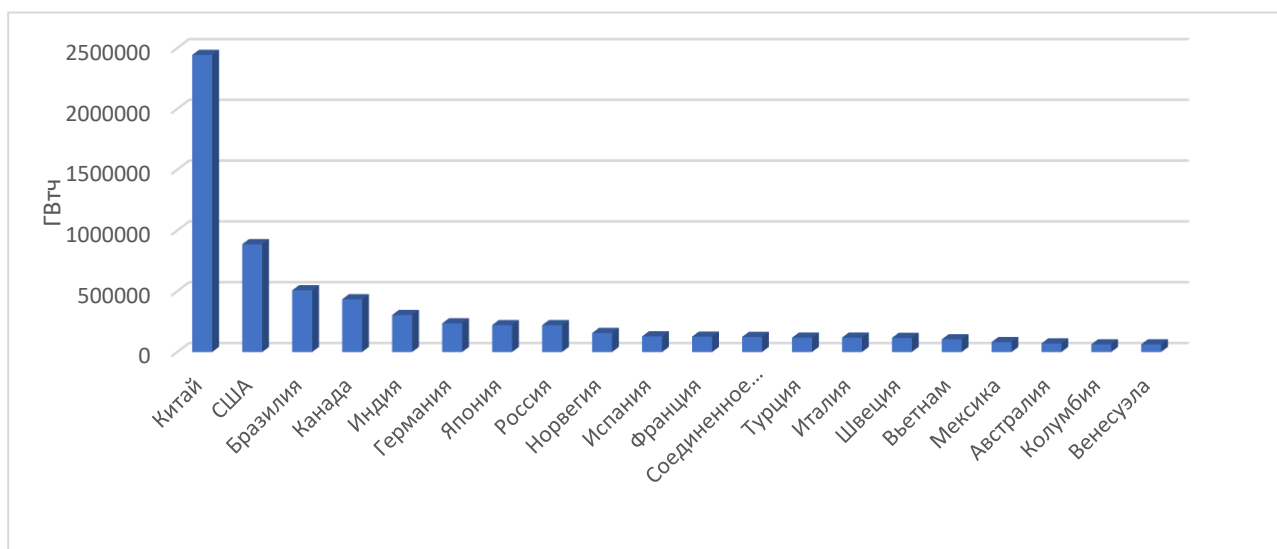


Рис.14 Суммарная выработка электроэнергии с использованием ВИЭ за 2021 год. Сост. авт. по IRENA [180].

Наглядным подтверждением «рассогласования» между показателями доли и выработки, является тот факт, что по состоянию на 2021 год из 20 стран с наибольшей суммарной выработкой электроэнергии с использованием возобновляемых источников (Рис.14), лишь Норвегия находится и в топ-20 по доле (99 %).

Одна из причин данного явления заключается в том, что страны, занимающие лидирующие позиции в рейтинге, рассчитанном по доле производства электроэнергии, зачастую не обладают либо большой площадью, либо большим количеством населения, либо не имеют сильно развитой промышленности, а возможно и всем вместе взятым. Следовательно, у них или нет необходимости в производстве большего количества электроэнергии или же нет экономической возможности. А если бы необходимость появилась, то нет гарантии, что доля начала бы падать, за счёт использования традиционной энергетики.

С другой стороны, крупные страны, с развитой промышленностью и большой численностью населения (как Китай или Индия), практически не имеют возможности обладать высокой долей, так как на данном этапе развития технологий, альтернативная энергетика не может покрыть всю потребность этих стран в электроэнергии.

Таким образом, неизбежно возникает дилемма: как можно оценить масштабы использования возобновляемых источников энергии в стране, и какова её позиция относительно других стран мира. Немаловажно учитывать и то, насколько эффективно используется природный потенциал территории государства.

В рамках диссертационного исследования предпринята попытка разработки «триединой» методики классификации стран в зависимости от масштабов использования возобновляемой энергии и эффективности использования имеющегося природного потенциала. Данная методика отличается от широко используемого в литературе классического ранжирования стран по одному показателю, благодаря своей комплексности, учитывающей сразу *три* набора данных, технически являясь *трёхмерной системой*. Показатели, используемые для данной классификации, на первом этапе делятся на классы (4 в случае с долей и выработкой, и 3 в случае с физико-географическим потенциалом).

*Физико-географический (природный) потенциал территории, предназначенный для использования различных типов ВИЭ, является многомерным* понятием. Более того, набор учитываемых при его оценке аспектов будет отличаться в зависимости от целей исследования и необходимости оценить данный параметр под нужным углом. Безусловно, в случае с возобновляемыми источниками энергии ключевым фактором являются физические характеристики самого источника энергии, к примеру, солнца и ветра.

При этом сами эти характеристики являются комплексными, так как, к примеру, скорость ветра, в отрыве от рельефа или же плотности воздуха не может в полной мере продемонстрировать искомый потенциал. Нельзя забывать и об

ограничительных факторах – некоторых особенностях ландшафта, урбанизированных территориях, водных объектах (более подробное описание, того какие факторы учитывались при расчёте физико-географического потенциала в данном исследовании будет предложено ниже).

В случае с оценкой *физико-географического потенциала* в расчёт берётся весь набор данных по странам. Для доли и суммарной выработки энергии в расчёт берутся только те страны, которые имеют показатели отличные от нулевых. В основу дифференциации заложен такой статистический показатель, как *процентиль*. В случае всех трех координатных «осей» данной классификации, страны, имеющие низкие показатели, составляют первые 30% от списка, а в средний класс попадают те, чьи показатели находятся в промежутке 30-70%. Страны с высоким природным потенциалом принадлежат отрезку от 70 до 100%.

В случае же с двумя другими показателями (доля и суммарная выработка), к высоким значениям относятся 70-90%, а промежуток от 90 до 100% занимают страны с наивысшими показателями (Рис.15). Данная дельта была введена для дополнительного выделения стран, зачастую имеющих особенно выдающиеся показатели относительно остальных, к примеру, КНР и США. Естественно, от года к году, принадлежность стран к той или иной группе будет меняться.

Каждому классу были присвоены собственные значения необходимые для последующей классификации стран (значения приведены на Рис.15). ***В итоге, попадание страны в ту или иную группу по уровню развития исследуемого типа альтернативной энергетики зависит от суммы собственных значений классов трёх упомянутых критериев.***

В отличие от доли и общей выработки, где значения классов находятся в прямой зависимости от роста абсолютных показателей (0-30% - 1, 30-70% - 2 и т.д.), для физико-географического потенциала значения присвоены в обратном порядке. Это связано с тем, что более высокий природный потенциал даёт преимущество в освоении соответствующего ВИЭ, следовательно, стране с наименьшим

потенциалом может потребоваться больше ресурсов, для достижения высоких показателей.

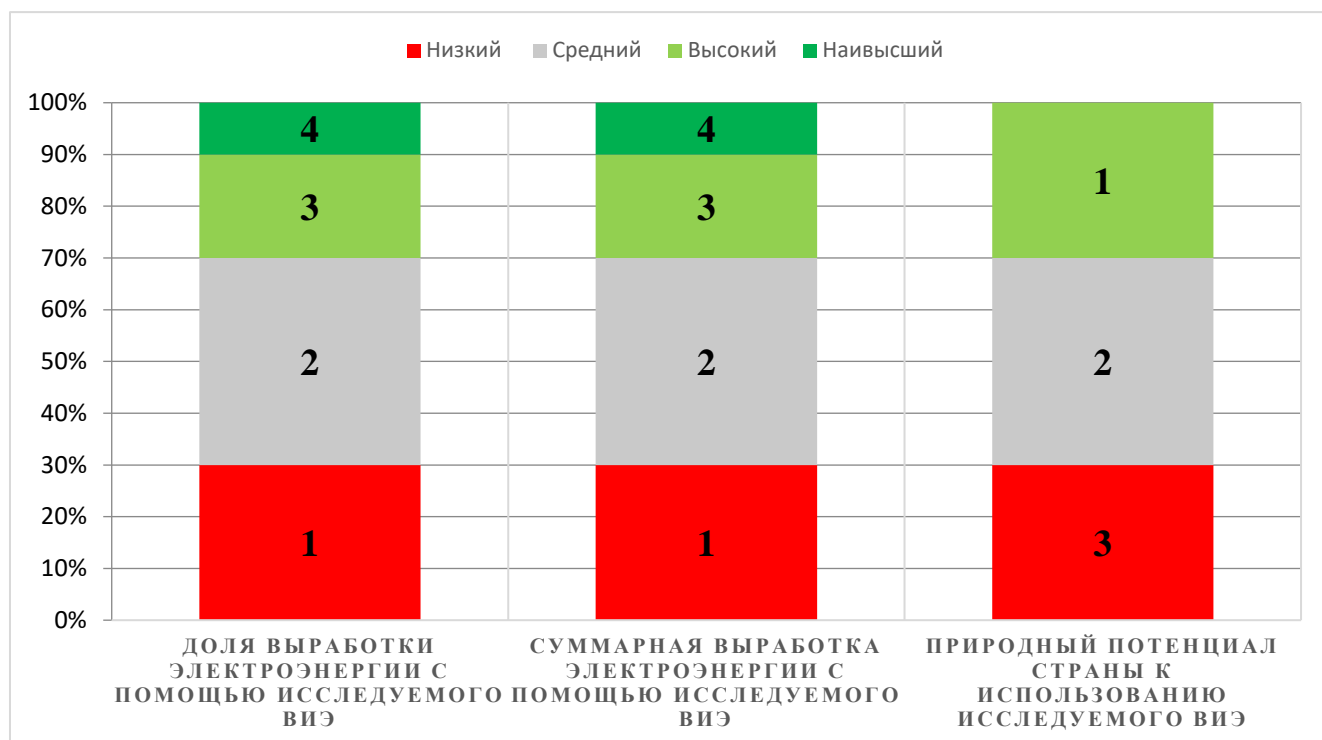


Рис.15. Систематизация стран по классам с учётом критериев. Значения на столбцах соответствуют значению класса. Сост. авт.

Разработанная методика диагностики уровня развития исследуемого типа альтернативной энергетики позволяет создать более динамичную систему, при которой, к примеру, страна, занимавшая лидирующие позиции на ранних этапах развития отрасли, в случае последующей стагнации или деградации может попасть в более низкий класс, за счёт того, что её конкуренты в свою очередь вступили в фазу активного развития.

Единственным показателем в данной классификации, который будет отличаться относительно стабильными значениями, является природный потенциал, так как на его изменение могут повлиять не так много факторов, а именно территориальные изменения страны (как, к примеру, разделение Судана) или глобальные климатические изменения, споры о которых являются одной из ключевых тем мировой повестки.

Использование в классификации показателей доли и выработки энергии диктуется, во-первых, необходимостью комплексного подхода, благодаря которому появляется более объективная картина, на основе которой можно проводить точный анализ. Во-вторых, появляется возможность выделять прогресс небольших стран, так как может существовать экономика, у которой имеется высокий потенциал и высокая доля определённого вида энергетики, но из-за маленькой площади территории суммарное производство электроэнергии будет небольшим. Можно предположить четыре варианта разрешения этой проблемы.

1. Из-за незначительных показателей выработки отнести страну к более низкой категории, что не в полной мере является справедливым, так как по факту государство успешно реализует намеченную программу в соответствии с имеющимися возможностями, а стартовые позиции могут сильно различаться по независящим от самой страны обстоятельствам.

2. Брать за основу классификации значения, представляющее собой *частное от деления суммарной выработки энергии на площадь*. С одной стороны, это выглядит, как идеальное решение вопроса, с другой - не учитывает экологическую составляющую, особенно в деле сокращения выбросов в атмосферу и достижения не раз ранее упомянутой углеродной нейтральности. Фактически, суммарная выработка электроэнергии с помощью возобновляемых ресурсов напрямую коррелирует с теми выбросами, которых благодаря данной выработке не случилось, ведь в противном случае полученные с помощью условных ГЭС и ВЭС мощности пришлось бы компенсировать другими, менее щадящими окружающую среду типами электростанций.

3. Учитывать площадь страны при расчете природного (физико-географического) потенциала. Как и второй вариант, это является одной из потенциально удачных схем, однако если брать во внимание колоссальную разницу между крупнейшими странами мира, такими как Россия или Канада и, к примеру, странами Океании или Карибского бассейна, то в случае с проведением

математических преобразований, учитывающих площадной фактор для таких показателей потенциала, как например скорость ветра (актуально для ВЭС) или прямое солнечное излучение (актуально для солнечных батарей), то велик риск, что влияние последних, в случае с небольшими странами будет близко к нулю, что не может в точности отразить их потенциал.

4. Использовать при анализе не только выработку, но и долю, как более лояльный к площади государства показатель.

Каждая из предложенных опций имеет свои преимущества и недостатки и, по сути, являются способами посмотреть на заявленную проблему с разных позиций. При разработке классификации была выбрана совокупность третьего и четвертого вариантов, хотя и другие, безусловно, заслуживают внимания и будут прорабатываться в последующих исследованиях.

Итоговой структурой классификации, является деление стран по трем интегрированным показателям, согласно которым страна попадает в ту или иную из 48 ячеек в трёхмерном пространстве, в зависимости от суммы значений классов к которым страна принадлежит. Ячейки в свою очередь соответствуют следующим классам (Рис.16):

1. Страны с исключительным уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 10,11). Данный класс интересен тем, что в него могут попасть только страны с низким и средним физико-географическим потенциалом, что и обуславливает исключительность их высоких показателей.

2. Страны с высоким уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 8,9).

3. Страны со средним уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 6,7).



4. Страны с низким уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 4,5).

5. Страны, не реализующие высокий природный потенциал к развитию исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 3). В данный класс попадают страны, обладающие высоким потенциалом и низкими уровнями доли и выработки электроэнергии с помощью определённого ВИЭ.

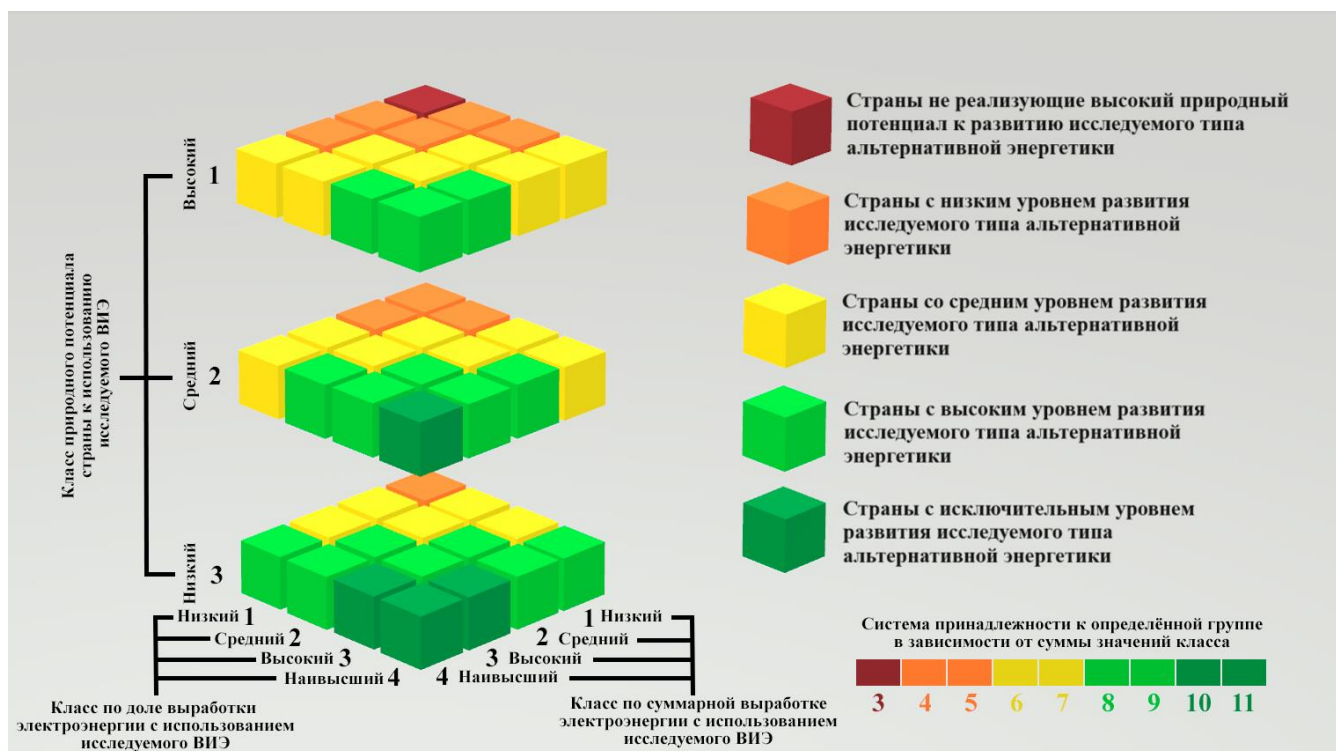


Рис.16. Система классификации стран по уровню развитию определённого вида альтернативной энергетики (в большем масштабе см. Приложения: Рис. П.2.1). Сост. авт.

Для практической демонстрации данной систематики, были рассчитаны показатели и проведена классификация стран по уровню развития ветровой и солнечной энергетик. Стоит отметить, что данная систематизация может быть использована и на региональном уровне, более того, в таком случае природный потенциал будет иметь более точную оценку, в связи с изменившимся масштабом. Данные по генерации электроэнергии были получены при помощи базы данных агентства по возобновляемым источникам энергии – IRENA [180]. Наиболее «свежие» наборы данных, представленные источником, датировались 2021 годом (на момент проведения анализа).

Расчёт физико-географического (природного) потенциала страны к использованию того или иного вида возобновляемых энергоресурсов, является комплексным понятием и может рассчитываться по-разному, в зависимости от тех факторов, которые являются наиболее показательными с точки зрения исследователя.

Примером может служить исследование Г. Коро, посвящённое прогнозированию потенциала территории для внедрения геотермальной энергетики [76]. В упомянутой работе, при моделировании итоговых данных, было использовано наборы данных по различным природным факторам, в том числе высота над уровнем моря, температура земной поверхности, магнитуда землетрясений и толщина осадочного слоя.

В случае с потенциалом для ветроэнергетики, ключевым фактором, определяющим природный потенциал, был выбран показатель плотности энергии ветра (wind power development, далее WPD) [142]. Важно отметить, что этот показатель неоднократно использовался для анализа природного потенциала, одним из ярких примеров исследований на данную тему, является работа Х. Лу [130]. Плотность энергии ветра измеряется в ваттах на метр квадратный и рассчитывается по следующей формуле:

(1)

$$\rho = 1.225 - (1.194 * 10^{-4}) * z$$

$$WPD = \frac{\rho * V^3}{2}$$

, где WPD – плотность энергии ветра (Вт/м<sup>2</sup>), V–средняя скорость ветра (м/с),  $\rho$ –плотность воздуха (кг/м<sup>3</sup>), z–высота над уровнем моря (м). Необходимые данные были получены с помощью портала Global Wind Atlas [101]. Полученные растровые слои имели разрешение 281 м, что гарантировало достаточную итоговую

точность значений, учитывая крупный масштаб самого исследования. Обработка и расчёты производились в программе ArcGISPro 3.2.

Для исключения из анализа непригодных территорий, и земель, на которых хозяйственная деятельность нежелательна в связи с невозможностью избежать критических последствий для окружающей среды, с учетом планетарного масштаба исследования, было принято решение использовать спутниковые данные, как наиболее эффективный способ единовременной оценки крупных территорий [121,122].

При проведении данного исследования, были применены данные, полученные благодаря спутникам Terra (EOSAM-1) и Aqua, а именно с установленного на них спектрорадиометра среднего разрешения – MODIS (пространственное разрешение 500м на пиксель). В качестве непригодных для внедрения технологий генерации электроэнергии на ВЭС территорий, были выделены некоторые ландшафты, а также земли, принадлежащие определённым категориям землепользования (Табл.2).

Табл.2. Ландшафты и территории с различными типами землепользования, выбранные в качестве территорий, на которых ограничивается деятельность ВЭС

<b>Название</b>	<b>Описание</b>	<b>Набор данных спектрорадиометра MODIS</b>	<b>Значение канала</b>
Вечнозелёные хвойные леса	Преобладание вечнозелёных хвойных пород деревьев. Лесной покров более 60%	MCD12Q1	1
Вечнозелёные широколиственные леса	Преобладание вечнозелёных широколиственных и пальмовидных пород деревьев. Лесной покров более 60%.	MCD12Q1	2
Листопадные хвойные леса	Преобладание листопадных хвойных пород деревьев. Лесной покров более 60%	MCD12Q1	3

Листопадные широколиственные леса	Преобладание листопадных широколиственных пород деревьев. Лесной покров более 60%	MCD12Q1	4
Смешанные леса	Масштабно не преобладают ни листопадные, ни вечнозеленые растения. Лесной покров более 60%	MCD12Q1	5
Саванны с большим количеством древесной растительности	Древесный покров более 30%	MCD12Q1	8
Города и остальные застроенные земли	Застроено не менее 30% площади поверхности.	MCD12Q1	13
Зоны с постоянным снежным и/или ледяным покровом	По меньшей мере 60% территории покрыто снегом и льдом не менее 10 месяцев в году.	MCD12Q1	15
Вода	По меньшей мере 60% территории покрыто постоянными водоемами.	MCD12Q1	17

В качестве антропогенного ограничителя выступили застроенные территории, где постройка ВЭС невозможна технически. По той же причине, исключены и территории, преимущественно покрытые водой, снегом и льдом. Хотя, стоит отметить, что размещение ветровых электростанций на воде возможно, примером тому служат шельфовые ВЭС, однако это более дорогостоящая технология, и её эффективность и экономическая целесообразность при установке на небольших водных объектах (в сравнении с шельфами морей) весьма спорна.

Территории, обширно покрытые древесной растительностью, были исключены из анализа ввиду того, что, во-первых, скорость ветра в лесной зоне обычно ниже, ввиду шероховатости поверхности, а во-вторых, вред окружающей

среде из-за такого типа хозяйственного использования леса может быть слишком серьёзным.

В результате были скомпилированы данные, принадлежащие всем вышеупомянутым категориям землепользования и ландшафта и на их основе, создан растровый слой, применённый после для фильтрации территорий, непригодных для размещения и использования ВЭС.

Для расчёта искомых данных по значениям плотности энергии, был применён инструмент анализа зональной статистики, с помощью которого были рассчитаны основные статистические показатели плотности энергии ветра для каждой из исследуемых стран. *В качестве природного потенциала страны к ветроэнергетике было использовано значение 90го перцентиля, в связи с необходимостью оценки именно наиболее эффективных территорий (10%) той или иной страны.*

Параллельно, были произведены расчёты без учёта введённых ограничений. Фактически было получено 2 набора данных: без учёта непригодных территорий выявленных с использованием спутниковых данных и с ними. В результате средняя разница природных потенциалов между двумя выборками составила 9,6% по модулю, при предсказуемо высоком коэффициенте корреляции – 0,97.

Несмотря на не столь большую разницу между вышеупомянутыми рядами данных, извлечение из расчёта непригодных территорий необходимо, даже при планетарном масштабе, так как для некоторых стран изменения оказались достаточно критичными, и даже повлекли за собой их переход в другую категорию потенциала.

В качестве природного потенциала в случае с солнечной энергетикой были приняты значения фотоэлектрического потенциала (кВт·ч/кВт пик). По своей сути, данный показатель представляет собой количество электроэнергии, вырабатываемой на единицу установленной мощности. Фотоэлектрический

потенциал, напрямую зависит от сугубо природных показателей территории, а именно – температуры воздуха, глобального горизонтального излучения (являющегося по теоретическим природным потенциалом территории) и особенности рельефа.

Данные по фотоэлектрическому потенциалу (PVOUT) были получены на портале консультативной группы программы помощи в управлении энергетическим сектором (ESMAP), входящей в состав Всемирного банка [99]. Важно отметить, что полученные значения учитывают невозможность использования территорий, которые по физико-географическим (такие как высокогорья) или экономико-географическим (урбанизированные зоны) параметрам не могут быть использованы для масштабного внедрения солнечной энергетики.

Отметим тот факт, что при расчёте фотоэлектрического потенциала ESPMA не брали в расчёт территории севернее  $60^{\circ}$  с.ш., таким образом ряд государств (к примеру Финляндия и Исландия) не имели данных по вышеупомянутому параметру, и для некоторых стран, включая Россию и Канаду усреднённые данные также рассчитаны с учётом данного ограничения. В связи с тем, что Финляндская Республика всё же обладает некоторыми мощностями по выработке электроэнергии с применением солнечных батарей, следовательно, должна быть классифицирована, было принято решение рассчитать значения PVOUT для данной страны отдельно.

Аналогично оценке физико-географического потенциала страны к ветровой энергетике, в случае с солнечной используется показатель 90го перцентиля PVOUT по территории страны.

## 2.2 Общие результаты систематизации стран по уровню развития альтернативной энергетики

Всего была проведена систематизация 220 стран за период времени с 2005 по 2021 гг. Из них 213 имели полный набор данных и, как следствие, могли быть классифицированы. В зависимости от года количество стран менялось в зависимости от изменений на политической карте мира. По следующим государствам, по различным причинам, не было получено ни одного набора данных, а именно: Белиз, Западная Сахара, Сомали, Южный Судан, Лихтенштейн, Монако, Сан-Марино. В статистике не учитывались следующие спорные территории: Джамму-Кашмир (делится между Китаем, Индией и Пакистаном) и Аксайчин (территория Китая, оспариваемая Индией).

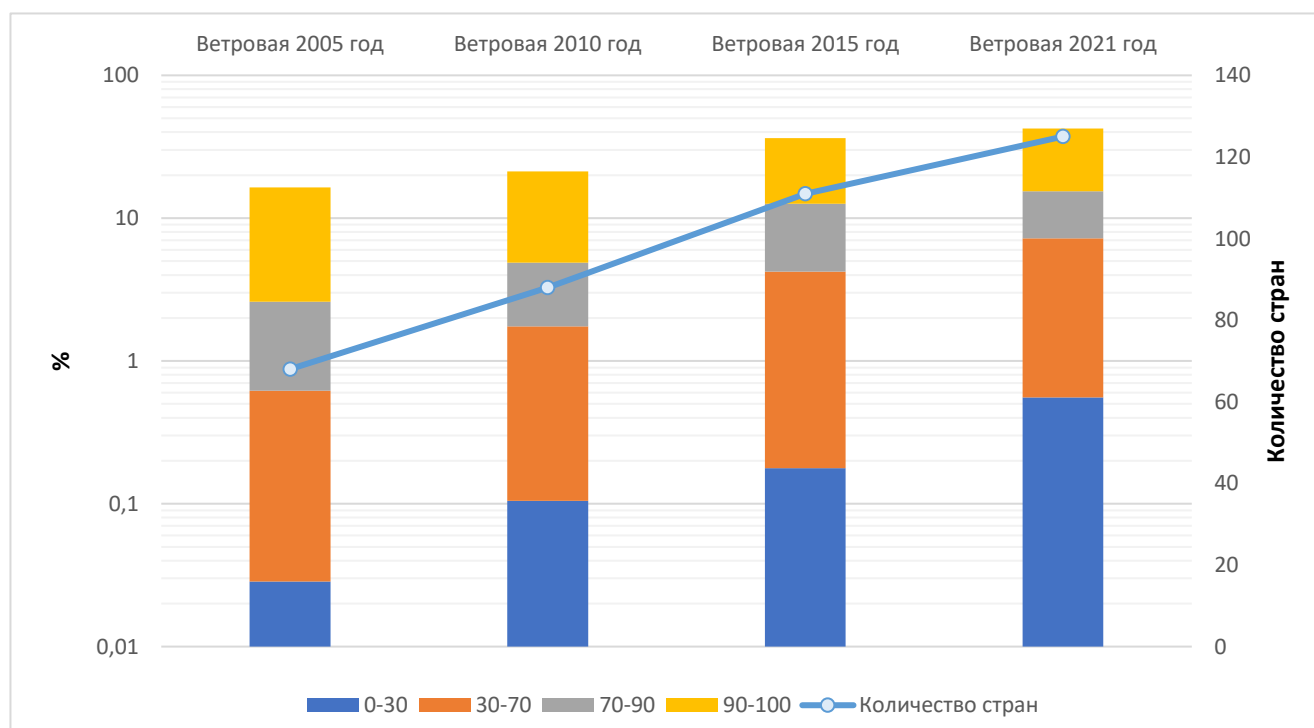


Рис.17. Дельта по доле ветровой энергетики и количество стран в выборке. Сост. авт.

Перед тем как рассмотреть особенности каждой отдельной категории и выделить некоторые показательные страны, стоит рассмотреть некоторые особенности общемировой динамики. Во-первых, можно отметить то, как менялись определяющие границы категорий пороговых значений для доли и

выработки (Рис.17, Рис.18). В обоих случаях ветровая энергетика имеет намного большие показатели, и дистанция между ними составляет приблизительно 5 лет. Активный рост солнечной начался примерно в 2015 году в то время, как в случае с ветроэнергетикой это 2010 год. Данное утверждение характерно как для доли, так и для общей выработки. Однако количество стран, использующих солнечную энергию выше, чем в случае с ветровой, несмотря на преимущество последней в суммарной общемировой выработке.

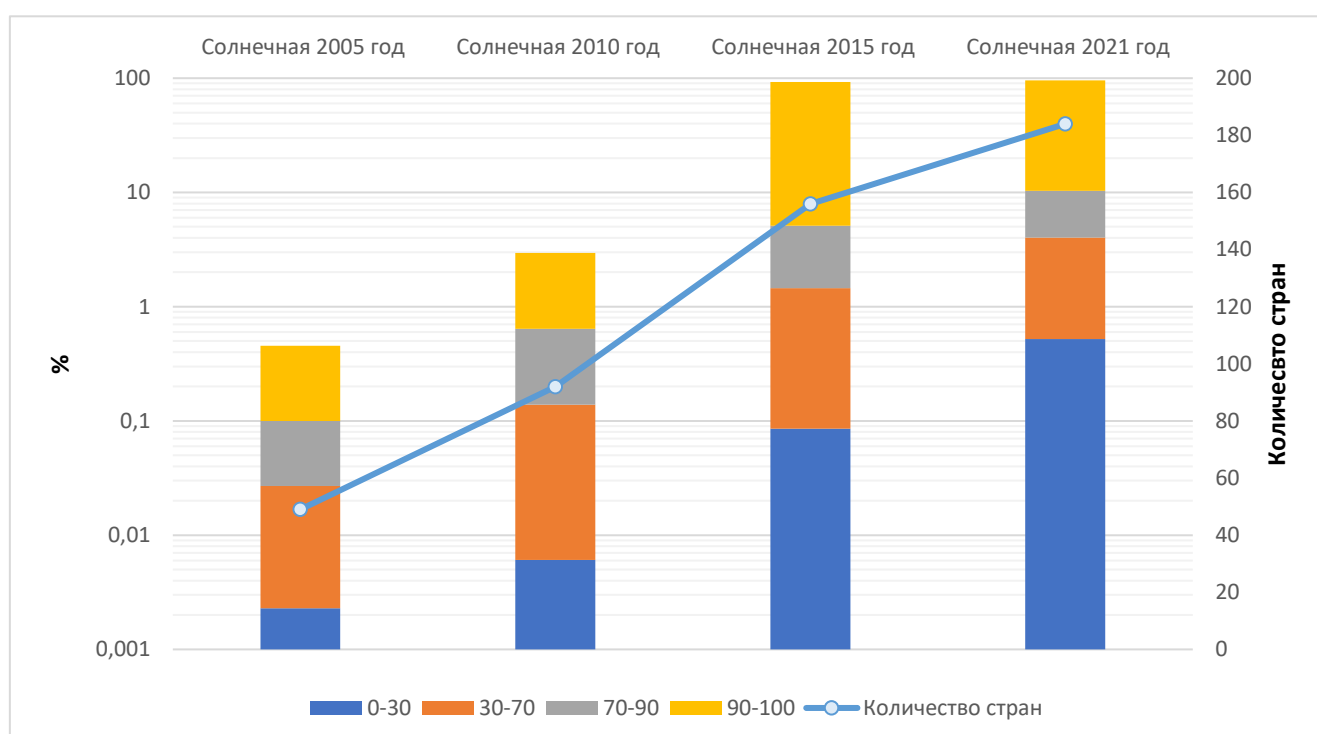


Рис.18. Дельта по доле солнечной энергетики и количество стран в выборке. Сост. авт.

Так же важно отметить тот факт, что и в случае с солнечной и с ветровой энергетикой, на данный момент предельные показатели их внедрения в энергосистему стран составляют около 30%, за исключением Токелау, где на долю солнечных батарей приходится около 91% всей выработки электроэнергии. Последнее и объясняет столь большой диапазон значений в 4й дельте солнечной энергетики.

Показательно и то, какое количество стран принадлежит той или иной категории согласно заявленной классификации, в зависимости от года. **В начале рассмотрим динамику ветроэнергетики (Табл.3).** Во-первых, стоит отметить,



что постепенно стран, обладающих высоким потенциалом и не развивающих данный тип альтернативной энергетики, становится меньше (38 в 2005 году против 23 в 2021), а стран с развитым энергетическим сектором выросло в 3 раза (7 против 21).

Во-вторых, растёт и количество стран со средним уровнем развития, а в свою очередь количество стран с низким уровнем развития, в среднем, сокращается, что также свидетельствует о развитии самой сферы.

В-третьих, можно заметить, насколько природные факторы определяют развитие ветроэнергетики, ведь количество развитых стран с высоким и средним потенциалом (18) значительно опережает аналогичный показатель для стран, обладающих низким потенциалом (3), при том факте, что к странам с низким потенциалом относится 30% выборки. В контексте данного пункта, важно отметить и то, что по состоянию на 2021 год, всего 1 страна (Бразилия) классифицирована как обладающая исключительным уровнем развития, то есть максимально реализующая средний или низкий потенциал.

Табл.3. Количественные показатели стран с различным уровнем развития ветроэнергетики (2005-2021 гг.).

Страны с различным уровнем развития ветроэнергетики		Год			
		2005	2010	2015	2021
Группы	Не реализующие высокий потенциал	38	31	29	23
	Низкий уровень развития	137	125	112	116
	Средний уровень развития	30	47	54	52
	Высокий уровень развития	7	8	18	21
	Исключительный уровень развития	1	2	0	1

*Рассмотрим то, как разработанная классификация отражена в структуре мировой солнечной энергетики (Табл.4).* В начале стоит отметить очевидный факт, что, как и в случае с ветроэнергетикой заметно постепенное развитие отрасли, выраженное в том, что стран с высоким уровнем развития

становится больше, а тех, которые не пользуются удачным для солнечной энергетики географическим положением – меньше. За 16 лет (с 2005 по 2021 годы) количество стран с высоким уровнем развития солнечной энергетики выросло с 5 до 37 – более чем в 7 раз.

Табл.4. Количественные показатели стран мира с различным уровнем развития солнечной энергетики (2005-2021 годы).

Страны с различным уровнем развития гелиоэнергетики		Год			
		2005	2010	2015	2021
Группа	Не реализующие высокий потенциал	57	48	25	16
	Низкий уровень развития	123	104	88	79
	Средний уровень развития	25	39	60	75
	Высокий уровень развития	5	15	34	37
	Исключительный уровень развития	3	7	6	6

Эта динамика, в совокупности с теми показателями, которые ранее были рассмотрены применительно ветровой энергетики, иллюстрирует несколько важных фактов.

Отчасти, заметно первоначальное отставание в темпах развития солнечной энергетики от ветровой, хотя в рамках разработанной систематики это выражено не так ярко, так как данная классификация опирается на относительные, а не абсолютные показатели. Каждая система, рассматривающая тот или иной тип возобновляемой энергетики, отгалкивается в первую очередь от себя, а не от общих показателей всей энергосистемы.

Однако количество стран с многоотраслевым энергетическим комплексом, влияет на общую систематику, поэтому показательна разница в количестве стран в «низовых» группах, где находятся страны, в которых определённый вид энергетики не развит. В особенности важно обратить внимание на группу стран не реализующих высокий физико-географический потенциал.

Возвращаясь к теме сравнения ветровой и солнечной энергетик, важно отметить тот факт что, если рассматривать последнее десятилетие, дифференциация в рассчитанных согласно разработанной классификации показателях проявляется не так ярко, и главной причиной этого является тот факт, что количество стран, внедряющих солнечную энергетику, сравнялось и даже опередило тех, кто в той или иной степени использует ветроэнергетику. Помимо этого, играет свою роль и упомянутая ранее «относительность» структурного скелета классификации.

В начале века разница в количестве стран, использующих два упомянутых типа энергетик, была достаточно велика и, главным образом, за счёт дороговизны производства электроэнергии с помощью солнечных батарей. Снова обратимся к динамике стоимости производства электроэнергии с помощью различных возобновляемых ресурсов, рассчитанной компанией Лазар [125]. На 2023 год солнечная энергетика являлась второй по дешевизне производства, а на рассматриваемый в классификации 2021 год и вовсе первой. Однако около 10 лет назад она являлась самой дорогостоящей за произведённый киловатт электроэнергии. Это ещё раз подтверждает, что технологическое развитие вносит постоянные коррективы в структуру производства и потребления энергии. Поэтому именно динамическая классификация может стать наиболее точным индикатором того, что происходит в общемировой энергетике.

Интересно и то, какое количество стран реализуют свой высокий природный потенциал в случае с двумя разными типами альтернативных энергетик. Согласно полученным данным на 2021 год, стран с развитой ветроэнергетикой и высоким потенциалом в два раза больше, чем аналогичных для случая с солнечной энергетикой.

Причинами данной статистики может быть не только технологическая разница, выражающаяся в дороговизне производства, но и влияние географического фактора. В данной работе не раз упоминалось о том, что природные особенности играют важную роль для развития альтернативной энергетики, поэтому один из ответов на вышеупомянутый вопрос кроется в географических особенностях стран (Рис.19). Причём речь в очередной раз идёт о комплексе географических причин.

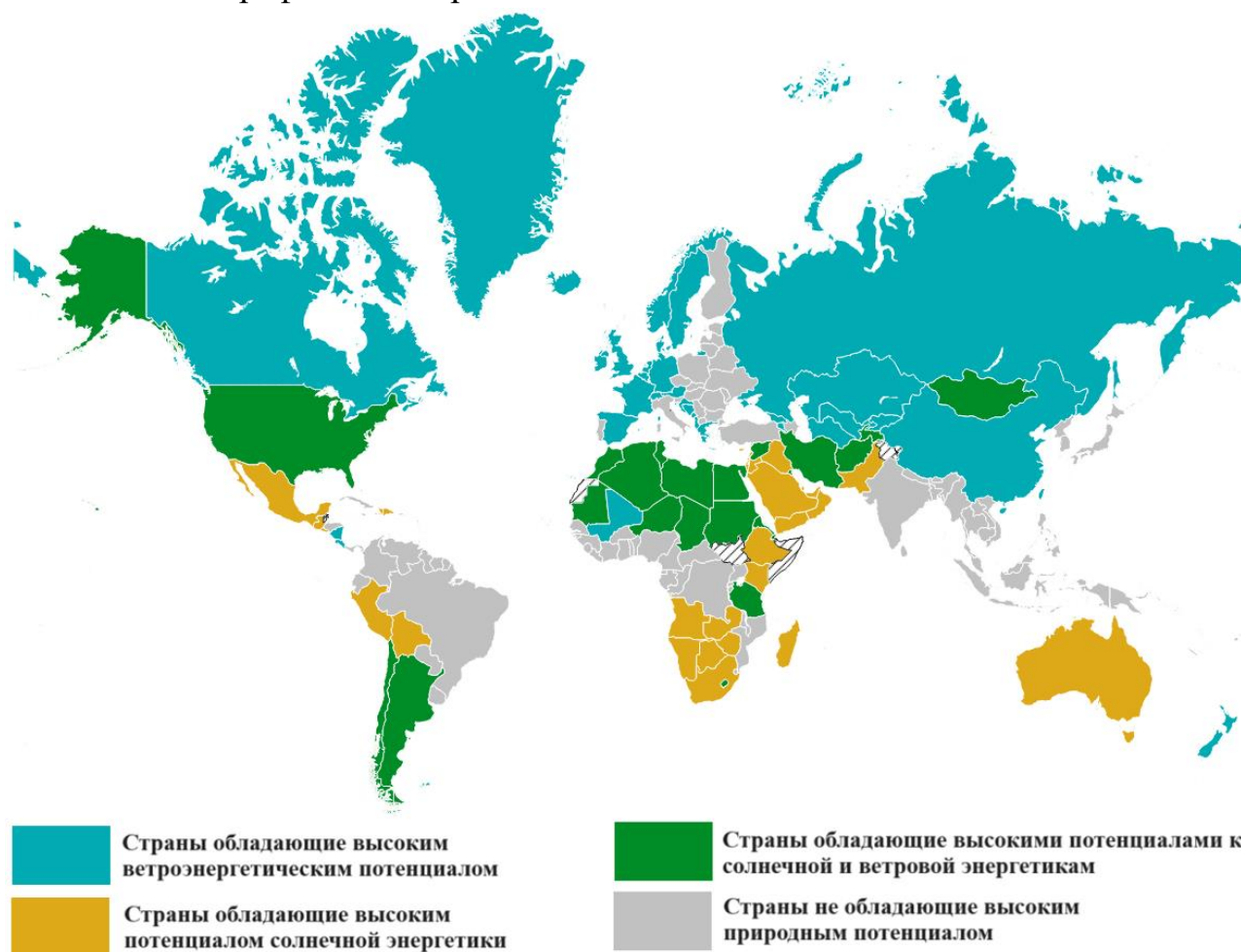


Рис.19. Природный потенциал стран для развития солнечной и ветровой энергетик (в большем масштабе см. Приложения: Рис. П.2.2). Сост. авт.

Страны с высоким потенциалом для развития ветроэнергетики в основном расположены в Европе (там же находятся и многие страны со средним потенциалом близким к высоким значениям, к примеру Португалия). Относительно этих государств можно сказать, что именно с них и началось активное развитие альтернативной энергетики в целом. В группу высокого ветроэнергетического

потенциала попадают и такие крупные экономики как США, Канада, Китай, Германия и находящаяся, по сути, на стыке Европы и Азии – Россия.

Фактически, страны Европы вместе с другими вышеупомянутыми крупными экономиками мира явились «пассионариями» относительно возобновляемой энергетики. Развивая данную мысль, можно сказать, что для них постепенный переход в новую фазу мировой энергетики стал естественным, так как у них имелся комплекс необходимых условий для осуществления данного перехода, а именно финансовые возможности, технологический фундамент, наличие рычагов давления на сферу (как в Великобритании) и стимуляции (как в Германии).

Можно отметить, что у этих стран имелось достаточно «энергии» для преобразования окружающей среды, выраженной в данном случае в снижении вредного воздействия на экологическую обстановку. Постепенно к этой выгоде добавилась и экономическая целесообразность. Важно отметить, что последний аргумент играет одну из ключевых ролей, ведь будет наивно полагать, что «локомотивом» развития альтернативной энергетики является только стремление снизить воздействие на окружающую среду.

Безусловно, такие факторы как обеспечение себе надёжных позиций на будущее в меняющемся мире энергетики и желание снизить зависимость от импорта большого количества энергоресурсов сыграли свою роль в становление европейской энергосистемы, в которую активно интегрируются возобновляемые энергоресурсы. По сути, альтернативная энергетика становится одним из столпов энергетической безопасности развитых стран мира. Крупные мировые экономики имели и возможность, и обусловленную предстоящими изменениями необходимость развития исследуемых в данной работе видов энергетики, что отражается в полученных в ходе применения разработанной систематики результатах.

Если обратить внимание на то, какие страны обладают высоким природным потенциалом для развития солнечной энергетики, то окажется, что около половины

из них – страны Южной, Центральной и Восточной Африки. Большинство из них в момент начала промышленного развития возобновляемой энергетики не обладали финансовыми и технологическими возможностями для её развития.

По сути, даже одна из самых развитых стран данного региона – ЮАР, имевшая возможности для внедрения солнечной энергетики в свою энергосистему, по ряду причин не смогла осуществить этот план. Ситуация с остальными государствами региона во многом аналогична и продолжается до сих пор. При этом вопрос касается не только финансовой, но и технологической стороны. Свою роль сыграла длительная колониальная политика ряда стран в отношении Африки. Будучи во многом «сырьевым придатком» до середины-конца XX века африканские страны не имели возможности активно развиваться в выделенном ранее направлении.

Причём главная проблема состоит не в самой независимости, так как официальная деколонизация подавляющего большинства произошла до начала развития альтернативной энергетики в целом, и солнечной в частности, а в экономических последствиях для стран Африки, которые обусловили поздний старт развития данной сферы.

Суммируя всё вышесказанное, можно утверждать, что высокий ветроэнергетический потенциал «достался» тем странам, которые по большей части имели возможность его реализовать. В случае с солнечной энергетикой, многие страны, имевшие «благоприятную почву» для её развития, не имели инструментов для активного использования данного возобновляемого энергоресурса. Одной из причин, безусловно, являлась колониальная политика стран Европы в отношении Африки и видение последней лишь как источника сырьевых и человеческих ресурсов. Хотя, учитывая постоянно снижающуюся стоимость производства электроэнергии нетрадиционными методами и высокий потенциал, можно смело утверждать, что при грамотном стратегическом планировании, африканские страны могли бы получить серьёзные экономические выгоды за счёт использования технологий в области альтернативной энергетики.

Ярким примером для таких стран является Королевство Марокко, в котором и ветровая, и солнечная энергетика занимают весомую долю в общей энергосистеме страны. При этом, согласно индексу, разработанному немецкой экологической компанией Germanwatch [69], Марокко занимает девятую позицию в мире (по факту шестую, так как первые три места не заняты никем) по эффективности борьбы с изменениями климата.

### **2.3 Региональная диагностика развития ветровой энергетики и классификация стран**

Рассмотрим каким образом разработанная классификация отражает региональный аспект. Несмотря на то, что изначально в структуре данной систематики географические особенности стран закладывались только в природный потенциал и теоретически карта мира, составленная на основе данной классификации должна была бы иметь определённую степень хаотичности, по факту, в ней довольно ярко выражена именно региональная составляющая.

Главной причиной сложившейся структуры, является сложность и комплексность процессов, складывающих любую энергетическую систему, как отдельных стран и регионов, так и всего мира. И если природный потенциал напрямую влияет на перспективу использования того или иного возобновляемого энергоресурса, что безусловно вносит свою лепту в построение именно региональной структуры, то доля и общая выработка энергетики влияют на данный процесс благодаря большому количеству причин, формирующих их значения.

Это и геополитические особенности той или иной страны, а также уровень экономического развития, экологические нормы, ориентированность на другие источники энергии. Все эти понятия имеют под собой географическую основу, поэтому неудивительно, что региональная структура в той или иной мере отражена в результатах применения данной классификации (см. Приложения: Табл. П2.2, Рис. П2.3).

Если обратить внимание на картосхему (Рис.20), отражающую систематику ветроэнергетики на 2021 год, то можно обратить внимание на несколько крупных сформировавшихся кластеров стран со средним и высоким уровнем развития данной отрасли.

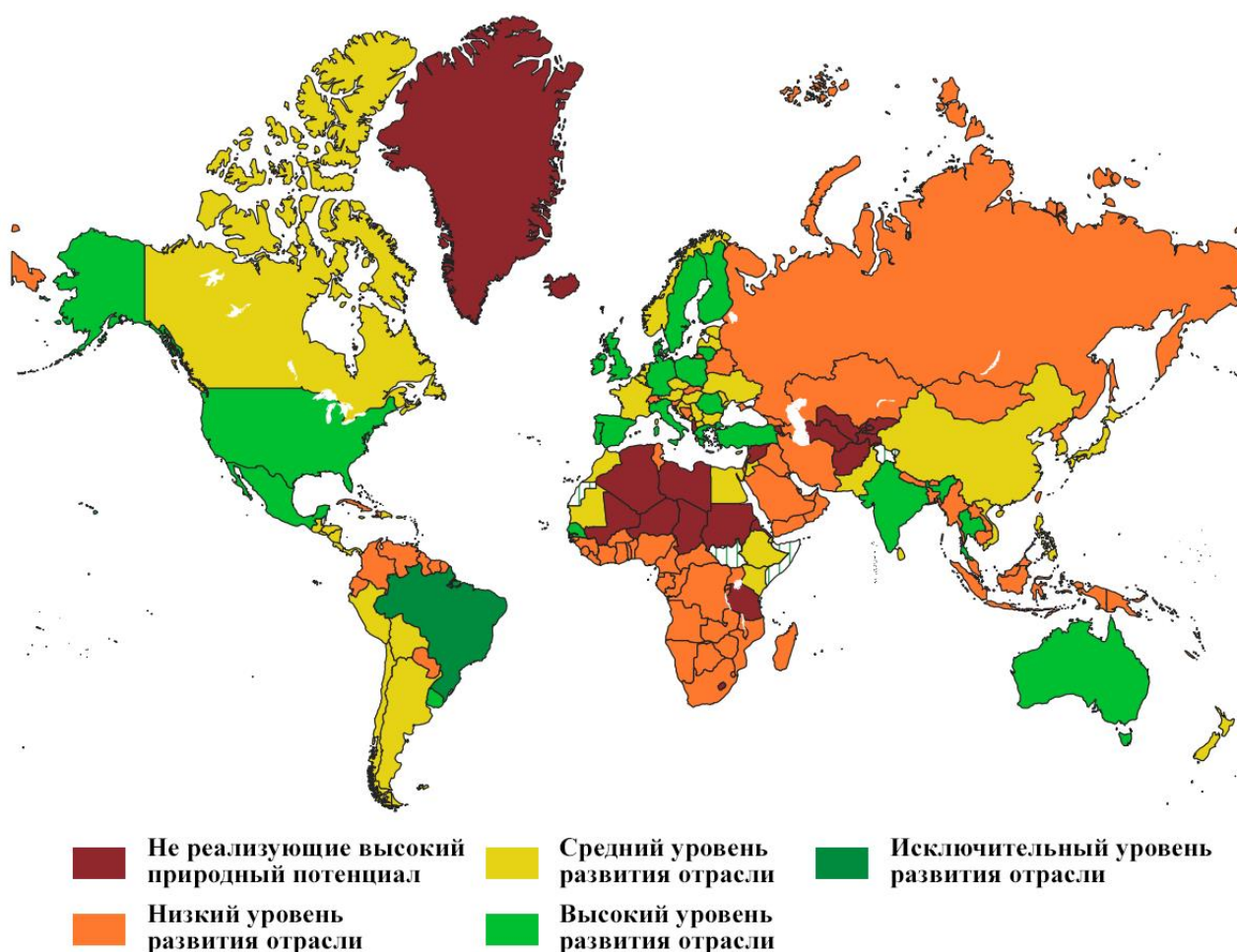


Рис.20. Классификация стран мира по уровню развития ветровой энергетики (по состоянию на 2021 г.). Сост. авт.

Первый кластер состоит из ряда европейских стран и примкнувших к ним стран Западной Африки: Марокко, Мавритании и Сенегала. Стоит отметить и то, что практически все страны Западной и Северной Европы, имеющие высокий природный потенциал, во многом благодаря мощным атлантическим ветрам, его реализуют. Аналогичная ситуация возникла и в случае с приатлантическими странами африканского континента.



Второй кластер сформировался в странах южного полушария Южной Америки и включает в себя Бразилию и Уругвай, обладающие наиболее высокими показателями, а также Аргентину, Боливию, Перу и Чили.

Необходимо заострить внимание и на некоторых странах развивающихся стран Южной, Восточной и Юго-Восточной Азии. Несмотря на невысокий, в большинстве случаев, потенциал, там находится несколько государств, где ветровой энергетике выделена достаточно большая роль. Особенно ярко выделяются Индия и Таиланд, но стоит отметить и потенциальных кандидатов на переход в группу стран с развитой ветроэнергетикой, а именно Филиппины, Вьетнам, Южную Корею и Японию. В случае с Китаем данный переход маловероятен в ближайшее время, так как учитывая активное промышленное развитие страны, сложно представить активный рост доли ветроэнергетики в общем энергобалансе страны.

Крупный кластер, схожий по характеристикам с «азиатской» группой стран, сформировался из Мексики, стран Центральной Америки и стран Карибского бассейна. Отдельно можно выделить такие страны имеющие высокие показатели, как США и Австралию.

Помимо «позитивных» кластеров, выделяются и негативные. А именно те, в которые входят страны, не реализующие высокий природный ветроэнергетический потенциал. Ярко выделяется североафриканская группа стран, состоящая практически из всех стран севера и северо-запада континента, за исключением ранее упомянутого Марокко, а также Египта, Сенегала, Туниса и Мавритании. Также стоит отметить и крупную группу, в которую входит часть стран Центральной и Юго-Западной Азии, а также Россия и Монголия. Отдельно можно отметить некоторые островные государства, в частности, Мадагаскар и Исландию, а также территорию Гренландии.

Стоит отметить, что при анализе результатов классификации стран следует учитывать не только кластеры, сформированные по странам с единым уровнем

развития энергетики, но и те, объединительным звеном которых служит природный потенциал. Именно таким примером и может служить группа стран на северо-западе Африки, где соседствуют представители разных групп, объединённые высоким потенциалом.

Другим примером является ранее рассмотренная группа южноамериканских стран (Рис.21). Во-первых, можно отметить положительную динамику развития ветроэнергетики во многих странах материка. Более того, учитывая тот факт, что с годами меняются и пороговые значения между различными классами, можно утверждать, что темп развития этих стран высокий. Если бы ветроэнергетика развивалась малыми скоростями, то, по сути, она бы компенсировалась растущими пороговыми значениями и, по данной систематике, страны бы оставались в тех же категориях.

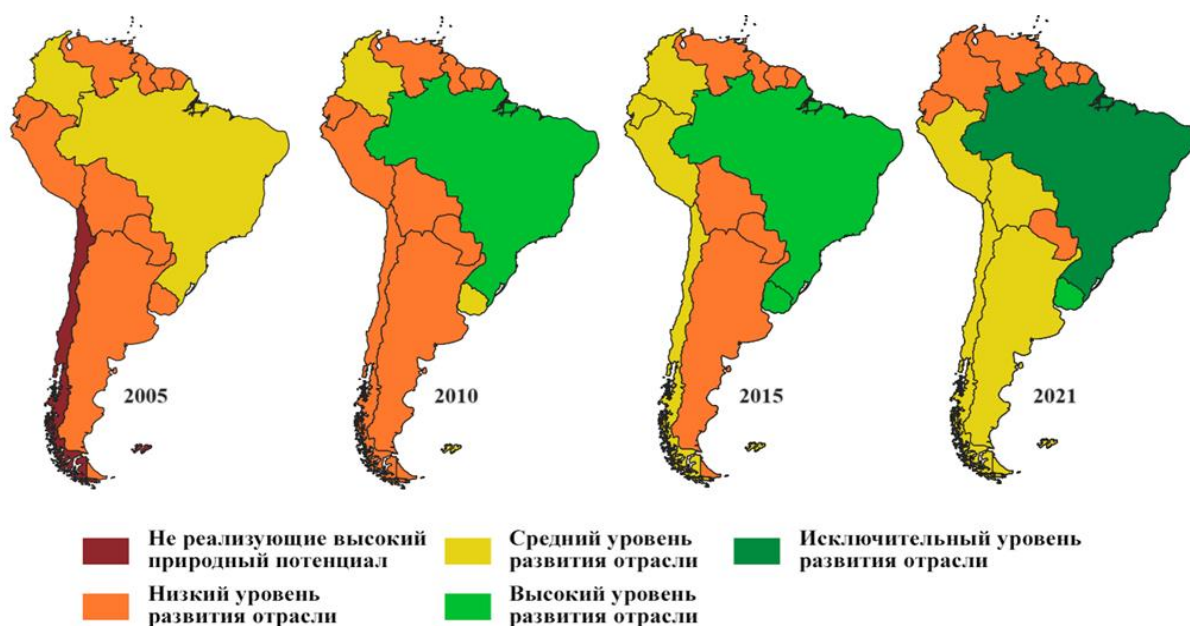


Рис.21. Классификация стран Южной Америки по уровню развития ветровой энергетики (по состоянию на 2010, 2015 и 2021 гг.). Сост. авт.

Особенно ярко данный факт показан на примере Уругвая и Бразилии – стран, которые в различные интервалы с 2005 по 2021 годы, переходили на следующую ступень развития. Последовательные положительные изменения происходили в Аргентине, Боливии и Перу. Также интересен пример Чили, единственной страны континента, которая на 2005 год принадлежала группе стран, не реализующих

высокий потенциал, однако постепенно, к 2015 году добилась среднего уровня развития отрасли.

## 2.4 Региональная диагностика развития гелиоэнергетики и классификация стран

Рассмотрим каким образом региональный аспект отражен в классификации стран по уровню развития солнечной энергетики (Рис.22; см. Приложения Табл. П2.1, Рис. П2.4). Анализ логично начать с Африки, так как высокие температуры (средняя годовая  $t$  на значительной части континента превышает  $20^{\circ}\text{C}$ ) и мощность инсоляции создают здесь «априори» благоприятные естественные предпосылки для развития гелиоэнергетики.

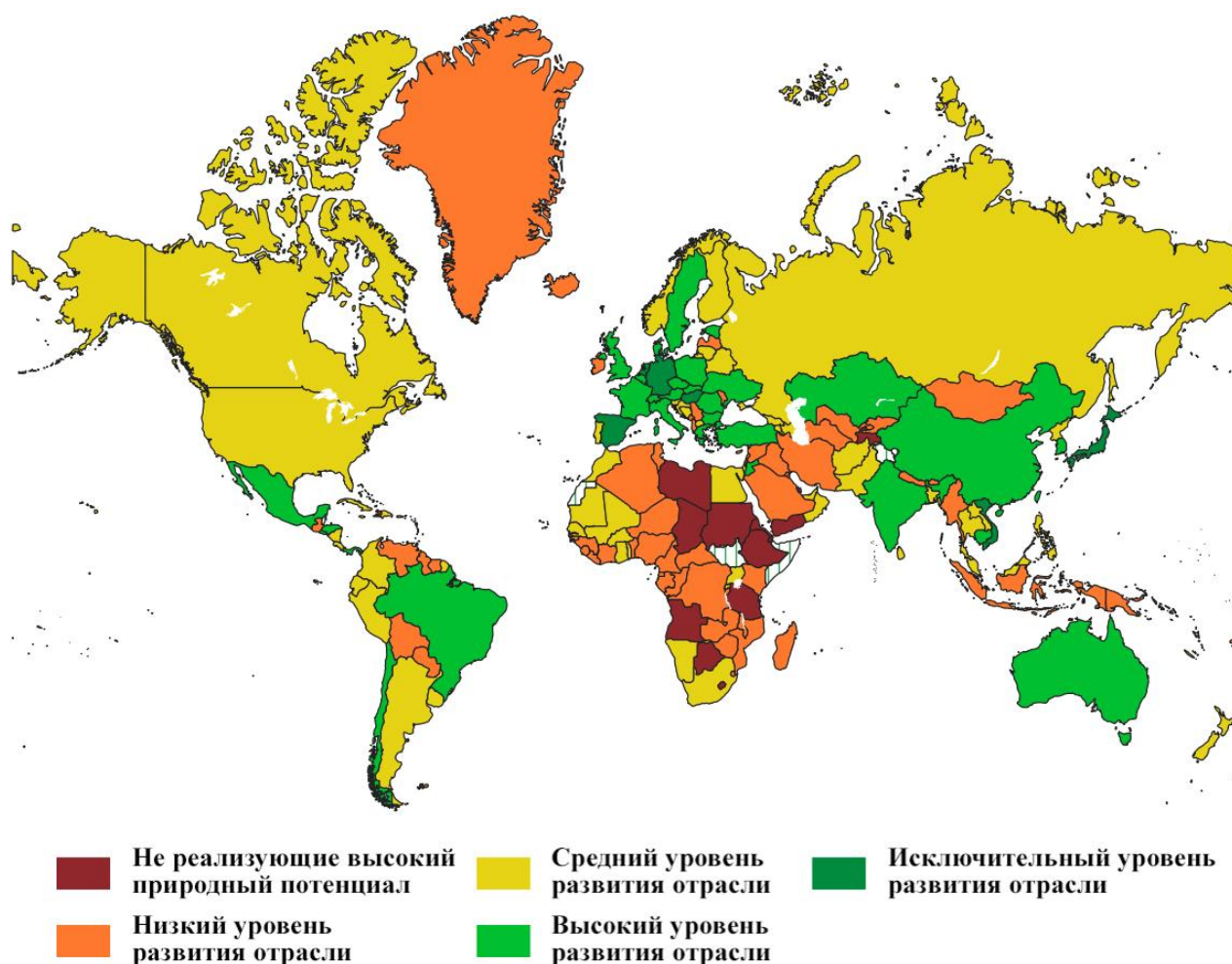


Рис.22. Классификация стран мира по уровню развития солнечной энергетики (по состоянию на 2021 г.). Сост. авт.

В соответствии с подходом, принятым в Секретариате ООН, в Африке выделяют пять субрегионов: Северную, Западную, Восточную, Центральную и Южную Африку. Однако в нашем случае целесообразнее следовать делению Африки на 3 зоны: Северную, Южную и разделяющую их Центральную, обусловленному разницей в объеме солнечной радиации и физико-географическом потенциале.

Становление солнечной энергетики на африканском континенте фактически началось только в десятых годах XXI в. (что отражает и разработанная классификация). По состоянию на 2010 год ни одно государство Африки не обладало хотя бы средними показателями развития, при том, что 22 из них обладают природным высоким потенциалом к гелиоэнергетике.

К 2015-му году появились первые лидеры континента в сфере солнечной энергетики –Алжир, Мавритания, Руанда, Сенегал и ЮАР. К 2021 году список дополнили Буркина-Фасо, Гана, Египет, Намибия, Того, Уганда и абсолютный лидер всей возобновляемой энергетики материка – Марокко.

В целом, страны с высоким потенциалом гелиоэнергетики (подобно Марокко) разбросаны по карте достаточно хаотично, но, по сути, являются своеобразными «концентраторами» в своих регионах. Именно вокруг таких лидеров формируются небольшие группы стран с положительными показателями развития. Территории на севере Африки можно причислять к единому поясу, протянувшемуся от Марокко до Египта (а выходя за пределы материка и вовсе до Пакистана), объединённому высоким физико-географическим потенциалом к развитию солнечной энергетики (данный факт будет более подробно рассмотрен ниже).

Аналогично примеру Африки, как материка, на котором расположено большое количество стран с высоким потенциалом, другим таким регионом стала Южная Америка. По состоянию на 2021 год, лидером по уровню развития солнечной энергетики в данном регионе стали Чили и Бразилия, однако, близкие к ним показатели имеют ещё несколько стран континента, а особенно близка к переходу

в группу высокоразвитых относительно гелиоэнергетики стран – Французская Гвиана. При этом последняя (крупнейший заморский регион и одновременно заморский департамент Франции) была единственной территорией материка, которая характеризовалась хорошими показателями (средний уровень развития солнечной энергетики) и в 2010-м году. В то же время единственной страной, обладающей высоким потенциалом, но имеющая низкие показатели развития гелиоэнергетики является Боливия.

Южно-Американская группа стран с высоким и средним уровнем развития солнечной энергетикой стран плавно «перетекает» в Центральную Америку и страны Карибского бассейна (Рис.23).

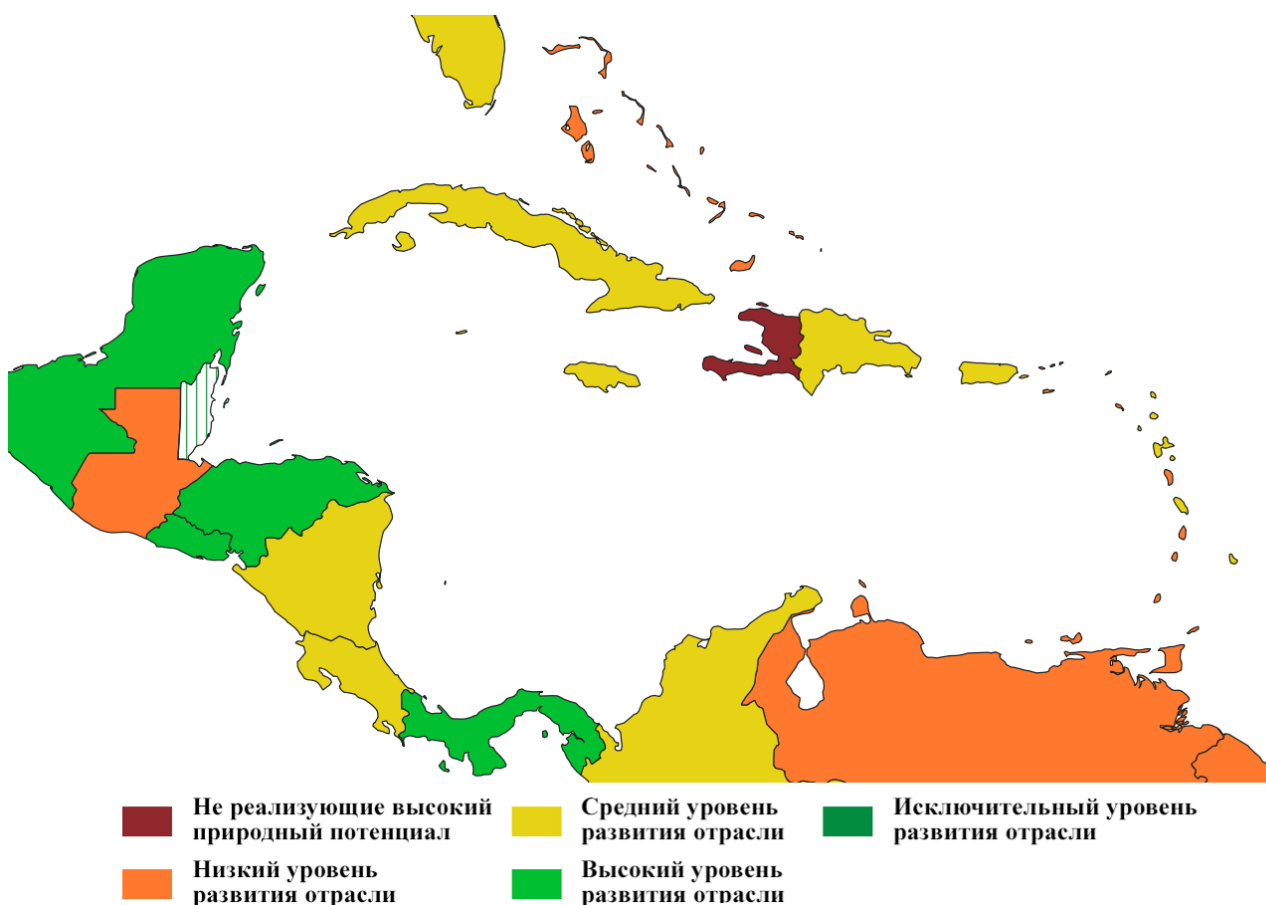


Рис.23. Классификация стран Карибского бассейна и Центральной Америки по уровню развития солнечной энергетики. По состоянию на 2021 год. Сост. авт.

Примечательной особенностью данного региона является тот факт, несмотря на наличие здесь большого количества бедных экономик, местные государства достаточно преуспели в развитии солнечной энергетики. Имеется лишь одна

относительно крупная страна, не реализующая свой высокий природный потенциал – Гаити (одна из самых беднейших экономик мира), а также несколько небольших островных государств, с низким уровнем развития отрасли.

Страны с наиболее высоким уровнем развития солнечной энергетики – Сальвадор, Панама и Гондурас. Многие другие государства региона, по сути, находятся в шаге от перехода в группу тех, чья солнечная энергетика находится в развитой стадии – а именно: Пуэрто-Рико, Мартиника и Гваделупа. Отдельно можно отметить Монтсеррат, обладающие высокими показателями доли солнечной энергетики в общем энергобалансе страны.

Как и в случае с ветровой энергетикой, ярко выделяется европейский кластер. Во-первых, в Европе практически нет стран, обладающей высоким потенциалом (единственным исключением является Кипр), однако здесь находится большое количество стран, чья солнечная энергетика находится в развитой стадии.

Во-вторых, практически все европейские страны, относящиеся к группе развитых, попали туда благодаря высоким показателям выработки, а не доли, что объясняется, с одной стороны, комплексом экономических особенностей, обеспечивающих возможность внедрения исследуемых технологий при реализации энергетических программ.

Страны бывшей Югославии по большей части обладают низким потенциалом (кроме Албании), что вкупе с меньшим уровнем экономического развития, чем у крупных стран Европы, сказалось на результатах классификации. Можно сказать, что на Балканском полуострове сформировался достаточно слабый (по европейским меркам) кластер солнечной энергетики.

Абсолютно обратная ситуация сложилась на территории Юго-Западной Азии (Рис.24). Во-первых, практически все страны данного региона обладают высоким природным потенциалом для развития солнечной энергетики. Во-вторых, некоторых из них его успешно реализуют, в особенности страны

Средиземноморья, а именно: Турция и Иордания. Средними показателями развития солнечной энергетики характеризуются Кипр, Израиль, Палестина. При этом последние две, являются кандидатам на повышение по группе (7 баллов в сумме).

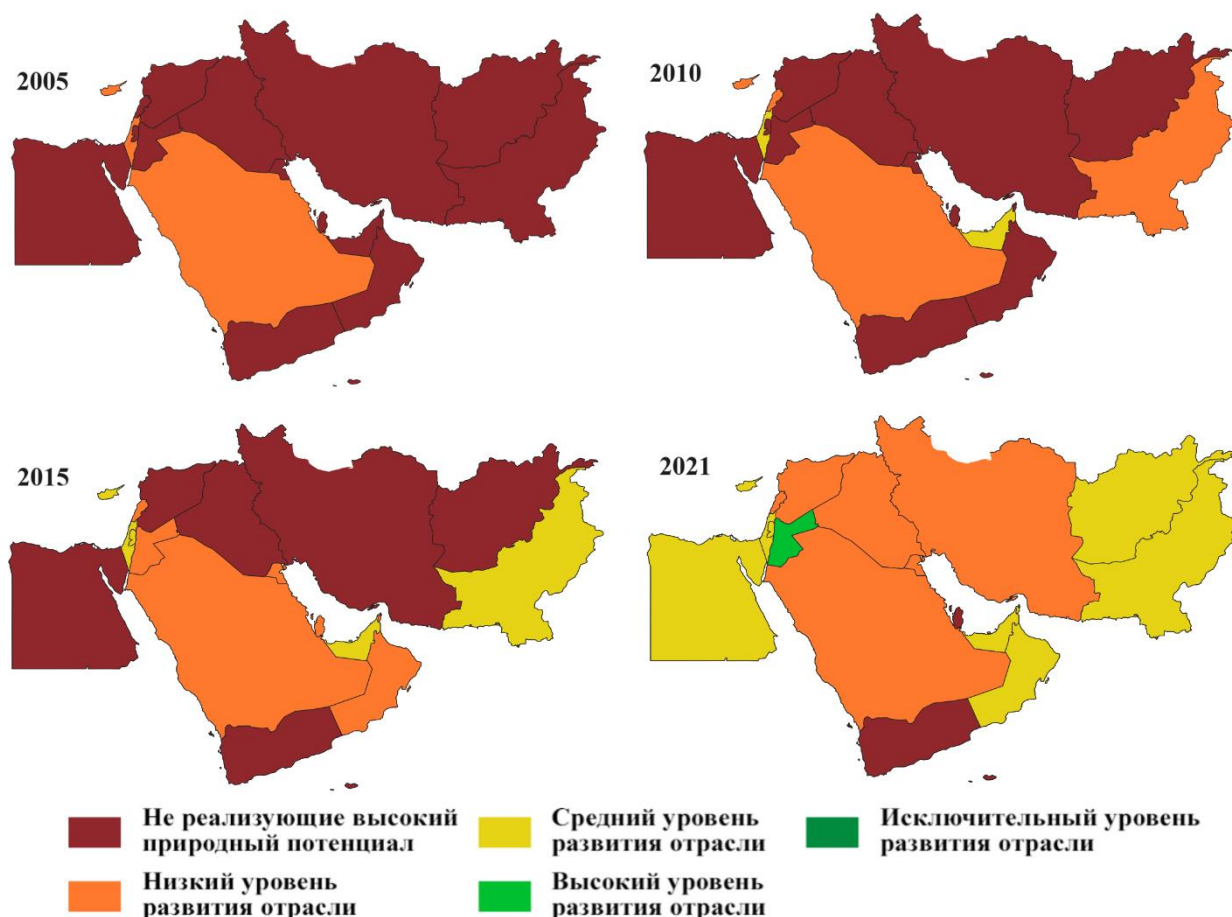


Рис.24. Классификация уровня развития солнечной энергетики в Египте и некоторых странах Азии. Сост. авт.

Особняком стоят Объединённые Арабские Эмираты и Оман – географически отделённые от плотно расположенной группы стран Средиземноморья. Однако как с позиции генеральной схемы ООН, так и по классификации В.В. Вольского, они относятся к одному макрорегиону мира, поэтому, учитывая одинаковый природный потенциал, их можно отнести к единому кластеру солнечной энергетики. Более того страна, претендующая на роль их связующего звена – Саудовская Аравия имела весомые причины на то, чтобы не заниматься развитием

альтернативной энергетики, ввиду экономической нецелесообразности, выраженной в наличии больших запасов горючего топлива на территории страны.

Стоит отметить, что несмотря на вышеупомянутое, в последние годы в Королевстве началось активное развитие солнечной энергетики, причиной для которого стал рост цен на нефть, что является ещё одним примером того, как катаклизмы рынка оказывают влияние на внимание правительств к альтернативной энергетике. Поэтому нельзя исключать, что в ближайшие десятилетия, регион станет пространственно целостным с позиции уровня развития солнечной энергетики.

Амбициозные проекты по развитию исследуемого типа энергетики разработаны не только в Саудовской Аравии. Масштабные проекты разработаны в Ираке [116], гражданская война и последовавший за ней энергетический кризис постепенно приводит Йемен к использованию солнечной энергетики. Интересно, что в последнем реализуется Палестинская модель, когда большая часть генерации электроэнергии с использованием солнечной энергии производится на небольших солнечных панелях, зачастую расположенных на крышах зданий.

Схожие процессы происходят и в Сирии, но масштабы пока невелики. Другим кандидатом на повышение рейтинга по уровню развития солнечной энергетики является Ливан, где в последние годы началось очень активное инвестирование в данную сферу. Политика государства привела к тому, что к середине 2023 года установленная мощность солнечных панелей достигла 1000 МВт, хотя за прошлое десятилетие было установлено только 90 МВт [159].

Суммируя вышесказанное, можно утверждать, что в данном регионе формируется мощный кластер солнечной энергетики, в котором уже сейчас есть страны, характеризующиеся высокими показателями, а в перспективе, большая часть государств региона может подтянуться к лидерам, сформировав тем самым вышеупомянутый кластер.



Высокий потенциал стран Юго-Западной Азии плавно распространяется и в Южную, где также есть территории, обладающие относительно высокими показателями, в лице Афганистана и Пакистана (Рис.24). Оба государства, согласно разработанной классификации, относятся к странам со средним уровнем развития гелиоэнергетики. Хотя по классическим вариациям деления мира на макрорегионы данные страны не относятся к Юго-Западной Азии, с позиции физико-географического потенциала к развитию солнечной энергетики, они замыкают азиатскую группу стран.

Более того, на данный вопрос можно посмотреть шире, ведь как упоминалось ранее, согласно результатам классификации и исходя из непосредственной географической близости, к этой группе можно отнести и Северную Африку, причём в широком её понятии, включающем не только страны Средиземноморья, но и чуть более южный пояс стран от Мавритании до Эритреи.

Благодаря высокому физико-географическому потенциалу, можно предположить, что именно в этом регионе в ближайшие десятилетия начнётся наиболее активное развитие солнечной энергетики. Данное предположение подтверждает и тот факт, что в большинстве стран рассматриваемого региона имеются стратегии и цели развития данного сектора энергетики вплоть до 2050 года. Более того, возможно внутри этого крупного кластера с течением времени могут сформироваться и отдельные группы, к примеру, из стран Аравийского полуострова в случае, если активное развитие отрасли начнётся в Саудовской Аравии, Омане и Йемене. Возможен и сценарий, при котором рывок совершат некоторые страны Северной Африки, сформировав единый Средиземноморский кластер, вместе с Израилем, Кипром, Египтом и Марокко.

Однако на данный момент, страны, имеющие относительно высокие показатели в исследуемых регионах, разбросаны по нему достаточно хаотично, поэтому имеет смысл объединять их в единый кластер по высоким показателями физико-географического потенциала.

Последним регионом мира, который хотелось бы выделить отдельно – это страны Океании и «примкнувшую» к ним Австралию (Рис.25). Нередко страны Океании остаются вне поля зрения исследователей, даже при оценке экономико-географических особенностей в мировом масштабе. Во многом это явилось следствием как отдалённости данных стран от крупнейших мировых центров, так и чрезвычайно малыми масштабами экономик.

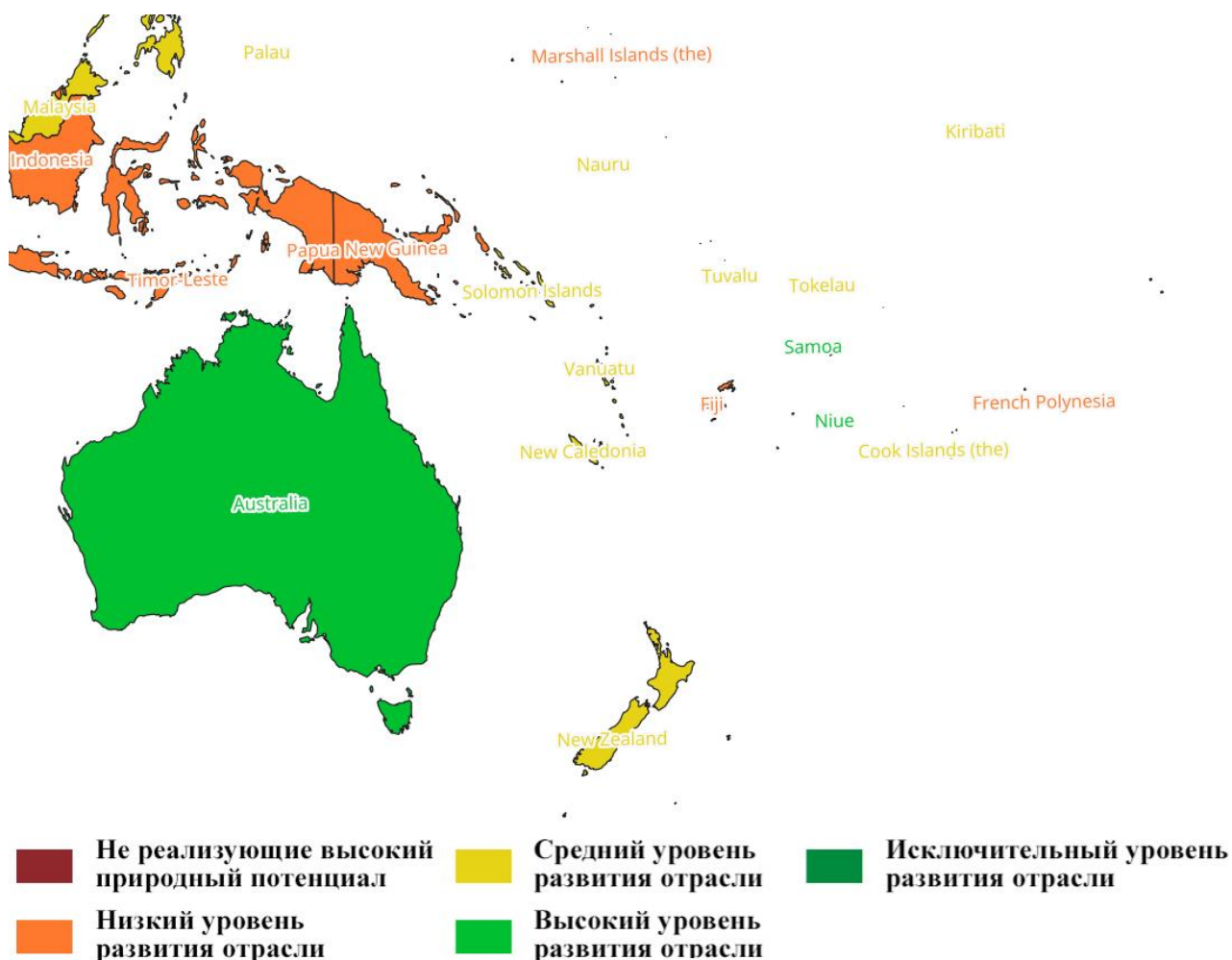


Рис.25. Классификация уровня развития солнечной энергетики в Австралии и странах Океании. Сост. авт.

Стоит отдельно отметить Австралию, как страну, которая, согласно разработанной в рамках данного исследования классификации, единственная за период с 2005 по 2021 гг., практически постоянно (за исключением 2010 года) демонстрировала высокий уровень развития солнечной энергетики, при этом имея

высокий физико-географический потенциал. Соответственно, она же является и лидером всего региона в развитии гелиоэнергетики.

Стоит оговориться, что страны Океании были подвержены колониальной политике (в первую очередь со стороны Великобритании), как и Африканские страны, однако колониализм в данном случае не имел ресурсной направленности, по крайней мере, в таких масштабах, в которых это происходило со странами «чёрного континента».

Безусловно, нельзя забывать про то, что территория Океании, как и Африка использовалась в качестве сельскохозяйственной плантации с дешёвой рабочей силой, а также как источник рабов. Однако имеют место существенные различия. Например, африканский «сценарий» подразумевал в том числе выкачивание минеральных ресурсов стран, отчасти продолжающийся и после деколонизации. Естественно, что развитие горнодобывающей промышленности требовало создания местной энергетической базы и требует ее укрепления сегодня.

Что же касается Океании, то в какой-то момент времени её территория стала рассматриваться скорее, как стратегический ресурс, что подтвердил и характер Тихоокеанской компании во время II мировой войны. Роль стратегического ресурса, которым обладают страны Океании сегодня не теряется и также требует укрепления энергетической базы, тем более что только около половины стран Океании являются суверенными [139]. Таким образом, как и в случае с Африкой, колониальная и постколониальная политика наложила отпечаток на энергосистему стран Океании.

С точки зрения физико-географического потенциала для развития солнечной энергетики, большинство стран Океании соответствуют поясу, сформировавшемуся в Центральной Африке, а именно среднему и низкому потенциалу (кроме Кирибати). Действительно серьёзным различием, является то, что больше половины стран Океании относятся к группам среднего или высокого уровня развития солнечной энергетики.

Первопричиной этого, является относительно высокая доля солнечной энергетики в общей системе стран. Разумеется, ввиду небольшой экономики, о высокой суммарной выработке (на данный момент времени) речи не идёт, однако необходимо выделить то, как активно исследуемый тип энергетики интегрирован в систему стран Океании, особенно на фоне некоторых стран Африки.

На данную картину могло повлиять несколько причин. Безусловно, одной из основных является тот факт, что и население, и площадь стран данных регионов кардинально отличается и нарастить высокую долю в условном Вануату проще, чем в ДР Конго. Этот тезис подтверждается и тем фактом, что рядом с самим материком Африка есть две островные территории, принадлежащие к группе стран со средним уровнем развития солнечной энергетики, а именно: Маврикий и Реюньон (франц. департамент). Отдельно можно отметить и территорию с высоким уровнем развития данной отрасли – Майотту.

Однако в данном случае нельзя объяснить всю сложившуюся картину только вышеупомянутыми особенностями стран. Важной причиной является и финансовая помощь других держав мира, в особенности тех, кто напрямую отвечал или отвечает за экономическое и политическое состояние некоторых территориальных образований региона.

Ярким подтверждением этой мысли служить Токелау – территория, находящаяся под управлением Новой Зеландии. Токелау обладает уникальными показателями доли солнечной энергетики в общей энергосистеме, приближающимися к 100%. Это стало прямым следствием относительно крупных инвестиций Новой Зеландии в данную сферу (около 8,5 млн. долларов США) [17].

Другим примером является Тувалу – суверенное государство, с относительно высокой долей солнечной энергетики (6,5%; 36е место в мире), что стало возможным благодаря финансовой помощи Новой Зеландии и Европейского союза. Новая Каледония – французская территория, находящаяся в Океании, обладает самой большой суммарной выработкой электроэнергии с помощью солнечных

панелей, среди всех небольших островных стран региона, что явилось следствием финансовой и, что не менее важно, технологической поддержки Франции [18].

Разумеется, среди причин такой дифференциации между исследуемыми регионами является и наличие в Африканских странах ресурсов для работы ТЭС – угля, газа и нефти. Страны Океании в большинстве своём лишены подобных ископаемых ресурсов, следовательно, их необходимо доставлять морем (в первую очередь речь идёт о дизельном топливе), что используется и по сей день. Развитие возобновляемой энергетики позволяет странам региона снижать объём поставок горючего топлива и, следовательно, в перспективе снижать финансовую нагрузку, как с себя, так и со стран «патронов».

Однако, помимо всех упомянутых факторов, необходимо выделить и другой, возможно наиболее географичный. Многие страны Океании напрямую заинтересованы в переходе к возобновляемой энергетике, так как от этого зависит само существование их территорий. Широко известен тот факт, что страны региона помимо социальных и экономических проблем, подвержены периодическим природным катаклизмам.

Если придерживаться концепции глобального потепления и того, что огромное влияние на данный процесс оказывает пресловутый антропогенный фактор, то от того насколько быстро будет реализована стратегия низкоуглеродного развития планеты зависит физическое существование территорий многих стран региона. В случае реализации концепции глобального потепления и последующего за ним повышения уровня моря, некоторые атоллы, на которых расположены страны Океании могут уйти под воду.

Причём, речь идёт не только о теории, что подтверждается и высказываниями на самом высоком политическом уровне. В подтверждение можно процитировать выдержки из плана правительства Тувалу, посвящённого сокращению выбросов парниковых газов. В данном документе речь идёт о стратегии по полному переходу на возобновляемые источники энергии с той позиции, что: *«Это также*

*соответствует нашему стремлению удержать потепление на уровне менее 1,5°C, если есть шанс спасти такие атоловые страны, как Тувалу» [55].* Можно добавить и тот факт, что в последние годы правительство страны, готовится к потенциальной эвакуации граждан, в том числе и в Новую Зеландию, в случае потенциального затопления территории.

Стремление к защите своих территорий от последствий потенциального глобального потепления выразилось в создании Альянса малых островных государств (AOSIS) [42], в который, помимо территорий Океании, входят и страны Карибского бассейна, а также некоторые территории, находящиеся в Индийском (в том числе и ранее упомянутый Маврикий) и Тихом океанах. Одной из задач альянса является развитие альтернативной энергетики в упомянутых странах, и стоит отметить, что определённые успехи уже наблюдаются.

С позиции глобального потепления, развитие ВИЭ на территории Океании, как и других малых островных государств, ассоциируется с широко распространённым лозунгом: «Дело помощи утопающим – дело рук самих утопающих». Однако стоит заметить, что главный вклад в деле выбросов в атмосферу лежит, безусловно, не на странах исследуемого региона.

В результате можно выдвинуть предположение, что в Океании сформировался определённый кластер стран, объединённых схожими процессами, формировавшими порой схожие результаты уровня развития солнечной энергетики.

Суммируя всё вышесказанное, можно отметить, что представленный метод диагностики уровня развития альтернативной энергетики в различных странах мира демонстрирует определённые закономерности развития данных направлений в энергетике. На основе разработанной методики, можно оценивать, как динамику изменений уровня развития во времени, так и вычленять региональный аспект.

## **ГЛАВА III. Пространственное моделирование при оценке потенциала территорий ДФО РФ к развитию некоторых типов альтернативной энергетики через призму производства «зелёного» водорода**

### **3.1 Альтернативная энергетика в парадигме энергетической безопасности**

Альтернативная энергетика, по своей сути является одним из столпов, на которых может базироваться экономическое будущее большей части стран мира. Об этом свидетельствуют и мнение общественных деятелей, политиков и экспертов. В какой-то мере, возобновляемые источники энергии постепенно приходят на смену атому, на который ранее возлагались аналогичные надежды – как на топливо будущего. Тенденция по увеличению значения роли возобновляемых источников энергии заметна и на основе данных полученных в результате классификации стран и территорий, которой посвящена Глава II.

Нельзя утверждать, что атомная энергетика теряет свои позиции под давлением альтернативной. АЭС всё ещё эффективны и широко используются, особенно если нет проблем с получением топлива, подтверждением тому является Франция. Однако вопросы безопасности, прочно засели в умах человечества. Репутацию атомной энергетики подпортили чрезвычайные происшествия имевшие место быть на атомных электростанциях. Из наиболее крупных, соответствующих максимальному уровню опасности (7) по международной шкале ядерных и радиологических событий (ИНЕС), можно отметить аварию на Чернобыльской АЭС (26 апреля 1986 года) и события на АЭС Фукусима-1 (11 марта 2011 года).

Помимо двух вышеупомянутых крупных катастроф были и менее масштабные и как следствие менее заметные, однако нельзя отрицать факта их наличия. Хотя и игнорировать тот факт, что атомная энергетика стала намного безопаснее, практически на всех этапах цикла, включая хранение радиоактивных отходов тоже нельзя.

По сути, при безаварийной эксплуатации, атомная энергетика могла бы составить конкуренцию возобновляемой, однако ввиду отсутствия гарантий на то, что с АЭС не произойдет какого-либо катаклизма данное сравнение не совсем справедливо, особенно с учётом вопроса хранения радиоактивных отходов.

Безусловно, альтернативная энергетика тоже оказывает своё влияние на экологическую обстановку. Абсолютно ошибочно полагать, что данный тип энергетики является своего рода панацеей относительно снижения антропогенного влияния на окружающую среду. Существует большое количество исследований, в том числе и подтверждённых экспериментально, повествующих о негативном влиянии некоторых видов возобновляемой энергетики на природу.

В случае с ветроэнергетическими станциями часто высказываются мнения о их воздействии на птиц, о вибрациях и влиянии инфразвука. Минусом использования солнечных панелей является их утилизация. Использование геотермальной энергии может сопровождаться выделением токсичных газов в атмосферу через эксплуатационную шахту.

Однако, несмотря на всё вышеупомянутое, надо признать, что на данный момент времени альтернативная энергетика, как комплекс различных технологий по выработке электроэнергии, оказывает меньшее влияние на окружающую среду, чем другие виды энергетики, по крайней мере пока теоретически, ведь для практического обоснования безопасности исследуемого вида энергетики прошло недостаточно времени.

Под давлением в том числе и экологического фактора, во многих странах мира происходит постепенный слом традиционной парадигмы энергетики и постепенное увеличение доли альтернативной энергетики. Как уже упоминалось ранее, вопрос часто упирается в своеобразную дихотомию рационализма (энергетического против экологического). Безусловно, учитывая реалии современной системы рыночной экономики, является естественным тот факт, что никто не будет развивать тот или иной вид энергетики, не имея выгоды.



До определённой поры, пока цена на каждый киловатт, выработанный на предприятиях, использующих для производства электроэнергии возобновляемые ресурсы, была высока, правительства многих стран использовали методы «кнута или пряника» для развития отрасли. С развитием технологий и последовавшим за ним снижением цен, ситуация начала улучшаться, так как к стимулирующим мерам добавилась и выгода для капитала. Однако другим важным фактором, который всегда рассматривался, как один из основных «бенефитов» развития альтернативной энергетики, является энергетическая безопасность.

Этот вопрос уже рассматривался ранее в данном исследовании, однако сейчас на него необходимо посмотреть чуть шире. Само по себе понятие «энергетической безопасности» включает в себя несколько аспектов. Техногенная сторона энергобезопасности, а именно то насколько масштабно влияние производства того или иного вида энергетики на окружающую среду и человека, была достаточно затронута ранее. В контексте данного исследования более интересна совокупность политэкономических аспектов, выраженная в процессах и явлениях, имеющих прямое отношения к географической науке.

Фактически, суммируя множество определений такого явления как «энергетическая безопасность» (в том числе и из Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации [17]), можно выделить главную цель проведения данной политики в жизнь, а именно, обеспечение нормального функционирования энергетического и топливного снабжения страны, а так же содействие торговому обороту энергоресурсов.

По сути, энергетическая безопасность подразделяется на обеспечение внутренних нужд экономики и на обеспечение внешней торговли. Учитывая постепенное изменение традиционной энергетической парадигмы, возникает вопрос, сможет ли альтернативная энергетика успешно реализовывать стратегию энергетической безопасности в обеих ипостасях.

Одной из главных проблем введения возобновляемой энергетики в концепцию энергетической безопасности является её относительная нестабильность и непредсказуемость. Безусловно, есть более стабильные виды исследуемого типа энергетики, например малые ГЭС (в случае рек со стабильным гидрологическим режимом) или же геотермальная энергия. Однако если говорить о наиболее популярных видах альтернативной энергетики, а именно ветровой и солнечной, то существует определённая степень вероятности их эффективности в определённый промежуток времени. Это во многом не позволяет целиком положиться на них в рамках внутреннего обеспечения страны.

В оппозицию этому умозаключению можно привести пример, основанный на законе больших чисел, а именно то, что, учитывая накопленный за длительный промежуток времени крупный массив климатических данных, можно высчитывать приблизительный средний потенциал той или иной территории и как следствие понимать насколько стабильно может быть производство электроэнергии с помощью ВИЭ. Не стоит забывать и про то, что на некоторых территориях существует сезонность ветров, которая обычно стабильна и предсказуема.

Стоит упомянуть о том, что существуют отрасли, где критично постоянное и бесперебойное обеспечение энергией (ярким примером служат медицинские учреждения и военные объекты). Решением данной проблемы может быть серьёзная модернизация общей электроэнергетической сети, для получения возможности компенсации недостатка на отдельных участках в определённый период времени. Так или иначе, альтернативной энергетике нужна определённая подстраховка, и чем крупнее экономика, масштабы развития промышленности и площадь государства, тем вопрос становится всё более комплексным.

Однако, несмотря на всё вышесказанное, альтернативная энергетика подпадает под концепцию энергетической безопасности, благодаря своей важнейшей особенности – она напрямую зависит от внутренних ресурсов страны, следовательно, наиболее независима от влияния внешних факторов. Отсутствие у

страны прямой зависимости от поставок энергоресурсов, безусловно является залогом безопасности государства в целом, поэтому пренебрегать данным вопросом нельзя, даже тем странам, которые имеют стабильные позиции на настоящее время.

Рассмотрим каким образом альтернативная энергетика влияет на энергетическую безопасность стран в настоящее время. Политика внедрения ВИЭ для обеспечения энергобезопасности страны легче всего реализуема в странах с небольшой площадью, экономикой и предсказуемыми природными факторами. Ранее уже рассматривался пример государства Токелау, в котором доля солнечной энергетике необычайно высока (около 91%). Безусловно, для стран, имеющих схожие и экономико-географические показатели, Токелау является своего рода отличным примером и ролевой моделью страны, энергетически независимой от внешних факторов.

Далее можно рассмотреть крупные экономики мира, где альтернативная энергетика является ключом к энергобезопасности. Ярким примером является Германия, долгое время находившаяся в серьёзной зависимости от импорта энергоресурсов, в том числе и из Российской Федерации. Активное внедрение ВИЭ в энергосистему страны позволило серьёзно снизить эту зависимость, как следствие укрепив ту самую энергетическую безопасность. Более того, Германия является примером снижения установленной мощности АЭС за счёт увеличения мощности возобновляемой энергетике.

Саму Россию можно отнести к другой группе стран, а именно тех, кто обладает энергетической независимостью, но в первую очередь благодаря своим внутренним ископаемым ресурсам. Аналогичный пример был рассмотрен ранее в случае с Саудовской Аравией. В данном случае, важной проблемой является то, что ископаемые ресурсы исчерпаемы, следовательно, энергетическая безопасность страны находится в стабильном состоянии, пока цена добычи, к примеру углеводородов оправдана. Учитывая тот факт, что сейчас стоимость киловатта,

произведённого с использованием ВИЭ конкурирует с аналогичной ценой, но при производстве электроэнергии с помощью традиционных технологий, можно предположить, что тот самый переход в новую энергетическую фазу уже начался и на данный момент некоторые страны начинают отставать.

В случае с альтернативной энергетикой в России, можно утверждать, что высокий потенциал страны в некоторых направлениях исследуемой энергетики, абсолютно не коррелирует с существующими показателями. Согласно данным Ассоциации развития возобновляемой энергетики [18], в период с января по июль 2023 года в РФ было произведено 5,4 млрд. кВт·ч электроэнергии с использованием ВИЭ (при доле в общей выработке равной 0,8%). С одной стороны, это на порядок выше, чем в начале 2010-х годов, однако отставание от других крупных экономик мира достаточно высоко, как пример можно привести другие страны БРИКС: Бразилия – 73 млрд. кВт·ч, Индия – 119 кВт·ч, Китай – 845 кВт·ч.

Согласно классификации, упомянутой в Главе II, на 2021 год Российская Федерация входила в группу стран с низким уровнем развития ветроэнергетики и средним уровнем развития гелиоэнергетики (в случае с последней во многом из-за низкого природного потенциала). При этом стоит отметить, что к примеру относительно ветроэнергетики, в не раз ранее упомянутом Азиатско-тихоокеанском регионе находится большое количество стран групп со средним и высоким уровнями развития.

Безусловно Россия даже в случае с резким сокращением добычи углеводородов может сохранять свою энергетику в стабильном состоянии и с точки зрения внутреннего рынка, страна может обеспечивать и население, и промышленность электроэнергией сохраняя адекватную ценовую политику. Как минимум за счёт атомных электростанций, так как Россия и технологически в состоянии строить АЭС, но и что не менее важно входит в небольшую группу стран, обладающих крупными запасами урана. Однако не стоит пренебрегать развитием альтернативной энергетики. Более того, существуют планы к 2040 г. в

десять раз нарастить долю возобновляемых источников энергии в энергобалансе страны за счет сильного сокращения доли угольной генерации – с текущих 12% до 6-7% [26].

Во-первых, не стоит забывать, что она в среднем экологичнее, а сохранение окружающей среды и разнообразной природы России является одним из приоритетов государства. Безусловно, в парадигме капиталистических взаимоотношений, говорить о том, что экологический фактор будет стоять во главе угла в известной степени наивно, но и сбрасывать его со счетов мы не имеем права. Во-вторых, стоит ещё раз напомнить о том факте, что экономически альтернативная энергетика уже конкурирует с остальными типами, включая атомную. В-третьих, развитие альтернативной энергетики является одним из путей, пойдя по которому Россия сможет сохранить свою высокую долю в мировой торговле энергоресурсами, что в том числе входит в парадигму энергобезопасности.

Речь идёт не о торговле собственно электроэнергией, а о производстве «зелёного» водорода, отрасли на которую Россия уже обратила внимание и отрасли, которая находится на начальной стадии своего развития. Следовательно, при грамотном и поступательном движении к середине-концу XXI века, РФ может получить весомую долю рынка.

Перед рассмотрением вопросов развития отрасли производства «зелёного» водорода в России, стоит вспомнить, что из себя представляет данный тип водорода. Как было ранее упомянуто, общепринятой классификации типов водорода не существует, однако есть некоторые позиции, по которым большинство исследователей данной тематики сходятся, в том числе и по тому вопросу, что к категории «зеленый» водород, относится водород, произведённый методом электролиза воды, с использованием энергии полученной при помощи возобновляемых источников.

Как уже было упомянуто ранее, многие страны мира разработали свои планы, по развитию данного сектора, выраженные в стратегиях, концепциях и дорожных картах. Правительство Российской Федерации утвердило свою концепцию развития водородной энергетики 5-го августа 2021 года [35]. Стоит сразу же оговориться, что данный документ, как и аналогичные, но разработанные в других странах, особенно рассматривают перспективу на 2035 (среднесрочную) и 2050 (долгосрочную) годы.

С позиции географической науки, особенный интерес в данном документе вызывает пункт, посвящённый тому, где предположительно могут быть расположены кластеры по производству водорода. По ситуации на 2021 года, планировалось создание как минимум 3х основных кластеров – Северо-Западный, Восточный и Арктический. Стоит отметить достаточно интересную деталь, а именно то, что при обосновании местоположения данных производственных кластеров в случае первых двух основополагающим критерием является потенциальный экспорт и лишь потом упоминается использование водорода на внутренние нужды страны. Это не только показывает стремление именно к экспортной направленности развития отрасли, но и указывало конкретные направления экспорта.

Отдельно стоит упомянуть и предполагаемый Южный кластер, не входящий в тройку основных. Однако именно в его случае упоминается потенциал альтернативной энергетики региона, как база для формирования водородного кластера.

По состоянию на 2023 год, учитывая современную геополитическую обстановку, всё более активное внимание уделяется именно идеям по созданию Восточного кластера. Поворот России в сторону Азиатско-Тихоокеанского региона определяет в том числе направленность и характер исследований на данную тематику. Более того, применительно к водороду, основной упор на развитие данного кластера в данный момент выглядит более логичным даже если отбросить

в сторону вышеупомянутые геополитические факторы, которые, к слову, весьма изменчивы и крайне непредсказуемы.

Если рассматривать ситуацию в «геополитическом вакууме», что отчасти оправдано с научной точки зрения, учитывая нестабильность данного фактора, то на успех страны/региона в деле развития отрасли «зелёного» водорода влияют следующие критерии:

- природный потенциал
- потребность самого региона/страны в водороде
- технологический прогресс
- экспортная составляющая (в особенности близость потребителя либо наличие портовых мощностей)

Приведём базовое сравнение потенциала всех 4х вышеупомянутых кластеров, не опираясь на взаимоотношения между странами. С точки зрения природного потенциала можно утверждать о наличие некоего паритета между упомянутыми кластерами и существует несколько причин, обуславливающих это равенство. Важно понимать, что природный потенциал для производства «зелёного» водорода, напрямую упирается в аналогичный для альтернативной энергетики, что следует из самого определения «зелёного» водорода.

В связи с тем, что не существует каких-либо строгих границ установленных кластеров, а учитывая размер самой страны и масштабы природного разнообразия на любой выбранной территории можно найти зоны с высоким природным потенциалом. Безусловно в зависимости от географического местоположения кластера может изменяться доля того или иного ВИЭ, но фактически потенциал скорее всего будет.

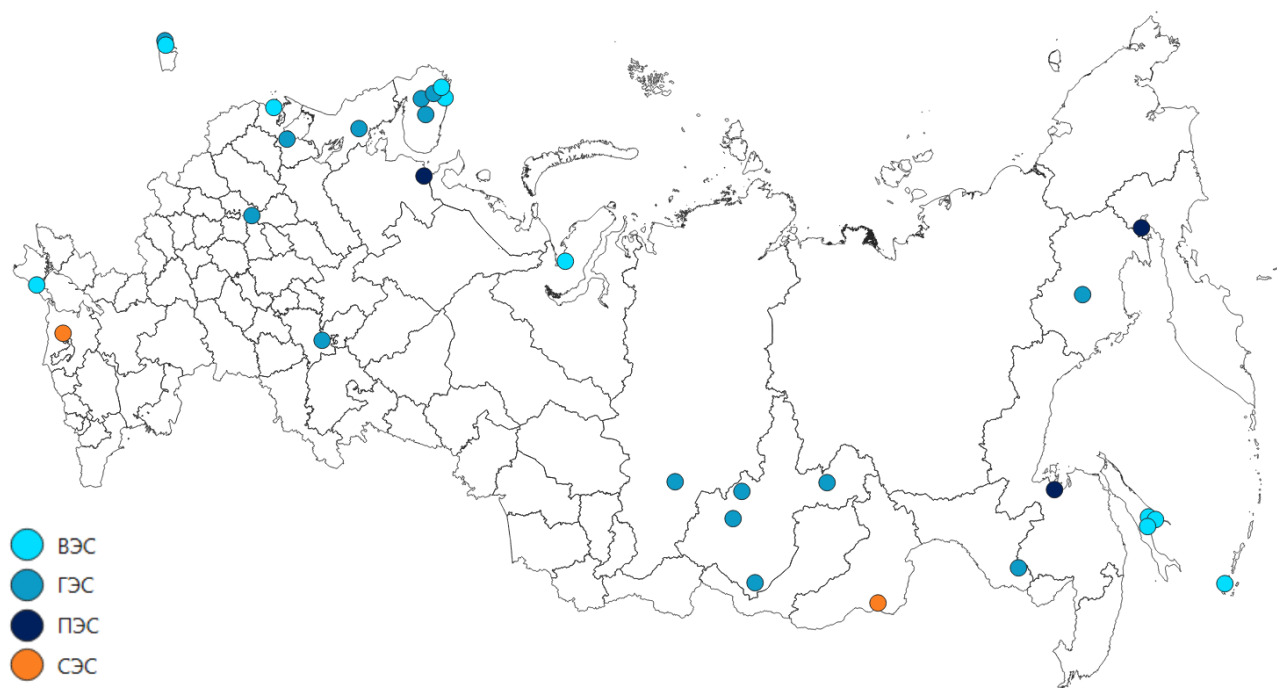


Рис.26. География перспективных проектов РФ по производству «зелёного» водорода, в зависимости от используемого ВИЭ. Сост. авт. по [2].

Косвенно это подтверждает и «Атлас российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака». Фактически, данный атлас, вышедший в 2021 году, обобщает большинство планируемых проектов по производству водорода (Рис.26).

Отчасти данный атлас даёт и некоторое понимание о вышеупомянутых границах, однако оно сугубо общее, без какой-либо конкретики. Интереснее тот факт, что в предложенных проектах по производству «зелёного» водорода, планируется задействовать сразу 4 типа ВИЭ. В том числе есть и 3 проекта по применению приливных электростанций – достаточно экзотичного вида электроэнергетики на данный момент.

Примерно в половине из всех проектов в качестве источника энергии для электролиза предполагается использовать гидроэлектростанции, что логично, учитывая огромный потенциал РФ в сфере гидроэнергетики. Единственным препятствием является экологический след, оставляемый крупными ГЭС, однако в парадигме эффективности производства, данный вариант чрезвычайно удачен. Нельзя забывать и о малых ГЭС, применение которых в качестве источника



электроэнергии для электролиза не только возможно теоретически, но и находится в стадии разработки.

Однако в данном исследовании сконцентрировано внимание на более новых технологиях, которые чаще прочих идут в связке с «зелёным» водородом – ВЭС и СЭС – технологиях, которые только завоёвывают своё место в мировом энергетическом балансе. Как бы эффективны ни были ГЭС, они уже давно воспринимаются, как составляющая часть традиционного энергоуклада, в отличие от ветровых и солнечных электростанций. И в случае с использованием последних, РФ также имеет отличные перспективы развития, в том числе и в сфере их применения к водородной энергетике.

Возвращаясь к вышеупомянутому атласу, можно предполагать, что ветроэлектростанции станут вторым после ГЭС источником электроэнергии для производства «зелёного» водорода, причём используемым во всех 4х кластерах. Есть также небольшое количество проектов, где планируется использование солнечной энергии и вполне логично, что если данная сфера будет расширяться, то скорее в пределах южного кластера.

Потребность самого региона – один из важных критериев, причём в случае с водородом, речь идёт не только о использовании его, как топлива для транспортных средств, но и для промышленности. В случае с Россией, данный критерий является одним из камней преткновения для развития водородной энергетике, так как неизвестно будет ли спрос на него на внутреннем рынке. Причём если говорить о промышленности, то дела обстоят намного лучше, чем с транспортом.

Водород уже активно используется в РФ, особенно в химической промышленности при производстве аммиака. Более того, в последние годы, около 90% произведённого водорода шло именно на внутренние нужды [28], что обусловлено, как несформировавшимся мировым рынком данного энергоносителя,

так и малым объёмом производства. Однако вопрос о том, понадобятся ли российской промышленности бóльшее количество водорода, остаётся открытым.

В случае с использованием водорода в качестве топлива всё ещё сложнее. Безусловно его внедрение для общественного транспорта, вполне реально, так как данная область контролируется государством, но в случае с частным транспортом, никто не может дать гарантий, что водород станет популярен. Объективно говоря, в России по тем или иным причинам не приживаются автомобили с двигателями на некоторых современных видах топлива, к примеру электромобили (0.06% согласно данным агентства «АВТОСТАТ» [4]). В оппозицию можно сказать, что в РФ происходит активный рост количества автомобилей на газе, который по оценкам экспертов экологичнее бензина, однако такой успех газа в первую очередь обусловлено ценой на топливо – пропан-бутан в 1.5-2 раза дешевле АИ-95 и АИ-98, что ещё раз подтверждает тот факт, что никакого масштабного движения в сторону декарбонизации невозможен без наличия финансовых выгод.

Учитывая высокую потенциальную стоимость водорода, сложно предположить, что в его случае будут повторены текущие «газовые» тенденции. Возможно, и по этим причинам, производство водорода в России скорее всего будет нести экспортно-ориентированный характер.

Однако, стоит отметить интересную мысль, что в случае с частным транспортом сложно предсказать в границах какого кластера, может произойти рост использования автомобилей на водороде. С одной стороны, учитывая высокую стоимость топлива, можно предположить, что данные технологии будут иметь большую популярность на европейской части страны, а с другой, потенциальными лидерами по производству транспорта на водороде, судя по современным тенденциям, станут Япония, Китай и Южная Корея – страны граничащие с Дальним Востоком, что в свою очередь может повлиять на экспорт упомянутых транспортных средств в данный регион.

Действительно перспективно выглядит идея развития и освоения Арктики с применением водородных технологий, упомянутая в утверждённой правительством концепции.

Тем не менее, намного перспективнее для России выглядит именно экспортная направленность развития водородной энергетики. Причём, даже без учёта геополитических особенностей, именно Китай может стать основным импортёром данного энергоносителя. Это обусловлено тем, что именно КНР, по оценкам большинства агентств и компаний, будет основным потребителем водорода в долгосрочной (на 2050 год) перспективе. К примеру, консалтинговая компания McKinsey & Company оценивает долю Китая в общемировом потреблении водорода как 30% (к 2050 году), а с Индией, Японией и Южной Кореей – 43%. По оценке компании Wood MacKenzie доля Китая к 2050 году составит 25%. Так или иначе оба показателя весьма значительны и хоть и имеют в своём базисе прогностический характер, можно предполагать, что тренд потребности Китая и в целом Азиатско-Тихоокеанского региона в водороде сохранится.

В данной парадигме развитие именно Восточного кластера по производству «зелёного» играет особенно важную роль, в связи с географическим местоположением, выраженном в близости к рынку сбыта, ведь на данной стадии технологического развития, одним из ключевых параметров, определяющих потенциальное местоположение предприятий по производству водорода, является близость потребителя.

В первую очередь это продиктовано высокой стоимостью транспортировки водорода. Существует огромное множество данных о том, какие конкретные числовые значения имеет данный параметр, однако в рамках текущего исследования не ставится цели подробно изучить динамику и причины ценообразования в каждом из случаев, куда важнее общие закономерности.

Согласно аналитике, представленной международным энергетическим агентством, по состоянию на 2030 год, стоимость перевозки водорода (в различных

его состояниях) представляется следующим образом: на коротких дистанциях выгоднее использовать именно трубопроводную систему, на длинных преимущество за морским способом доставки.

Дальний Восток имеет все возможности успешно реализовывать оба сценария. Не сбрасывая со счетов возможность внутреннего потребления исследуемого энергоносителя, в данном регионе есть возможность поставок водорода, как по трубам (в первую очередь в КНР за счёт приграничного положения), так и морем практически во все страны АТР. Дальний Восток имеет перспективу для развития портовых мощностей для транспортировки водорода, в том числе и на базе уже существующих портов. Данного рода модернизация особенно актуальна для острова Сахалин, где согласно атласу проектов планируется расположение сразу 3х предприятий.

Схожие идеи заявлял и губернатор Сахалинской области В. Лимаренко, применительно к порту Корсаков [16]. По его идее, данный порт можно превратить в «международный транспортно-логистический хаб (узел)». Идея модернизации существующей инфраструктуры вполне логична, так как на территории Дальнего Востока уже находится большое количество портов и плодить сущее сверх необходимого, строя новые узловые точки не имеет смысла. Куда рациональнее заняться развитием существующих мощностей.

Также В. Лимаренко отчасти затрагивает и вопрос развития Курильских островов, в парадигме водородной энергетики. Эта тема особенно интересна, если рассматривать её применительно к островам Итуруп и Кунашир. Безусловно, развитие Сахалинской области не зиждется только на развитии инфраструктуры острова Сахалин. Особенное внимание должно быть уделено и Курильской гряде, при этом к совокупности причин обуславливающих необходимость развития водородной энергетики на материковой части Восточного кластера и на острове Сахалин, можно добавить ещё одну, не менее важную – колоссальное

стратегическое значения Курильской гряды в целом и её южных островов в частности.

Вместе с тем, стоит помнить, что Курильская гряда обладает уникальной природой, забота о сохранении которой не должна сходиться со счетов, что не всегда берётся во внимание в случае сугубо экономического похода. Географический же подход, как более комплексный, позволяет балансировать между необходимостью освоения территории и сохранением окружающей среды.

Суммируя вышесказанное, можно выдвинуть идею о том, что освоение данных территорий необходимо, однако внедряемые технологии должны быть максимально (насколько возможно) бережны по отношению ко всем компонентам геосферы. «Зелёный» водород может стать одним из таких направлений. При этом, возможно, в его основе стоит заложить солнечную энергетику, как оказывающую наиболее щадящее влияние на окружающую среду, чем, к примеру ВЭС и ГЭС. Стоит оговориться, что это будет возможно при необходимой выработке, что, на данный момент спорно. Однако, первая крупная СЭС в Сахалинской области была построена именно на острове Итуруп [23], что внушает определённый оптимизм, отчасти, обозначая и потенциальный вектор развития.

Ранее обсуждались вопросы о совместном с Японией развитии вышеупомянутых территорий, в том числе и через призму водородных технологий. Также звучали идеи о сдаче в аренду части территорий острова Шумшу (Курильские о-ва) датской компании Copenhagen Offshore Partners, целью которой было производство «голубого» водорода с помощью энергии ВЭС [36].

Безусловно, привлечение иностранных инвестиций в данную сферу может стать импульсом для её развития. *Однако неизбежно встаёт вопрос, насколько рациональны данные идеи в парадигме энергетической безопасности страны.* Если перед Россией ставятся высокие цели занять большую долю рынка водорода к 2050 году, то имеет смысл самим развивать данную отрасль, делая её более независимой, следовательно, устойчивой к геополитическим изменениям. В

данном случае стоит присмотреться к использованию Курильского архипелага в качестве важной составляющей заявленного Восточного кластера.

При этом речь идёт не о стремлении закрыться от возможностей кооперации с другими странами, а в обеспечении собственной энергетической безопасности в будущем, выраженной не только в обеспечении своего населения энергоресурсами, но и в возможности успешной торговли. Возможно, стоит задуматься о том, что стратегически важные территории, а Курильские острова являются оными, не стоит делать предметом активного внешнего вмешательства, а использовать их географический потенциал сугубо для собственных нужд.

В результате можно утверждать, что Восточный кластер, упомянутый в концепции развития водородной энергетики, как минимум не уступает остальным по потенциалу даже без учёта текущей геополитической обстановки. А в действительности учитывать последнюю необходимо, так как для достижения поставленных целей (около 20% рынка водорода к 2050 году) необходимо уже сейчас начинать развивать данную отрасль, отталкиваясь в том числе от текущей ситуации. Причём мотивацией должны выступать не только экологические критерии, а также необходимость занять крепкие позиции при последующем энергетическом переходе.

Дальний Восток может и должен сыграть ключевую роль в данном предприятии, став авангардом российской энергетической безопасности середины-конца XXI века.

## **3.2 Пространственная модель для оценки потенциала некоторых регионов ДФО к размещению предприятий по производству «зелёного» водорода**

### ***3.2.1 Методологические основы пространственного моделирования потенциала территории к альтернативной энергетике***

Ранее не раз было отмечено, что оценка потенциала территории к размещению различных производств является комплексным процессом. Многофакторность данного процесса обуславливает высокую актуальность его рассмотрения именно с позиции географии, как науки, обладающей инструментарием для сочетания большого количества параметров, имеющих какое-либо пространственное выражение.

Безусловно, речь идёт не о детальном выборе площадки под строительство – это задача бизнес-аналитиков и местных властей, при этом инструментарий будет скорее далёк от географического и более близок к техническому. В случае с исследованиями по оценке потенциала территории к размещению того или иного производства, речь идёт в первую очередь о задачах, имеющих стратегический характер. Именно при таких условиях география и может развернуть свой основной потенциал как наука, предлагающая комплексный подход к решению различных задач.

*Использование методов, присущих географической науке, особенно актуально, когда речь идёт о диагностике того или иного аспекта альтернативной энергетики и в особенности его пространственного отражения, как на региональном, так и на межгосударственном уровне.* Именно проведение такой диагностики и является одной из стадий геостратегического планирования, являющегося основой развития исследуемой отрасли.

В случае если речь идёт о новых отраслях промышленности, таких как производство водорода (в особенности «зелёного» водорода) вначале рассматривают геополитические вопросы, что особенно актуально в свете планируемой экспортной направленности данной сферы. Невозможно спорить с тем, что геополитическая обстановка в мире – величина изменчивая, следовательно, когда речь идёт об относительно далёких перспективах,

невозможно точно предугадать, к примеру, куда именно будет направлен экспорт того или иного сырья.

Однако, учитывая то, что в концепции развития водородной энергетики, предложенной правительством Российской Федерации, одним из перспективных кластеров по производству водорода выделен Дальневосточный кластер, а также учитывая тот факт, что РФ постепенно начинает обращать всё больше внимания на Азиатско-Тихоокеанский регион, стратегически, рассмотрение потенциала именно данной территории может считаться одной из первоочередных задач.

В данном исследовании было принято решение оценить пространственный потенциал некоторых субъектов Дальневосточного федерального округа (Рис.27) для размещения предприятий по производству водорода, с использованием возобновляемых источников энергии (ветра и солнца).

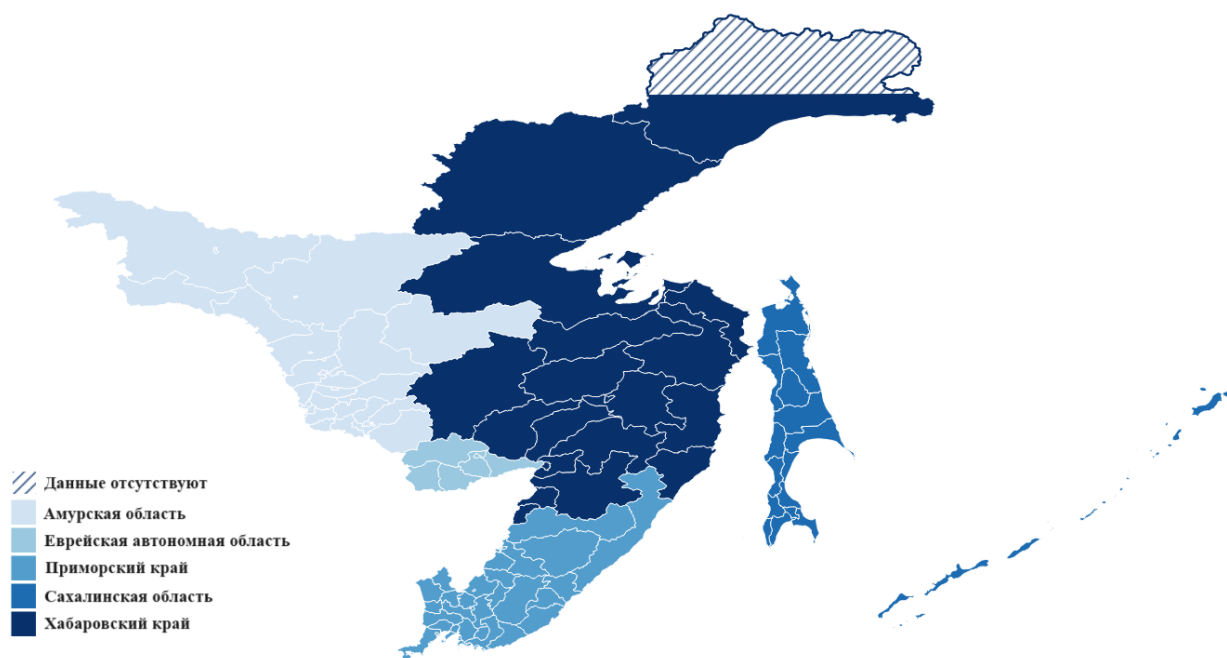


Рис.27. Территории, выбранные для оценки потенциала размещения производств «зелёного» водорода. Сост. авт.

В качестве опытных полигонов была использована совокупность следующих территорий: Амурская область, Еврейская автономная область, Приморский край, Сахалинская область, Хабаровский край (до 60<sup>0</sup> с.ш. – обусловлено отсутствием



некоторых наборов данных для территорий севернее упомянутого предела). Выбор был обусловлен тем, что 4 из 5 вышеупомянутых субъектов имеют границу с КНР, одним из основных торговых партнёров Российской Федерации, а так же тем фактом, что в них находятся относительно крупные города, в которых может возникнуть и внутренняя необходимость потребления исследуемого энергоресурса – Владивосток, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре, Благовещенск.

Сахалинская область особенно интересна в данном контексте тем, что, как ранее упоминалось, на её территории имеется высокий потенциал к развитию портовой инфраструктуры для торговли водородом, а так же уже имеются портовые мощности, которые при необходимости могут быть модернизированы для торговли водородом, примером является морской порт «Пригородное» в Корсаковском городском округе Сахалинской области.

Важно отметить, тот факт, что исследования по оценке потенциала размещения водородной энергетики, основанной на ВИЭ напрямую вытекают из оценки потенциала, собственно, ВИЭ. Методология исследований данного типа обширна и анализ производился для различных территорий. Факторы, учитываемые при расчётах, подбираются исследователями в зависимости от необходимых настроек самого исследования, однако некоторые из них стабильно представлены в подавляющем большинстве работ. Примерами таких факторов являются скорость ветра, количество суммарной солнечной радиации, расстояние до крупных населённых пунктов.

Обширна и методология подсчёта и обобщения обрабатываемых данных. В исследованиях на данную тематику используются такие математические модели как метод анализа иерархий – МАИ (Analytic Hierarchy Process – АНР) [43,46,139,145,147] метод «лучшего-худшего» (BWM) [42,55,174], метод для выбора порядка предпочтения по сходству с идеальным решением (TOPSIS) [106]. Существуют и работы, в которых использованы комбинированные методики, к примеру АНР-TOPSIS [153].

Из отечественных работ стоит отдельно отметить диссертационное исследование С. А. Ерошенко, посвящённое прогнозированию режимов фотоэлектрических станций, на примере Свердловской энергосистемы. В данном исследовании основной упор делается на техническую составляющую вопроса, что обусловлено специальностью автора, однако применяются и некоторые из вышеупомянутых методов.

Также стоит отметить диссертационное исследование А. Ю. Артемьева, где автор применяет методы многокритериального выбора районов для размещения ветроэлектростанций в северных районах республики Саха (Якутия). Стоит отметить и проведение аэродинамического моделирования территорий для более точечного определения потенциального местоположения будущей ВЭС. Именно такие работы и подразумеваются под «технической» стороной моделирования размещения предприятий использующих ВИЭ, которые являются следующей стадией после геостратегической оценки потенциала территории.

Отдельно можно отметить исследование Х. Солимана по оценке потенциала ветроэнергетики провинции Хомс (Сирия) [38]. В данной работе используя методы нечёткой логики, автор произвёл качественный анализ исследуемой территории. Однако стоит заметить, что в работе в достаточной степени не учтены ограничивающие факторы, а также не была произведена проверка на согласованность составленной экспертами матрицы.

В данном исследовании было принято решение использовать метод анализа иерархий (АИР). Выбор вышеупомянутого метода связан со следующими факторами:

1. Возможность учитывать большое число параметров
2. В основе данного метода лежит попарное сравнение параметров, что в сумме должно приводить к более объективной оценке. Кроме того, именно оно более удобно для эксперта, так как исключает необходимость постоянно фокусировать внимание на большом количестве факторов [20].

3. Метод отличается гибкостью за счёт обширной шкалы сравнительной оценки параметров (шкалы Саати), а также возможности изменения и дополнения самой матрицы оценок в случае изменения количество параметров.

4. В методологию включены инструменты для оценки согласованности мнения экспертов, что отчасти нивелирует один из главных недостатков метода, а именно то, что вышеупомянутые мнения могут кардинально различаться.

Схожая методика применялась иранским исследователем Ю. Нуурулаи для оценки потенциала размещения солнечных панелей в остане Хузестан (Иран) [139]. Важно сразу отметить тот факт, что в совокупности с применением метода анализа иерархий, в данном исследовании лежит применение как «нечёткой», так и «булевой» логик, в зависимости от того, каким образом необходимо отобразить тот или иной параметр.

Булева логика (Boolean logic), применяемая в современных вычислительных машинах, представляет собой систему, в которой возможно два значения переменной – истинное (1) или ложное (0). Данная модель подходит для пространственного решения факторов, имеющих строгий ограничительный характер. К примеру, размещение ветроэлектростанций невозможно в черте городской застройки, следовательно, точкам пространства, в которых находится упомянутая застройка будет присвоено значение «0», а противоположным значение «1».

Нечёткая логика (Fuzzy logic) основана на понятии нечёткого множества. В основе структуры данной логики, лежит тот факт, что истинное значение переменной может быть любым действительным числом от 0 до 1 [19]. Данная систематика позволяет оперировать с куда большим лингвистическим спектром определений чем в случае с булевой логикой.

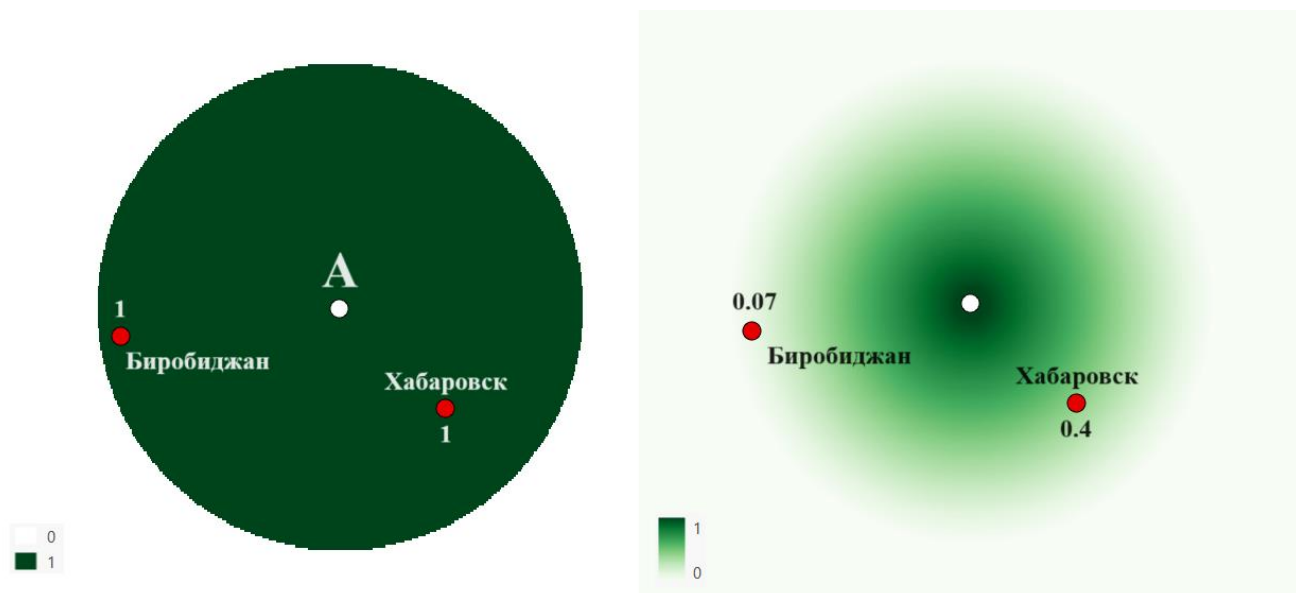


Рис.28. Различия между «булевой» и «нечёткой» логикой на примере пространственного анализа. Сост. авт.

Ключевое преимущество использования инструментария нечёткой логики заключается в возможности интерпретировать и анализировать неточности реального мира. В пространственном выражении можно привести следующий пример (Рис.28). Представим точку «А», имеющую определённые координаты и зададимся вопросом: «Далеко или близко от неё расположены города Хабаровск и Биробиджан?». Предположим, что под лингвистическим определением «далеко», подразумевается 120 км. Если отвечать на данный вопрос с позиции «булевой» логики, то оба города находятся «близко» от точки «А». Однако, если применить правила «нечёткой» логики, то окажется, что коэффициент расстояния Хабаровска – 0.4, а Биробиджана 0.07. Следовательно, появляется возможность более точно сравнить дистанции до обоих городов и подобрать более ёмкие определения.

Применение нечёткой логики в исследованиях по оценке потенциала территории к размещению различных типов производств позволяет унифицировать большое количество параметров, необходимых для оценки потенциала и обладающих различными единицами измерения и, что немаловажно, позволяет подбирать для каждого набора данных свои необходимые функции для приведения изначальных данных в искомую структуру согласно правилам нечётких множеств. Разнообразие функций, преобразующих множества данных, обусловлено тем, что

различные факторы, влияющие на процесс даже имея одинаковые показатели в абсолютных значениях, могут иметь отличные в относительных. Более подробно данный вопрос будет рассмотрен позже.

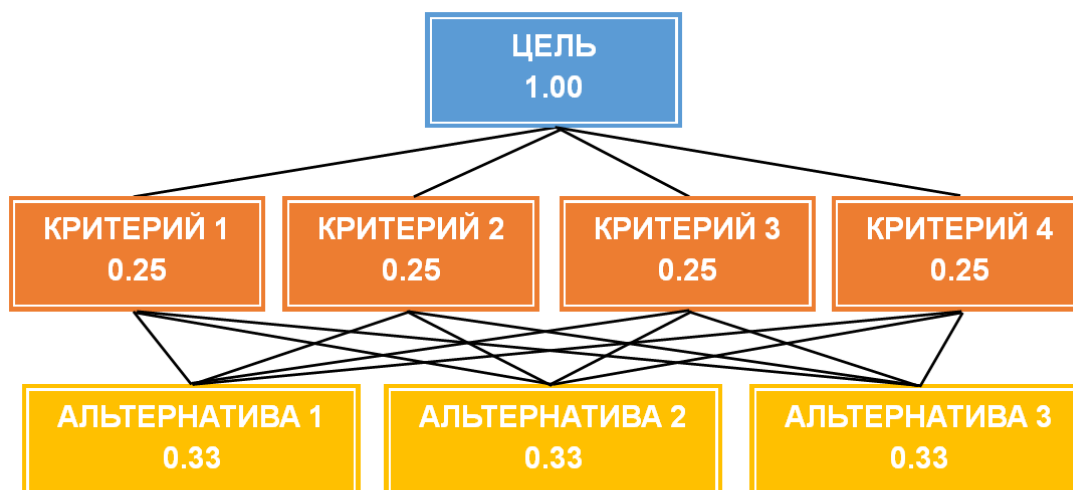


Рис.29. Схема метода анализа иерархий (Analytic hierarchy process - АНП). Сост. авт.

Исходя из вышесказанного, стоит ещё раз заострить внимание, что в данном исследовании был применён метод анализа иерархий с использованием комплекса нечёткой и булевой логик. Для исследуемой территории данный анализ применяется впервые. Сам метод представляет собой подход к решению комплексных задач, в котором последняя раскладывается на критерии и при необходимости подкритерии (субкритерии), которым впоследствии присваивается определённый вес (Рис.29).

Для получения искомых весов критериев необходимо составить попарную матрицу сравнения данных критериев. В основном для качества оценки, матрицы сравнения составляют эксперты в исследуемой области, и для большей объективности, число экспертов зачастую больше пяти. В основе составления матрицы (1) стоит шкала относительной важности, разработанная Т. Саати (Табл.5). Каждой паре критериев присваиваются свои числовые значения, согласно лингвистическим определениям приведённым в шкале.

(1)

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

, где  $a_{12} = 1/a_{21}$ , и  $a_{nn} = 1$

Табл.5. Шкала сравнения по Т. Саати. Сост. авт. по [34].

Описание	Стандартные значения	Инверсивные значения
Одинаковая значимость	1	1
Умеренное превосходство	3	1/3
Сильное превосходство	5	1/5
Очень сильное превосходство	7	1/7
Абсолютное превосходство	9	1/9
Промежуточные значения	2, 4, 6, 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8

Важно отметить, что при усреднении данных, полученных от экспертов, чаще используется среднее геометрическое, а не привычное большинству среднее арифметическое. Это связано с тем, что использование среднего геометрического позволяет сохранить в действии следующую аксиому в методе анализа иерархий:

(2)

$$\text{если } A = nB, \text{ то } B = 1/nA$$

Другими словами, в данном случае будут продолжать соблюдаться правила согласованной матрицы парного сравнения, что важно для исследований с применением метода АНР. Хотя вокруг данного вопроса ведутся дискуссии, в том числе есть исследовательские работы, в которых преимущество отдаётся среднему арифметическому [190].

На следующем этапе производится расчёт *искомых коэффициентов приоритета*, а также тест на согласованность полученной матрицы. Для его получения вначале необходимо рассчитать индекс согласованности (CI – consistency index):

(3)

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

, где  $\lambda_{max}$  – наибольшее собственное значение матрицы (*eigenvalue*),  $n$  – размерность матрицы

Затем для определения самой согласованности матрицы, рассчитывается отношение согласованности (CR – consistency ratio):

(4)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

, где  $RI$  – основанное на экспериментальных данных, среднее значение индекса однородности случайным образом составленной матрицы парных сравнений. Данное значение является табличным (Табл.6).

Табл.6. Среднее значение индекса однородности случайным образом составленной матрицы парных сравнений, в зависимости от размерности матрицы

<b>n</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>RI</b>	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54

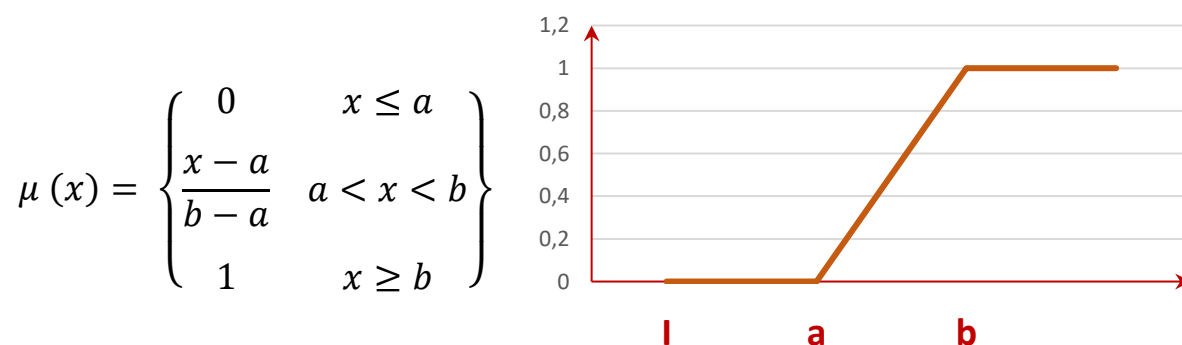
В исследованиях допустимо значение отношения согласованности меньше 0.1. В противном случае считается, что экспертами нарушена логика сравнения, следовательно, следует пересмотреть значения составленных индивидуальных матриц.

Когда получены значения приоритетов критериев (веса критериев), следует определить унифицировать абсолютные показатели самих критериев. В данном исследовании для выполнения поставленной задачи применяются вышеупомянутые инструменты нечёткой логики. Зачастую, особенно в зарубежной литературе, данный процесс называется «нечёткой стандартизацией» [139]. В первую очередь он нужен для того, чтобы избавиться от несогласованности единиц измерения, при комплексном подходе к исследованию.

Согласно данной методике необходимо рассмотреть принадлежность значения к множеству, и с помощью инструментария нечёткой логики указать степень этой принадлежности, которая выражается в действительных числах от 0 (отсутствие принадлежности) до 1 (полная принадлежность).

Для расчёта степени принадлежности необходимо использовать одну из возможных функций используемых в теории нечётких множеств. Использование нескольких функций, обусловлено пространственной дифференциацией факторов и тем фактом, что зачастую показатели их влияния на искомые итоговые значения, изменяются нелинейно. В данном исследовании было задействовано 6 различных функций, для расчёта степени принадлежности:

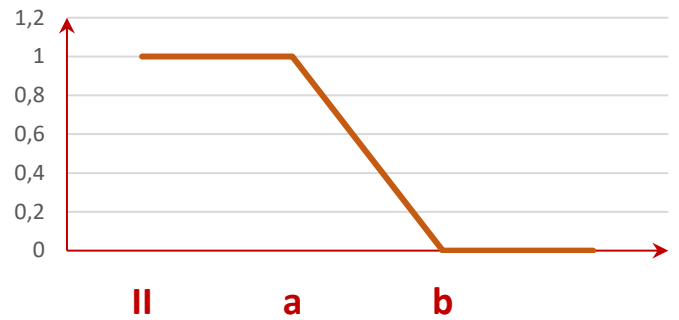
#### I. Линейная возрастающая функция 1го типа





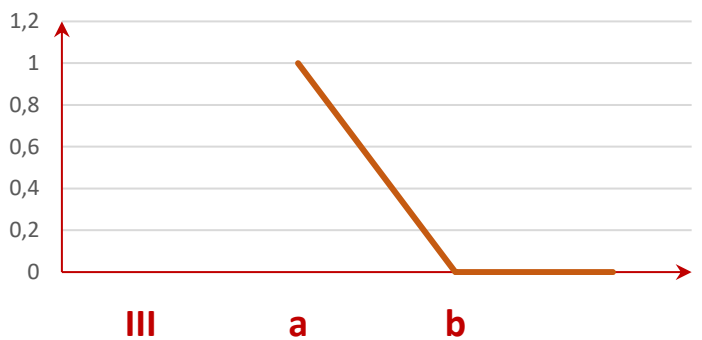
II. Линейная убывающая функция 1го типа

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{x-b}{a-b} & a < x < b \\ 0 & x \geq b \end{cases}$$



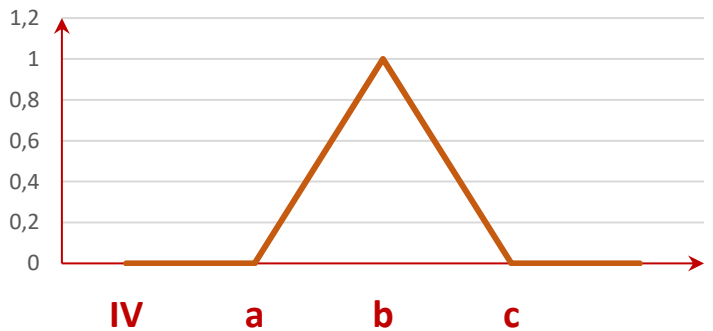
III. Линейная убывающая функция 2го типа

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-b}{a-b} & a < x < b \\ 0 & x \geq b \end{cases}$$



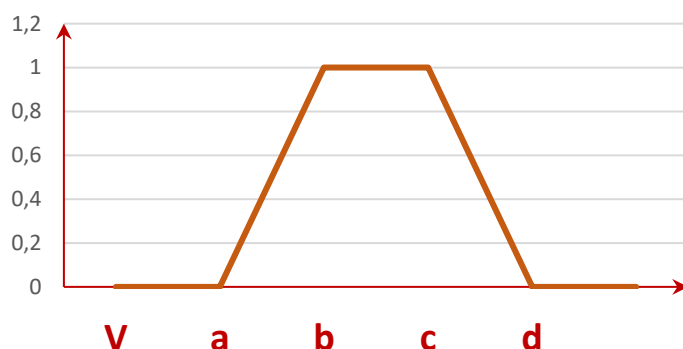
IV. Треугольная функция

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}$$



## V. Трапецевидная функция

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c < x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases}$$



## VI. Сигмоидальная возрастающая функция

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \cos^2 \alpha e^{\alpha} = (1 - (x - a)/(b - a)) & a < x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$$



Для расчёта принадлежности строго ограничивающих хозяйственную деятельность факторов применялась стандартная булева логика, следовательно, значения были классифицированы на 2 типа – 0 (исследуемый тип хозяйственной

деятельности запрещён на данной территории) и 1 (исследуемый тип хозяйственной деятельности разрешён на данной территории).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ 1 & x > a \end{cases}$$

Для последующего итогового подсчёта данных был использован метод взвешенной линейной комбинации (Weighted Linear Combination – WLC). Дополнительно производилось умножение на ограничительные факторы.

(5)

$$A_i^{WLC-score} = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

, где  $A_i^{WLC-score}$  - степень пригодности (в данном случае территории),  $w_i$  – рассчитанный вес критерия,  $x_i$  – рассчитанное значение параметра (в данном случае с применением нечёткой логики).

Рассчитанные значения потенциала находятся в промежутке от 0 (полное отсутствие потенциала) до 1 (наивысший потенциал). По полученным массивам данных был произведён статистический анализ, для оценки и выявления территорий/районов, обладающих наиболее высоким потенциалом.

Важно отметить, что в большом количестве исследовательских работ на схожую тематику, оценивается потенциал либо солнечной, либо ветровой энергетики. Так как в данном исследовании рассматривается именно тематика водородной энергетики, имеет смысл оценивать и ветровую, и солнечную в комплексе.

### ***3.2.2 Пространственная модель для оценки потенциала некоторых регионов ДФО к размещению ВЭС с возможностью последующего производства «зелёного» водорода***

Ветровая энергетика считается одним из основных видов альтернативной энергетики, который потенциально может использоваться для производства «зелёного» водорода. Эта тема особенно актуальна для территории РФ, что подтверждается и тем, что во многих проектах, направленных на производство «зелёного» водорода, в своё время обобщённых министерством промышленной торговли РФ в единый атлас, именно ветровая энергетика рассматривается, как один из источников энергии для электролиза воды и производства водорода. В качестве примера можно назвать проект Росатома «Зелёный водород» (Сахалин).

Оценка потенциала территорий ДФО относительно производства «зелёного» водорода именно с применением ВЭС особенно важна. Учитывая постепенно формирующийся азиатско-тихоокеанский вектор развития российского экспорта, можно предположить, что данные территории имеют все шансы стать своеобразным «авангардом» российской торговли энергоресурсами [15]. Не стоит забывать, про необходимость освоения и развития территорий Дальнего Востока, в котором развитие ветроэнергетики, в том числе и в совокупности с производством «зелёного» водорода, может сыграть свою роль. Подводя итог вышесказанному, можно выдвинуть гипотезу о том, что именно развитие ветровой энергетики Дальнего Востока и станет основой экспортного благополучия РФ на водородном поприще.

Для расчёта потенциала и составления ранее описанных парных матриц, необходимо определиться с критериями, оказывающими влияние на итоговую оценку. В качестве основных групп критериев, были выбраны физико-географическая (в ряде исследований она именуется климатической) и экономико-географическая.

Физико-географическая группа критериев включает в себя: плотность ветровой энергии (одна из производных скорости ветра) и уклон поверхности. Расстояние до крупных населённых пунктов, линий электропередач, железных и автомобильных дорог, аэропортов и посадочных полос, особо охраняемых

природных территорий, крупных водоёмов вошли в экономико-географическую группу. Абсолютные значения критериев были унифицированы согласно индивидуально подобранным функциям, подчиняющихся законам нечётких множеств.

Несмотря на то, что задачей данного исследования не является выявление точных показателей потенциальной выработки электроэнергии, которая может быть задействована при производстве водорода путём электролиза, для расчёта некоторых показателей и подбора необходимых функций, желательно использовать данные существующих ветрогенераторных установок. В качестве установки, на основе эксплуатационных данных которой, будет производиться последующее моделирование, была выбрана установка компании Vestas модель V150-4.2MW (Рис.30).



Рис.30. Ветрогенератор Vestas V150-4.2 MW [110].

Данная модель была выбрана в качестве образца, так как она обладает высокой мощностью и её температурный режим позволяет производить электроэнергию при достаточно низких температурах (до  $-30^{\circ}\text{C}$ ), что характерно для внушительной

части исследуемой территории, особенно в зимний период. Некоторые её характеристики, важные для данного исследования приведены ниже (Табл.7).

Табл.7. Технические характеристики ветрогенератора Vestas V150-4.2 Mw

Техническая характеристика	Значение показателя	Единицы измерения
Номинальная мощность	4000/4200	кВт
Начальная требуемая скорость ветра	3	м/с
Максимальная рабочая скорость ветра	24.5 (рекомендуемая максимальная 22.5)	м/с
Уровень звука	104.9	дБ
Возможная высота башни	105;123;145;155;166	м
Стандартный температурный диапазон	-20 / +30	°С
Максимально возможный температурный диапазон	-30 / +45	°С

Рассмотрим более подробно, каким образом происходила оценка критериев, слагающих потенциал территории к выработке электроэнергии на ВЭС в том числе для последующего производства «зелёного» водорода.

### ***Плотность ветровой энергии (K1)***

В подавляющем большинстве исследований на схожую тематику основным показателем, определяющим потенциал территории к развитию ветроэнергетики, является скорость ветра. В данном исследовании было принято решение сделать акцент на плотность ветровой энергии, методика расчёта которой упоминалась ранее. Главным преимуществом данного показателя является его комплексность, а именно то, что он учитывает в том числе и высоту над уровнем моря, за счёт внедрения в формулу плотности воздуха на различной высоте, а также скорость ветра.

По сути, данный показатель позволяет использовать в исследовании один комплексный критерий вместо двух (скорости ветра и высоты), что увеличивает шанс успешного согласования итоговой матрицы, а также положительно влияет на

точность оценки ветроэнергетических показателей, так как именно плотность ветровой энергии, а не скорость ветра точнее отражает искомый потенциал.

Информация о среднегодовой скорости ветра (для высоты 100 метров над поверхностью) на исследуемой территории получены с помощью портала Global Wind Atlas [101]. Данные SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) с разрешением 30 метров на пиксель, использованы для анализа морфометрических характеристик рельефа. Полученные данные ограничены 60<sup>0</sup> с.ш., поэтому в исследовании при расчёте итоговых массивов потенциала (см. Приложения Рис. ПЗ.1) не учитывались территории севернее указанной параллели (сравнительно небольшой участок севера Хабаровского края).

В качестве функции для его унификации посредством нечёткой логики было принято решение использовать сигмоидальную (монотонно возрастающую) функцию (VI). Стоит отметить, что в большом количестве работ, при рассмотрении такого критерия как скорость ветра и производных от неё показателей, используется стандартная линейная возрастающая функция (I), примером может служить ранее упомянутая работа Х. Солимана [38], однако на практике соотношение скорости ветра/плотности энергии ветра и выработки мощности соответствует скорее сигмоидальной функции (Рис.31).

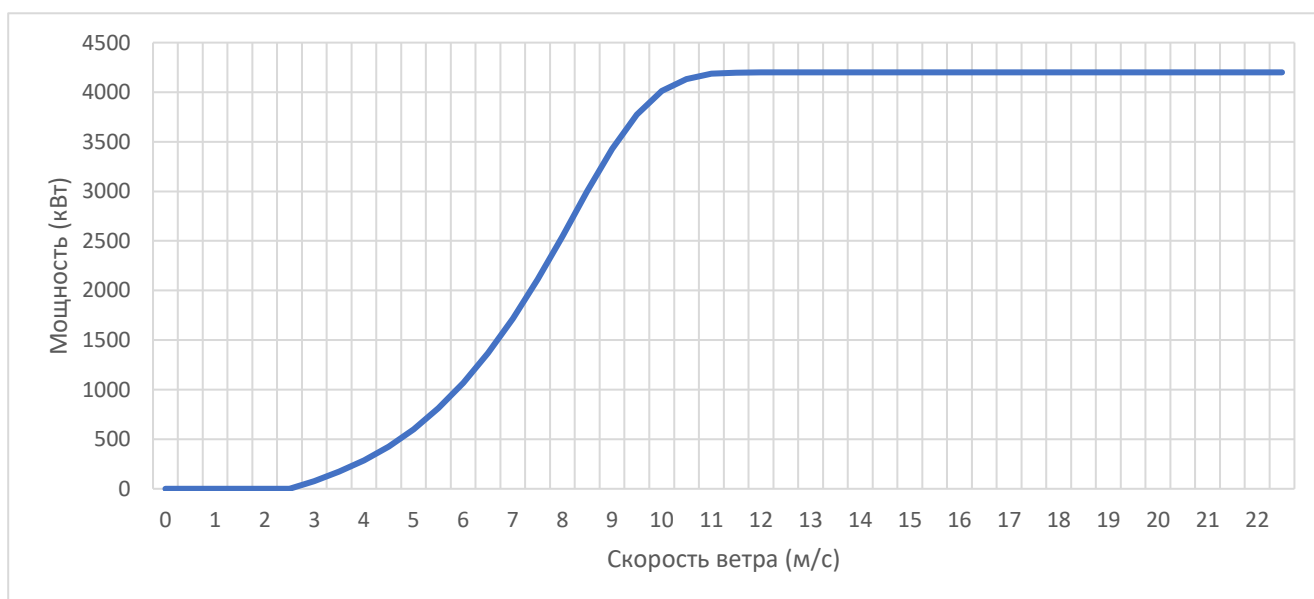


Рис.31. Кривая мощности ветрогенератора Vestas V150-4.2 MW. Сост. авт. по [81].

Так как фактически данная методика более приближена к реальности, чем применение линейной возрастающей функции, было принято решение использовать именно сигмоидальную возрастающую (VI). Для унификации исследуемого критерия необходимо присвоить значения точкам «а» и «b» по оси абсцисс выбранной функции. Если полагаться на кривую мощности ветрогенератора V150-4.2 MW, то окажется что точке «а» соответствует значение 3 (м/с), а точке «b», после которой не происходит увеличение мощности – 12 (м/с).

Однако, так как в данном исследовании было принято решение отталкиваться именно от плотности энергии ветра, то необходимо произвести пересчёт значений. При плотности воздуха 1.257 кг/м<sup>3</sup> (соответствует плотности воздуха на высоте 100 метров над поверхностью при температуре 0<sup>0</sup>C) и скорости ветра 3 м/с, плотность энергии ветрового потока составляет 17 Вт/м<sup>2</sup> (присвоено точке «а»), а при скорости в 12 м/с – 1086 Вт/м<sup>2</sup> (присвоено точке «b»).

Важно отметить, что на данный момент относительно приемлемая цена производства килограмма водорода при электролизе с использованием электроэнергии полученной на ВЭС, образуется если ветер соответствует, как минимум 2му классу мощности (WPD более 100 Вт/м<sup>2</sup>) [136].

По этой причине, помимо анализа данных, полученных согласно вышеупомянутым параметрам (см. Приложения Рис. П3.2), впоследствии из полученного массива пространственных данных сделан дополнительный массив, в котором отфильтрованы территории с показателями, которые не соответствуют упомянутым условиям класса мощности. Соответствующий набор данных будет ориентирован именно на производство «зелёного» водорода.

### ***Уклон поверхности (K2)***

Уклон поверхности играет важную роль при географическом анализе ветроэнергетического потенциала территории. Мнения современных исследователей на то, какие значения уклона критичны для данной сферы



альтернативной энергетики разнятся. С одной стороны, наименьший уклон значительно снижает стоимость постройки ветропарка, а вместе с ним снижается и стоимость его последующего обслуживания. С другой стороны, существует ряд исследований, которые с позиции физики подтверждают положительное влияние высоких значений уклона на энергоёмкость ветра. Ярким примером может служить исследование Х. Чао, в рамках которого было произведено моделирование, продемонстрировавшее тот факт, что уклоны около  $50^{\circ}$  оказывают наиболее положительное влияние на суммарную выработку [132].

Однако в данном исследовании было принято решения придерживаться позиции географических научных работ, так как они являются более комплексными. Сама верхняя планка уклона так же различается от исследования к исследованию, и чаще находится в дельте  $10^{\circ}$ - $25^{\circ}$  [78]. В данной работе в качестве ограничения было принято значение в  $20^{\circ}$  (точка «b»), а функцией нечёткой логики для уклона стала линейная убывающая (II). Показатель в  $2^{\circ}$  был принят за точку «a».

Значения уклона поверхности были рассчитаны на основании вышеупомянутых данных рельефа SRTM (см. Приложения Рис. П3.3; Рис.П.3.4).

#### ***Расстояние до существующих автомобильных (K5) и железных (K7) дорог***

Дистанция до транспортных путей является одним из наиболее важных экономико-географических факторов при анализе размещения производства, так как именно этот фактор во многом обуславливает успешную логистику самого производства.

Для унификации указанных показателей применялась треугольная функция (IV). В качестве первого ограничительного рубежа было выбрано значение 500 метров. Наиболее дальним приемлемым расстоянием в случае с автомобильной дорогой было выбрано 30000 метров. Так как строительство одного километра железнодорожного полотна немного дороже (около 20%) чем в случае с

автомобильной дорогой на две полосы движения, то приемлемое расстояние в случае с ж/д установлено на 25000.

Важно отметить, что применение треугольной функции (IV), обусловлено тем, что в случае с дорогами, а также населёнными пунктами, стоит учитывать шумовое загрязнение. По рекомендации Всемирной ассоциации здравоохранения, максимально допустимый уровень шума для здорового сна составляет 30 дБ. По этой причине было рассчитано расстояние от ветрогенератора, при котором шум понижается до искомого значения. Искомая буферная зона рассчитывалась следующим образом:

$$L_p = L_w - 10 \lg(2\pi R^2) - \alpha R$$

$$R^2 = H^2 + X^2$$

, где  $L_p$  – искомое звуковое давление (дБ),  $L_w$  – звуковое давление турбины (дБ),  $R$  – расстояние до точки измерения (м),  $H$  – высота башни (м),  $X$  – расстояние до основания башни (м),  $\alpha$  – поглощение звука в атмосфере (дБ/м).

Результаты расчётов (Рис.32) представлены ниже (поглощения звука в атмосфере – atmospheric absorption принимается за 0.005 дБ/м, согласно [87]).

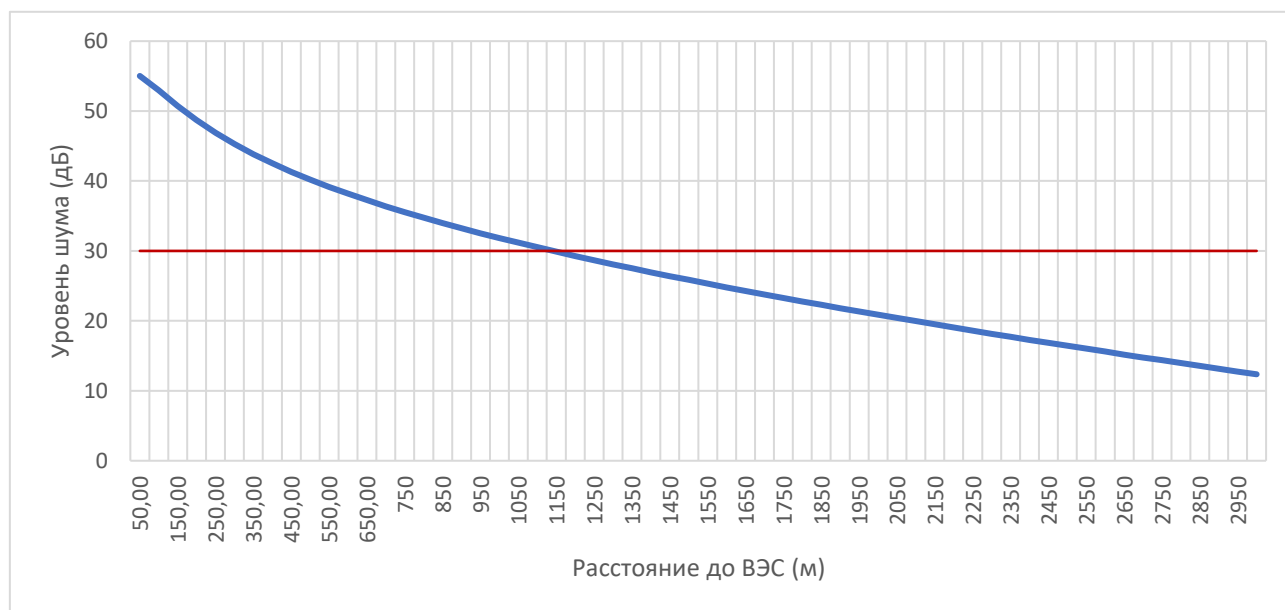


Рис.32. Кривая изменения уровня шума при работе ветрогенератора Vestas V150-4.2 MW. Красной линией обозначен допустимый уровень шума по рекомендации ВОЗ. Сост. авт.

Из представленной диаграммы, следует, что допустимый уровень шума (30 дБ) достигается при расстоянии около 1200 метров от ВЭС. Таким образом, для автомобильных и железных дорог, функция нечёткой логики была сформирована следующим образом: точка «а» - 500, точка «b» - 1200, точка «с», как было упомянуто ранее разнится – 30000 для а/д, и 25000 для ж/д (Рис.33).

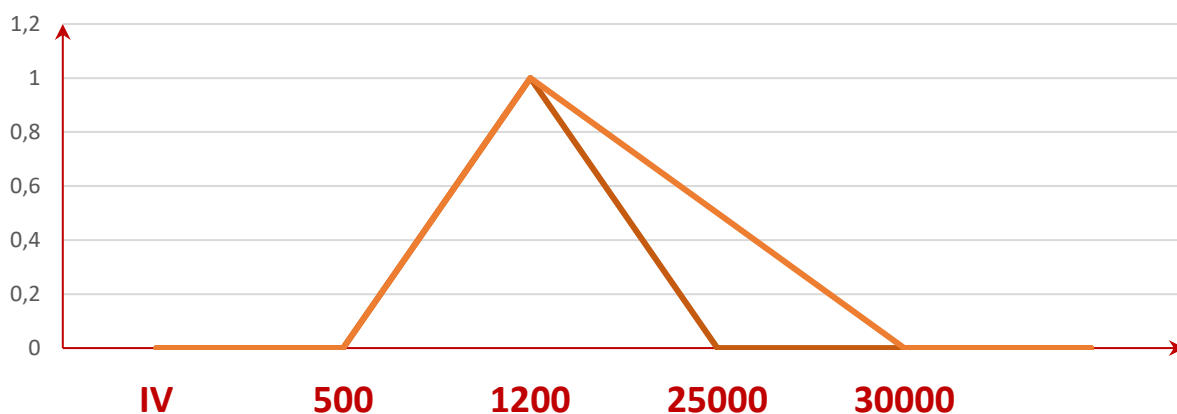


Рис.33. Функция для унификации показателей расстояния до автомобильных (оранжевая линия) и железных (красная линия) дорог. Сост. авт.

#### ***Расстояние до относительно крупных населённых пунктов (K4)***

Другим важным критерием для размещения ветроэнергетической станции является расстояние до населённых пунктов. В случае с ВЭС, критично важно учитывать уровень шума, упомянутый в предыдущем пункте. С другой стороны, близость предприятий энергетической направленности, к крупным населённым пунктам, благотворно влияет на стоимость поставок, как электроэнергии, так и произведённого с её использованием водорода. При этом в случае с последним этот фактор играет ещё большую роль, учитывая существующую сейчас дороговизну транспортировки водорода.

В рамках данного исследования было принято решение использовать в качестве относительно крупных населённых пунктов те, которые согласно Градостроительному кодексу РФ, относятся как минимум к категории «крупные сельские поселения» (более 5000 человек населения). Дополнительно была произведена их фильтрация по площади (согласно данным NextGIS) в результате которой населённые пункты с площадью менее 15 км<sup>2</sup> покинули набор данных. В

результате массив составил 60 населённых пунктов, на территории 5 исследуемых регионов.

Как и в случае с транспортной сетью для населённых пунктов унификация производилась согласно треугольной функции (IV). Точке «а» присвоено значение 1200 (согласно рассчитанным ранее уровням шумового загрязнения), точке «b» - 3300 (на данном расстоянии уровень шума падает до 10 дБ). Максимальное расстояние установлено на 50000 метров (точка «с»).

### ***Расстояние до аэропортов и взлётно-посадочных полос (K3)***

Ещё одним параметром, оказывающим влияние на логистику, является близость взлётно-посадочных полос и аэропортов. Одновременно с этим работа ветряных электростанций негативно влияет на авиасообщение, влияя на турбулентность, а также могут вызывать проблемы в связи и навигации [174]. Таким образом необходимо установить ограничительную зону.

В большинстве современных исследований, наблюдается серьёзная дифференциация относительно того, какого размера буферная зона от аэропортов является безопасной для авиасообщения. В основном наблюдаются значения от 2500 [60,137] до 5000 [46,78,156,174] метров. Однако на практике крупные ветропарки размещаются на расстоянии больше 10 километров от взлётно-посадочных полос. По этой причине был установлен и соответствующий буфер в 10000 метров.

В качестве функции для унификации была выбрана линейная убывающая 2-го типа (III). Соответственно точка «а» было присвоено значение 10000, а точке «b» - значение 30000.

### ***Расстояние до линий электропередач (K6)***

Расстояние до ЛЭП является ещё одним экономико-географическим параметром, регулярно учитываемым при анализе размещения энергетических комплексов. Во некоторых работах, например у Ю. Нуурулаи [139] для

унификации данного параметра, используется именно линейная убывающая функция 2-го типа. Однако более интересный подход предложен М. Зоги [193], который при оценке потенциала солнечной энергетики провинции Исфahan использовал в аналогичной ситуации сигмоидальную симметричную функцию. Применение данного метода может быть обосновано тем фактом, что стоимость километра постройки ЛЭП на порядок ниже, чем, к примеру автомобильной или железной дороги. Следовательно, на определённой дистанции можно пренебречь изменениями в расстоянии до линий электропередач.

В данном исследовании была применена схожая методика, выраженная в применении трапециевидной функции ( $V$ ) (схожая с вышеупомянутой сигмоидальной симметричной) для унификации расстояния до ЛЭП. Точкам функции были присвоены следующие значения: «а» - 500, «b» - 1000, «с» - 15000, «d» - 60000 (Рис.34).

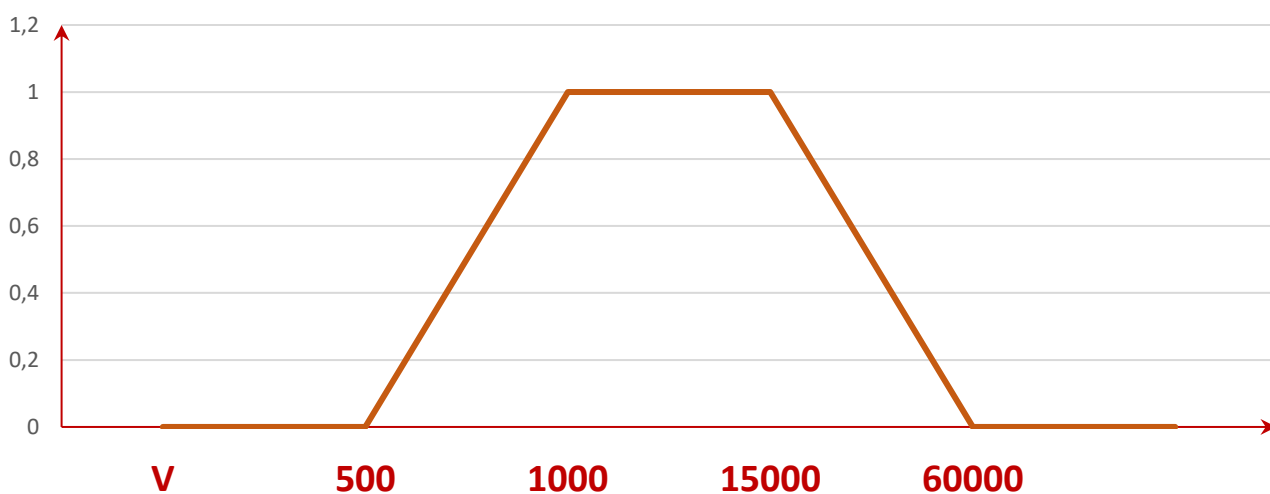


Рис.34. Функция для унификации показателей расстояния до линий электропередач. Сост. авт.

### ***Расстояние до особо охраняемых природных территорий (K8)***

Дистанция до ООПТ - фактор скорее экологический, чем экономико-географический, однако в случае с уникальной дальневосточной природой, он приобретает особенную важность. Безусловно практически все факторы, указанные выше, такие как расстояние до транспортной сети или ЛЭП, частично носят и экологический характер, так как строительство и прокладка

дополнительных магистралей может привести, к примеру к вырубке части лесного массива. Однако в случае с ООПТ экологическая составляющая является ключевой.

Для унификации данного параметра, была применена линейная возрастающая функция. Точке «а» было присвоено значение 1000, соответствующее минимальному значению буферной зоны согласно действующему документу, регламентирующему порядок установления и изменения охранных зон вокруг ООПТ. Точке «b» присвоено значение 25000, что соответствует значениям максимального буфера, указанного в драфте упомянутого выше положения.

### ***Расстояние до крупных водных объектов (K9)***

Данный параметр введён в первую очередь в угоду расчётам потенциала территории к установке ВЭС, с прицелом именно на производство «зелёного» водорода, так как именно вода и является сырьём для процесса электролиза. При этом на данный период технологического развития речь в первую очередь идёт о пресной воде несмотря на то, что уже проведены успешные эксперименты с использованием морской воды.

Стоит отметить, что данный критерий безусловно должен вызывать дискуссию о его экологических аспектах. Однако в рамках оценки потенциала территории к производству «зелёного» водорода он учитывается во многих исследованиях, поэтому его использование оправдано.

Безусловно, при такого рода оценке необходимо помнить о ширине водоохранной зоны. В данном исследовании за её значение принят показатель в 200 метров, соответствующий установленному статьёй 65 «Водного кодекса РФ» [5].

Аналогично расстоянию до ЛЭП, для унификации применена трапециевидная функция (V), однако присвоенные точкам значения различаются: «а» - 200, «b» - 1000, «с» - 20000, «d» - 35000.

### *Территории со строгим ограничением*

Помимо факторов, влияющих на потенциал территории к ветроэнергетике, подчиняющиеся правилам нечёткой логики, были внедрены и факторы, строго ограничивающие хозяйственную деятельность на территории, следовательно, их пространственная интерпретация находится в парадигме булевой логики. В качестве таких ограничений, в случае с ВЭС выделены следующие:

- населённые пункты и буферная зона в 1200 метров
- аэропорты и взлётно-посадочные полосы с буфером в 10000 метров
- ООПТ с буфером в 1000 метров
- озёра, болота, реки, ручьи и прочие гидрологические объекты с буфером 200 метров
- буферная зона (20000 м) от крупнейших рек региона – Амур, Уссури, Зея, Бурея. Данное ограничение носит крайне важный характер, в связи с потенциальными стихийными бедствиями. Показатель установлен согласно данным, указанным в учебном пособии А. А. Соколова [37]. Стоит отметить, что пожароопасные территории также нередко рассматриваются в качестве ограничений, однако в данном случае было принято решение не учитывать последние в связи с непредсказуемостью местоположения потенциального очага пожара.

- уклон поверхности более  $20^{\circ}$
- некоторые объекты с различными характеристиками землепользования, а именно: СНТ, Промышленные предприятия, военные объекты, кладбища, отдельно стоящие жилые комплексы, с/х земли, гаражи, тепличные комплексы, карьеры.

Отдельно учитывались данные по температуре воздуха. Оценка температурного режима более значима при анализе потенциала солнечной энергетики, однако учитывая наличие температурного диапазона работы

выбранной модели ветрогенератора, необходимо дополнительно учитывать соответствующие значения и в случае ВЭС.

Зачастую в подобном случае используется среднегодовая температура, однако в данном исследовании было принято решение учитывать среднемесячные значения, для повышения итоговой точности результатов, так как диапазон рабочих температур Vestas V150 велик (как и у многих подобных генераторов), следовательно, если учитывать среднегодовые показатели, каких-либо изменений в итоговом массиве не произойдёт. Использование среднемесячных показателей, позволяет вычлнить территории с неподходяще низкой температурой в определённые месяцы и внести соответствующие поправки.

Для унификации данных было принято решение использовать трапециевидную функцию (Рис.35), так как, с одной стороны, существуют строгие ограничения температурного режима (от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ ), так и значения, при которых происходит переоценка мощности (менее  $-20^{\circ}\text{C}$  и более  $30^{\circ}\text{C}$ ).

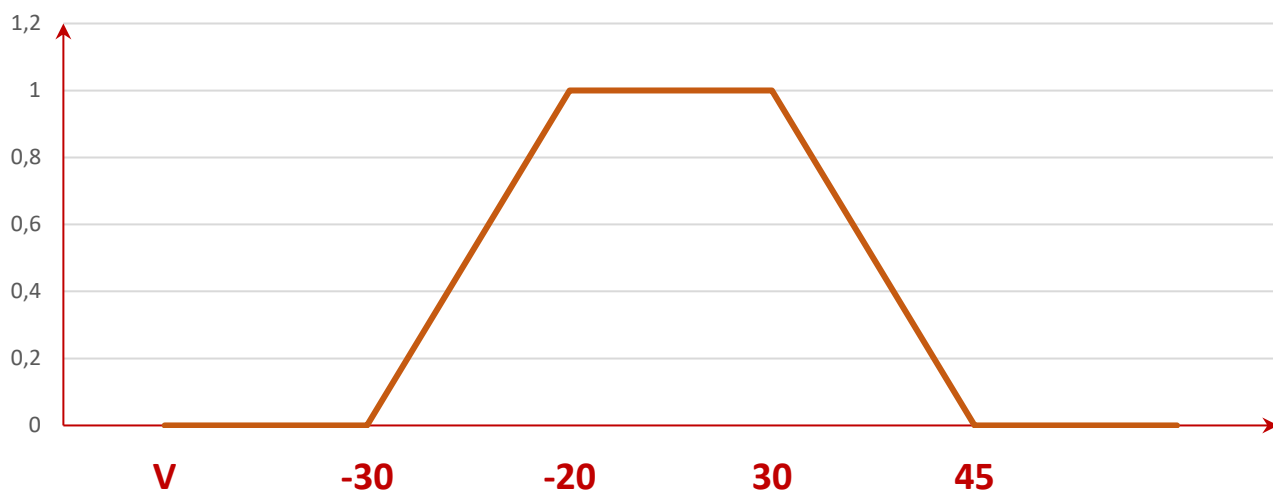


Рис.35. Функция для унификации показателей среднемесячной температуры воздуха. Сост. авт.

Для составления массивов по температуре воздуха, были проанализированы данные (предоставленные Гидрометцентром России [7]) 100 метеорологических станций, расположенных на территории исследования (Рис.36). По итогу была произведена интерполяция (метод «ближайший сосед») и составлены массивы





### Расчёт итогового массива

При составлении итоговой попарной матрицы критериев, были учтены мнения экспертов, представленные в следующих работах [54,59,147,156]. Дополнительная матрица была составлена автором данного исследования для внесения большей доли региональных особенностей. Несмотря на чрезвычайно большую выборку экспертов, матрица прошла тест на согласованность: показатель CR, составил 0.099 (при допуске в 0.1). Итоговая матрица представлена ниже (Рис.37).

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	Вес	%
K1	1	4.897	9	6.406	6.587	3.663	6.587	9	7	0.393	39.3
K2	0.204	1	3	1.518	1.923	0.562	1.924	1	1	0.083	8.3
K3	0.111	0.333	1	0.167	0.167	0.25	0.167	1	0.143	0.022	2.2
K4	0.156	0.659	6	1	1.037	0.398	1.037	6	1	0.082	8.2
K5	0.152	0.52	6	0.965	1	0.281	1	5	0.5	0.071	7.1
K6	0.273	1.78	4	2.51	3.559	1	3.559	7	1	0.149	14.9
K7	0.152	0.52	6	0.965	1	0.281	1	5	0.5	0.071	7.1
K8	0.111	1	2	0.167	0.2	0.143	0.2	1	0.333	0.029	2.9
K9	0.143	1	7	1	2	1	2	3	1	0.099	9.9

, при CI = 0.14, CR = 0.099

Рис.37. Попарная матрица и веса критериев для анализа потенциала территории к развитию ветроэнергетики (через призму водородной энергетики). Сост. авт.

В результате анализа матрицы, критериям были присвоены следующие веса (Рис.38):

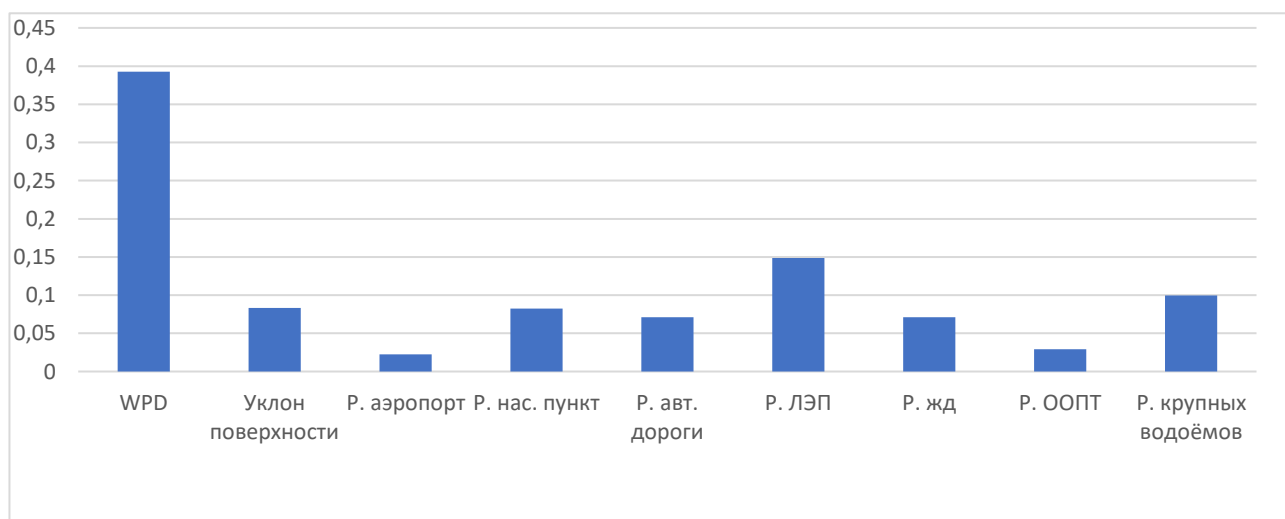


Рис.38. Веса критериев для оценки потенциала территории к размещению ВЭС. Сост. авт.

Последним этапом расчётов стало использование метода взвешенной линейной комбинации (5). В результате, был получен массив данных по искомому

потенциалу исследуемой территории к размещению ветроэнергетических станций с прицелом на производства «зелёного» водорода (Рис.39).

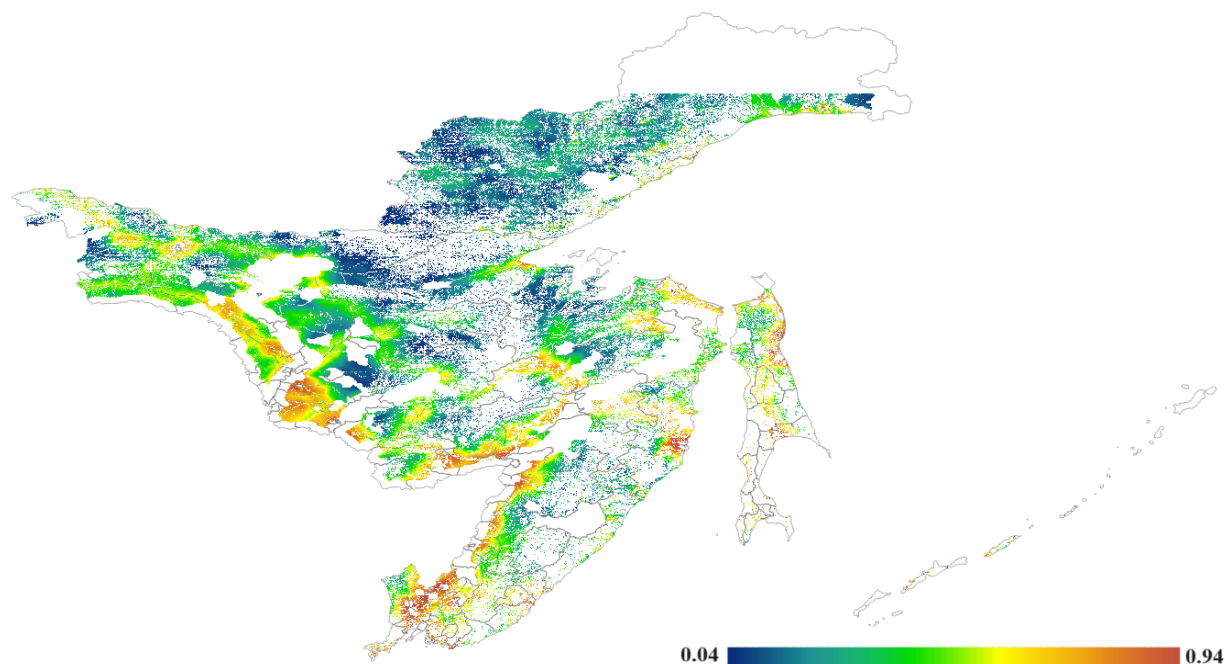


Рис.39. Потенциал территории к размещению ВЭС с прицелом на производство «зелёного» водорода (в большем масштабе см. Приложения Рис. ПЗ.6). Сост. авт.

С первого взгляда выделяются территории, расположенные вдоль границы с КНР, в первую очередь за счёт существующей экономико-географической системы. Также можно выделить участки с высоким потенциалом на острове Сахалин, в районе Южно-Сахалинска и Охи. Ещё один крупный территориальный массив с высоким потенциалом сформировался на юго-востоке Хабаровского края в районе города Советская Гавань. Отдельные небольшие участки с высоким потенциалом, расположены на Курильских островах (в особенности о. Итуруп и о. Симушир), на юге Приморского края, на материковом побережье Сахалинского залива.

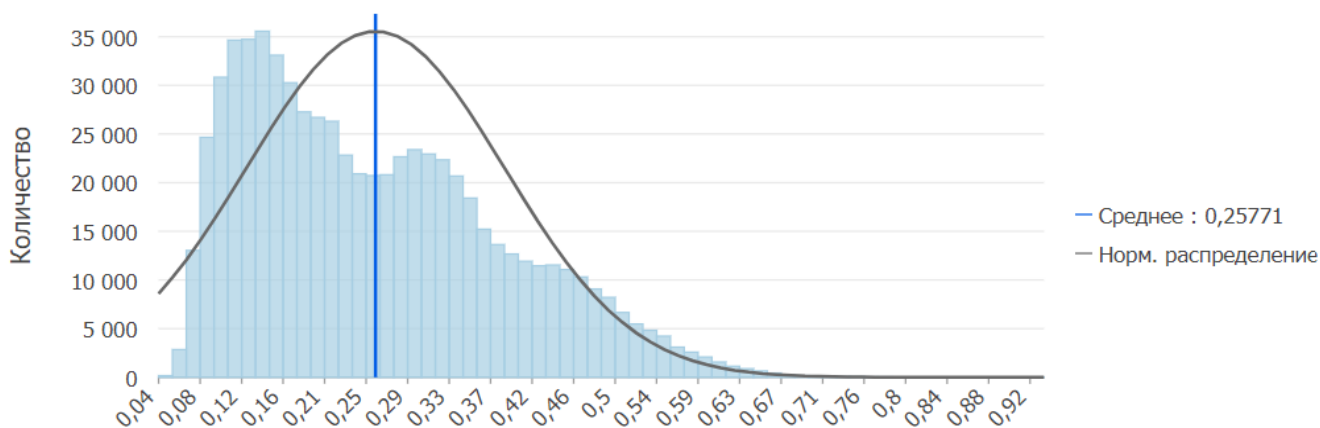


Рис.40. Распределение потенциала ветроэнергетики в исследуемом регионе. По оси ординат отмечено количество пикселей итогового растра. Сост. авт.

Для более точного вычленения районов с наиболее высоким потенциалом был произведён статистический анализ полученного массива данных (см. Приложения: Табл. ПЗ.1). Распределение потенциала приведено на (Рис.40). Для каждой более мелкой единицы деления субъектов федерации (районы, муниципальные округа – далее «МО», городские округа – далее «ГО», закрытые административно-территориальные образования – далее «ЗАТО») были рассчитаны следующие стандартные статистические показатели относительно полученного потенциала: минимальное и максимальное значения, среднее значение, стандартное отклонение, размах, сумма, медиана, процентиль (90 и 80).

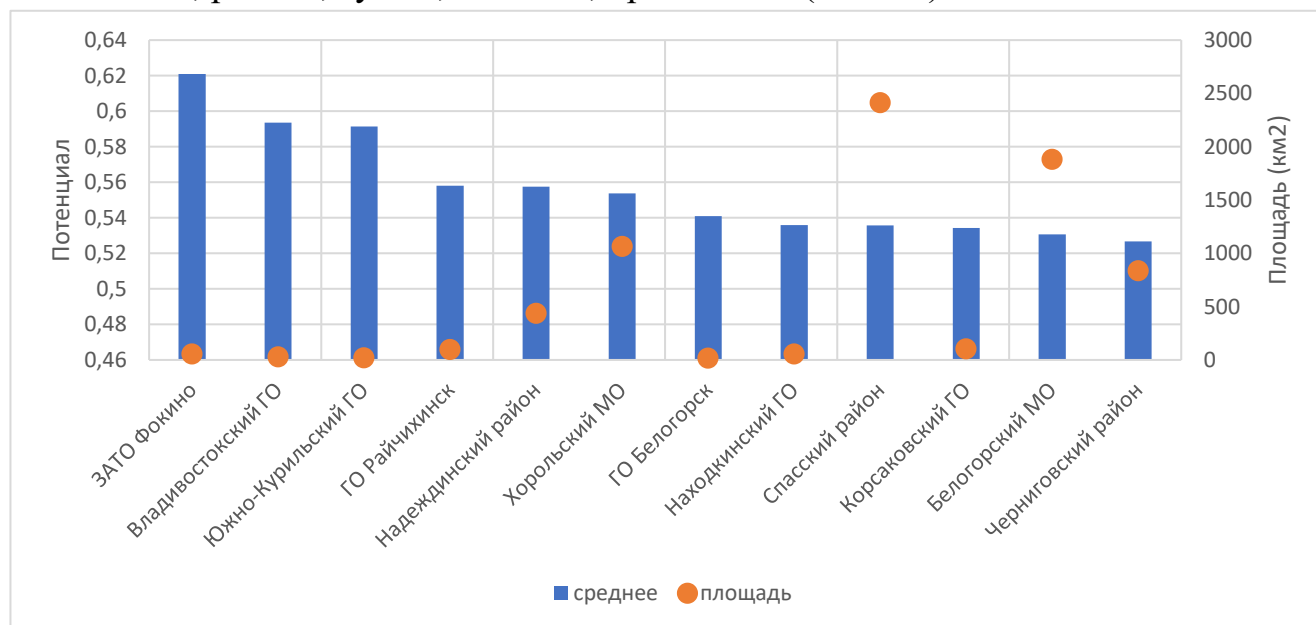


Рис.41. Лидеры по среднему потенциалу территории к размещению ВЭС с прицелом на производство «зелёного» водорода (показаны 12 адм. обр. лидеров). Сост. авт.

Важно отметить, что несмотря на особый статус ЗАТО, в их случае также были рассчитаны, как потенциал, так и статистические показатели для создания более полной картины. Лидеры по среднему значению исследуемого потенциала представлены ниже.

С позиции средних значений (Рис.41), особенно выделяются ЗАТО Фокино и Владивостокский ГО (оба Приморский край), Южно-Курильский ГО (Сахалинская область). Однако, важно отметить, что ЗАТО Фокино следует вынести за скобки, в связи с особым режимом, а также что все упомянутые территории обладают небольшой площадью, пригодной для установки соответствующего комплекса ВЭС, с учётом используемых критериев. К примеру, площадь пригодной территории в случае с Южно-Курильским ГО составляет около 17 км<sup>2</sup>. Безусловно, даже столь низкий показатель (относительно других) является достаточным для размещения крупной ВЭС. Крупнейший ветропарк на территории РФ – Кочубеевская ВЭС занимает на порядок меньшую территорию - около 75 Га (0.75 км<sup>2</sup>) [21]. Однако бóльшая площадь повышает вариативность выбора внутри района, поэтому её стоит учитывать, хотя бы в качестве дополнительного фактора. При данных условиях, стоит выделить Надеждинский район, Хорольский МО, Спасский район (все Приморский край) и Белогорский МО (Амурская область).

Более показательным критерием для оценки потенциала отдельного административного образования, чем среднее арифметическое, является процентиль. В рамках данного исследования были рассчитаны 90-й (Рис.42, Рис.44) и 80-й (Рис.43) процентиля.

Фактически, благодаря данному анализу удалось вычленить выше какого значения потенциала находятся 10 и 20% выборки по каждому адм. образованию, следовательно, ответить на вопрос в каком из них находятся наиболее эффективные территории. Учитывая, что в случае с оценкой потенциала альтернативной

энергетики необходимы именно подобные земельные участки, данный критерий является более показательным чем среднее арифметическое.

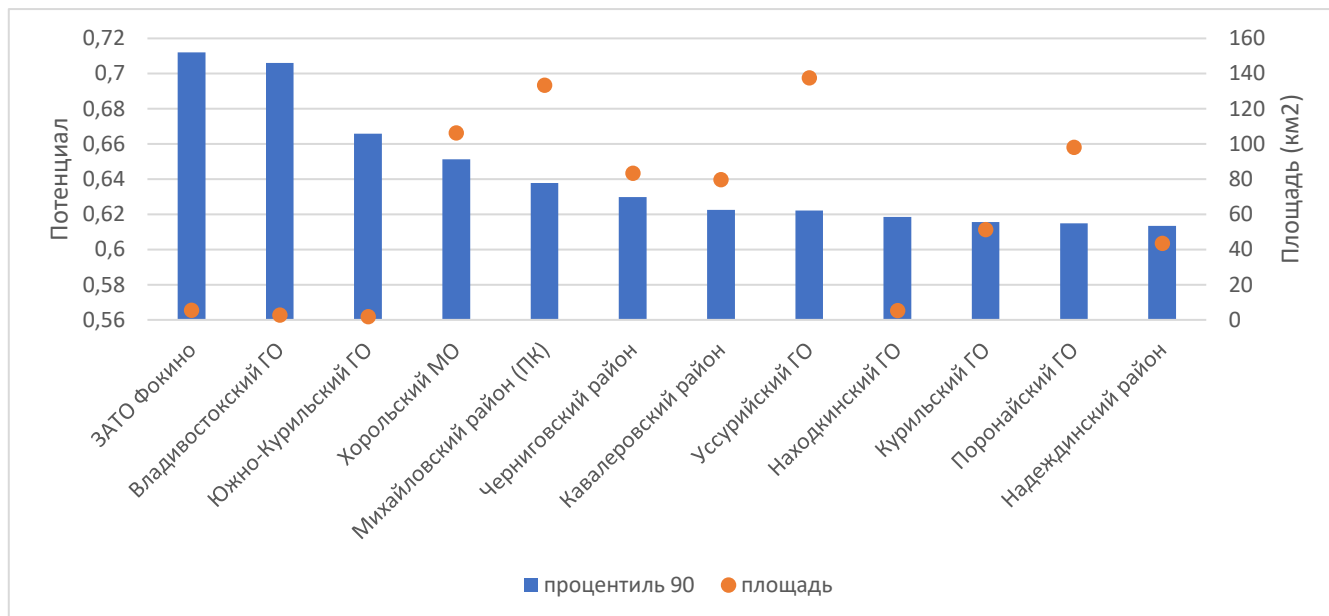


Рис.42. 90-й процентиль по различным адм. образованиям, согласно данным потенциала территории к размещению ВЭС с прицелом на производство «зелёного» водорода (показаны 12 адм. обр. лидеров). Указанная площадь соответствует площади 10% наиболее эффективных территорий. Сост. авт.

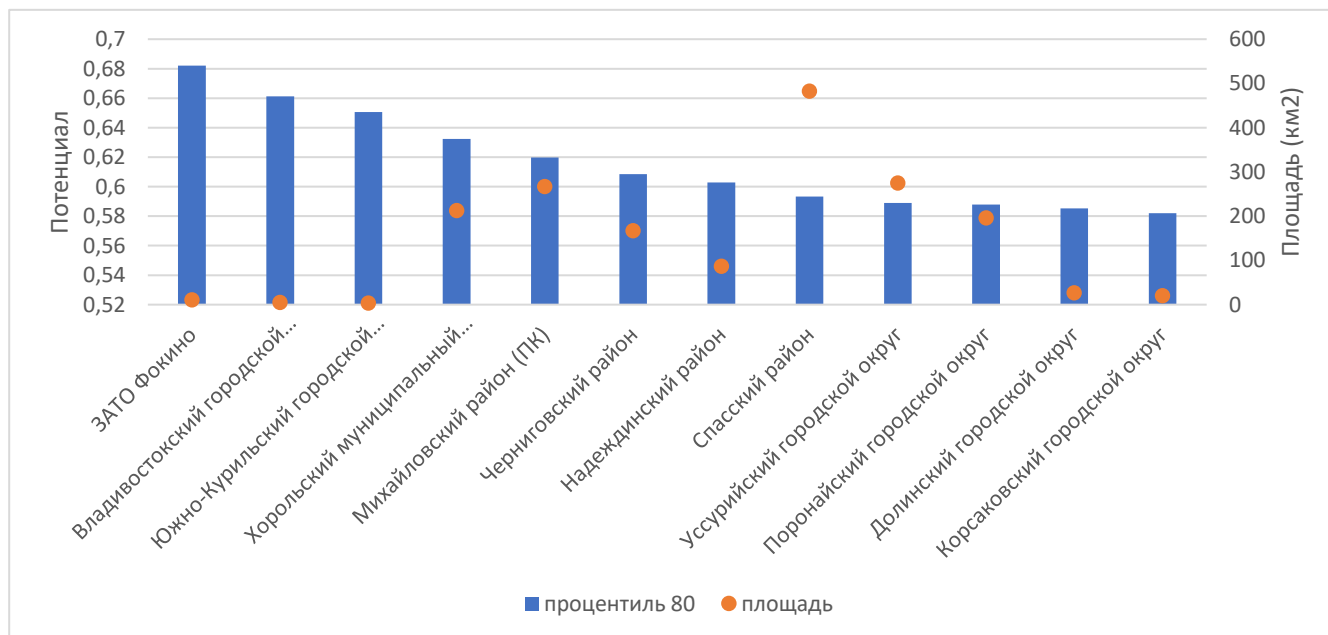


Рис.43. 80-й процентиль по различным адм. образованиям, согласно данным потенциала территории к размещению ВЭС с прицелом на производство «зелёного» водорода (показаны 12 адм. обр. лидеров). Указанная площадь соответствует площади 20% наиболее эффективных территорий. Сост. авт.

Согласно полученным данным наиболее эффективные территории расположены во Владивостокском и Южно-Курильском ГО, а также в ЗАТО Фокино. Отдельно выделяется Хорольский МО, как высокими показателями, так и большими значения площади, имеющей высокий потенциал (в случае с 90-м перцентилем - 106 км<sup>2</sup> с потенциалом более 0.65). В случае же с Южно-Курильским ГО стоит напротив отметить небольшую площадь, которую занимают наиболее эффективные с позиции размещения ВЭС территории: 10% - 1.7 км<sup>2</sup>, 20% - 3.4 км<sup>2</sup>, хотя показатель перцентиля также высок: 0.66 и 0.65 соответственно.

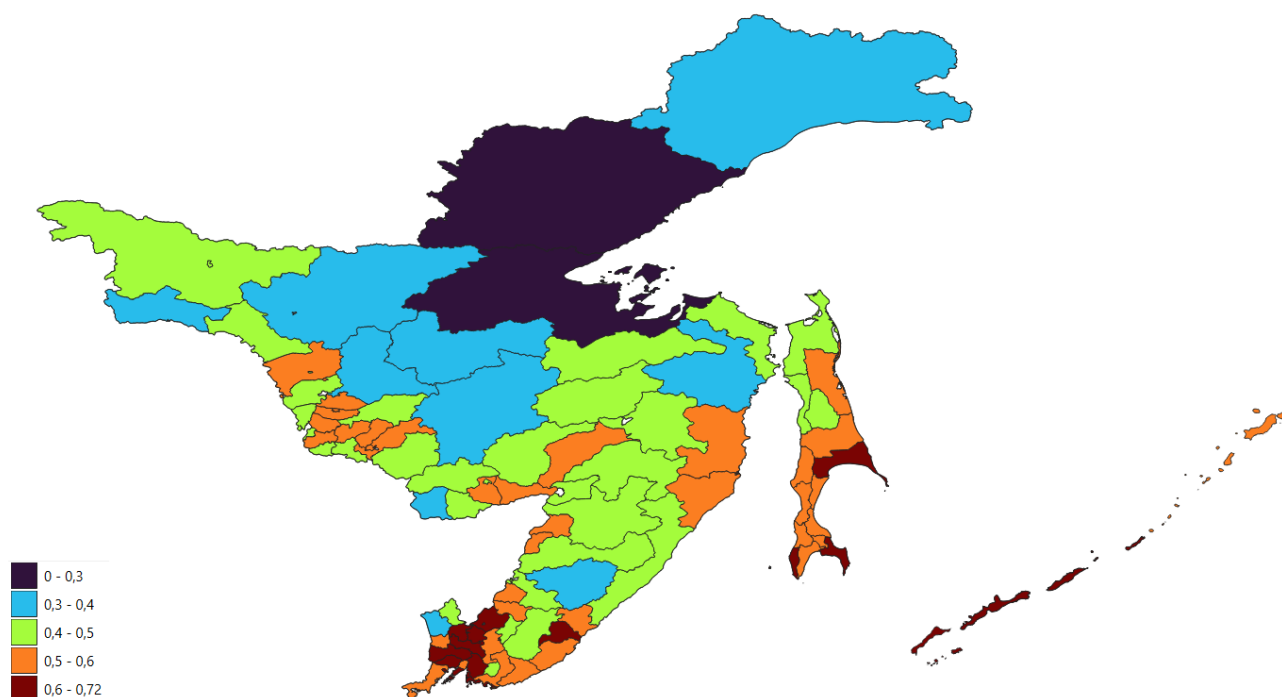


Рис.44. 90-й перцентиль по массиву данных потенциала территории к ветроэнергетике. Сост. авт.

Суммируя все полученные данные потенциала исследуемых территорий к размещению ВЭС (в том числе и с целью производства «зелёного» водорода) можно выделить три основные группы территорий, имеющих наиболее высокий искомый потенциал:

1. Территории на юге Приморского края, в особенности: Надеждинский, Михайловский, Черниговский, Спасский и Кавалеровский районы; Находкинский, Большой камень, Уссурийский, Владивостокский

городские округа; Хорольский муниципальный округ; ЗАТО Фокино (в связи с особым статусом территории, расположение в её пределах каких-либо предприятий затруднительно, однако так как она соответствовала установленным изначально требованиям, было принято оставить данное адм. образование в итоговом анализе).

2. Территории в южной и центральной областях о. Сахалин в особенности: Поронайский, Корсаковский, Невельский и Долинский городские округа
3. Территории Курильского архипелага, в особенности: Курильский и Южно-Курильский городские округа

Отдельно можно отметить некоторые территории юга Амурской области, в частности городские округа Райчихинск и Белогорск.

В целом можно утверждать, что в исследуемых субъектах ДФО РФ есть территории, обладающие высоким потенциалом к ветроэнергетике и в том числе в связке с её использованием для производства «зелёного» водорода. Более того, все выделенные выше административные образования, обладающие высокими значениями потенциала, имеют и большие преимущества с точки зрения последующего экспорта, ориентация на который является одним из приоритетов Правительства РФ, о чём неоднократно упоминалось ранее.

Практически все из вышеупомянутых территорий имеют приграничное или близкое к пограничному положение с Китаем, а учитывая дороговизну транспортировки упомянутого энергоресурса, близость к потребителю (а КНР, на данный момент, имеет все шансы быть одним из главных торговых партнёров России и к 2050 году) является одним из ключевых факторов размещения, особенно в случае с транспортировкой водорода по трубопроводу. Не стоит забывать и о внутренних потребностях страны – в данном случае на руку играет близость крупного города – Владивостока.



Но особенно важно учитывать приморское положение многих территорий с рассчитанным высоким потенциалом, так как именно морские перевозки на данный момент являются одним из наиболее выгодных методов транспортировки водорода на дальние расстояния. Это актуально, как для Сахалина и Курильской гряды, так и для юга Приморского края. Последний в целом практически не затронут в проектах по развитию водородной отрасли, что выражено в том, что в упомянутом ранее Атласе российских проектов по производству водорода нет ни одного проекта по производству «голубого» или «зелёного» водорода на данной территории, что удивительно, учитывая высокий потенциал.

Подводя итог, можно утверждать следующее:

1. С позиции ветроэнергетики, на исследуемой территории есть зоны с высоким ветроэнергетическим потенциалом, в том числе и для производства «зелёного» водорода.
2. Лидерами по рассчитанному потенциалу, являются южные территории острова Сахалина и Приморского края, а также некоторые острова Курильской гряды.
3. О. Сахалин и Приморский край обладают портовой инфраструктурой, которая при требуемой модернизации может стать большим подспорьем для создания крупного узла международной торговли водородом. В случае с Курилами подобную инфраструктуру необходимо создавать с нуля. Приморский край, в свою очередь, обладает и большими возможностями экспорта водорода по трубам, также в нём более реален сценарий с внутренним потреблением упомянутого энергоресурса.
4. На данных территориях, есть потенциал для развития ветроэнергетики, в том числе и для последующего использования оной для производства «зелёного» водорода, что может стать ещё одним фактором развития дальневосточных территорий РФ.

### ***3.2.3 Пространственная модель для оценки потенциала некоторых регионов ДФО к размещению СЭС с возможностью последующего производства «зелёного» водорода.***

Солнечная энергетика, так же, как и ветровая рассматривается в качестве потенциального источника электроэнергии для последующего производства «зелёного» водорода. Стоит сразу же отметить, что в не раз ранее упомянутом атласе выпущенном Минпромторгом, заявлено всего 2 проекта в рамках которых планируется использование СЭС (для сравнения проектов с куда более «экзотичной» приливной энергетикой – 3).

Одно из объяснений данного явления состоит в том, что даже несмотря на внушительные размеры самой страны, в России не так много территорий которые характеризуются достаточным приходом солнечной радиации для нормального функционирования фотоэлектрических панелей (PV cells). Ещё острее вопрос встаёт, когда речь идёт о применении данных технологий в промышленных масштабах, к примеру для производства «зелёного» водорода.

Если рассматривать солнечную энергетику страны применительно к водородной энергетике, то из всех обозначенных ранее кластеров, в первую очередь, логично заострить внимание именно на Южном. Это подтверждается и географическим местоположением крупнейших СЭС в Республиках Калмыкия и Крым, Ставропольском крае и Астраханской и Оренбургской областях.

В свою очередь, основные мощности солнечной энергетики ДФО сосредоточены в Республике Бурятия, а единственный пилотный проект по производству «зелёного» водорода с применением солнечной энергии на территории данного федерального округа имеет локализацию в соседнем Забайкальском крае. Выбор именно этого региона неслучаен – в юго-восточной части Забайкальского края достаточно высокие (относительно остальной страны) показатели как прямой (Direct Normal Irradiation - DNI), так и суммарной (GHI) солнечной радиации. К примеру, в случае с последней, показатели данной

территории колеблются от 1360 до 1460 кВт/м<sup>2</sup> в год, что сравнимо с юго-востоком Астраханской области, и чуть меньше, чем в южных частях полуострова Крым.

Упомянутые показатели солнечной радиации являются ключевыми при оценке потенциала территории к использованию солнечной энергетики, что доказывается фактом того, что в подавляющем большинстве исследований на данную тематику именно данные показатели носят экзистенциальный характер. Разница состоит в том, что применение в исследовании показателей прямой радиации оправдано в случае с производением расчётов относительно так называемых «концентраторов» (Concentrated solar power - CSP). Суть данной технологии заключается в создании системы линз и/или зеркал для последующей концентрации солнечной энергии в точку, где расположен сам приёмник.

Суммарная радиация (учитывающая как прямую, так и рассеянную) в свою очередь применяется при расчётах для «плоских» панелей (flat-plate PV), благодаря способности последних использовать в том числе и рассеянную радиацию для производства электроэнергии [184].

В данном исследовании было принято решение произвести расчёты как для CSP, так и PV, и, следовательно, использовать значения, как прямой, так и суммарной солнечной радиации. Данное решение обусловлено следующими факторами:

1. Во многих исследованиях (Табл.8), производятся расчёты именно для комплекса вышеупомянутых систем [49,50,96,119,151,173]. Более того в работе С. Амрани [50] потенциал внедрения технологий CSP и PV для Марокко, рассматривается именно относительно последующего производства «зелёного» водорода.

Табл.8. Использование показателей GHI и DNI в различных исследованиях.

Иssl.	[119]	[145]	[147]	[150]	[115]	[139]	[53]	[85]	[104]	[151]	[162]
<b>GHI</b>	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-

<b>DNI</b>	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+
<b>Иссл.</b>	[172]	[96]	[49]	[173]	[50]						
<b>GHI</b>	+	+	+	+	+						
<b>DNI</b>	-	+	+	+	+						

2. Относительно производства водорода (в случае с исследуемой территорией) обе технологии следует рассматривать скорее, как вспомогательные, действующие в комплексе ветровая-солнечная энергетика, так как даже максимальные показатели GHI и DNI для выбранного региона не столь высоки. К примеру, в случае с прямой солнечной радиацией, максимальное значение соответствует  $1763 \text{ кВт/м}^2$ . В ранее упомянутой работе С. Амрани [50] минимальным аналогичным используемым значением было  $1730 \text{ кВт/м}^2$ . Следовательно, стоит рассмотреть обе технологии, так как это увеличивает шанс того что в некоторых точках пространства произойдёт совпадение высокого ветроэнергетического потенциала с высоким потенциалом размещения PV или CSP.

В рамках оценки искомого потенциала солнечной энергетики будет использована единая парная матрица для произведения расчётов относительно обеих заявленных технологий. Данный подход связан с тем, что различий в экономико-географических критериях размещения данных предприятий практически нет, а дифференциация в необходимом уклоне поверхности, экспозиции склона и соответственно самих значениях солнечной радиации проявляется в рамках унификации самих значений.

Рассмотрим более подробно, каким образом происходила оценка критериев, слагающих потенциал территории к выработке электроэнергии с помощью СЭС в том числе и для последующего производства «зелёного» водорода. Некоторые критерии аналогичны ранее обозначенным в случае с ВЭС, поэтому основное

внимание будет уделено именно тем критериям, в которых наблюдаются значимые различия.

### *Приход солнечной радиации (K1)*

Как было упомянуто ранее при производстве расчётов учитывались два показателя – прямая солнечная радиация (DNI) и суммарная солнечная радиация (GHI). Данные по DNI и GHI получены на портале Global Solar Atlas [100] (см. Приложения: Рис. ПЗ.9). Важно отметить, что при вычислении последнего показателя вводится поправка на угол падения солнечного излучения относительно плоскости [69], поэтому в определённых точках Земной поверхности суммарная радиация может быть ниже, чем прямая.

$$GHI = DNI * \cos(\theta) + DHI$$

, где  $DHI$  – рассеянная солнечная радиация,  $\theta$  – угол между плоскостью и направлением на солнце

В отличие от случая с ветроэнергетикой, где для унификации, основного параметра, которым являлась плотность ветровой энергии, использовалась сигмоидальная функция, в случае с солнечной радиацией было принято использовать линейную возрастающую функцию 1го типа (I). Соответствующая замена обусловлена тем, что согласно экспериментальным данным, кривая мощности для СЭС скорее напоминает именно линейную функцию. Причём эта закономерность применима для обеих упомянутых технологий.

Для PV, соответствующие данные были получены в работах В. Ричардсона [148] и А. Виланова [182]. В обоих исследованиях на полученных кривых можно заметить небольшие отклонения от линейного графика функции, однако, в целом и целом, они скорее соответствуют именно возрастающей линейной функции. В случае с CSP показательным исследованием является работа Д. Яна [191] где кривая мощности также соответствует линейному графику.

В качестве минимального значения GHI и DNI для расчёта потенциала СЭС было принято  $1000 \text{ кВт/м}^2$  в год. Схожий показатель был использован Г. Руизом при поиске оптимальных локаций для развития солнечной энергетики в Индонезии –  $2.6 \text{ кВт/м}^2$  в день (около  $950 \text{ кВт/м}^2$  в год). Важно отметить, что в большинстве работ данный показатель выше, однако так как ранее было оговорено, что в данном исследовании солнечная энергетика применительно к производству водорода, рассматривается в первую очередь как вспомогательная, а не основополагающая, было принято решение снизить порог минимальных значений, до минимальных, встречающихся в научной литературе (см. Приложения: Рис. ПЗ.10).

### *Температура воздуха (K2)*

Температура воздуха является важным параметром для оценки потенциала солнечной энергетики, так как она напрямую влияет на эффективность выработки электроэнергии на СЭС. Общепринятым и экспериментально подтверждённым значением температуры, при котором система вырабатывает близкие к расчётным показатели электроэнергии является  $25^{\circ}\text{C}$ . При увеличении температуры воздуха выше указанной отметки, происходит потери эффективности примерно на 0.4-0.5% на каждый  $1^{\circ}\text{C}$  [80,109]. Соответственно при понижении температуры меньше  $25^{\circ}\text{C}$  эффективность напротив повышается.

На основе вышеупомянутых фактов, было принято решение использовать для унификации линейную убывающую функцию (II), где в качестве значения «а» было взято минимальное значение средней температуры массива, а для «b» - максимальное. Температуры воздуха были получены по той же методике, что и в случае с ветровой энергетикой. Единственным различием является то, что для СЭС используется среднегодовая температура, так как в рамках данного исследования рассчитываются массивы потенциала за год. Использование значений среднемесячных температур актуально в случае с проведением расчётов для каждого месяца в отдельности.

### ***Уклон поверхности (К3)***

Уклон поверхности является критически важным критерием в случае с солнечной энергетикой, в особенности для технологии CSP, что подтверждается в большом количестве исследований на данную тематику. Для солнечных панелей требуется более плоский рельеф чем для «ветряков», поэтому несмотря на выбор одинаковой функции для унификации (линейная убывающая) были подобраны меньшие значения параметров.

Во-первых, как и для ВЭС большой уклон поверхности повышает стоимость строительства электростанции. Во-вторых, в случае с CSP требуется плоская поверхность для максимально эффективного использования прямой солнечной радиации. Соответственно, в данном исследовании было принято решение принять в качестве максимально допустимого значения  $2.1^0$ . Именно данный показатель проходит практически через все исследования на схожую тематику [50,53,133].

Для PV были присвоены более высокие значения, но всё ещё меньшие чем для ВЭС, а именно: «а» -  $4^0$  и «б» -  $10^0$ .

### ***Экспозиция склона (К4)***

Верно, подобранная экспозиция склона играет свою роль в достижении максимальной эффективности выработки электроэнергии на СЭС. Значения экспозиции были рассчитаны, основываясь на тех же данных рельефа SRTM, которые использовались при исследовании потенциала территории к ветроэнергетике.

Сразу стоит оговориться, что в связи с особенностями технологии CSP (в том числе с размещением подобных предприятий на поверхности, характеризующейся минимальным уклоном) целесообразность учитывать экспозицию склона в данном случае, практически отсутствует [133]. Однако, её необходимо учитывать для PV модулей.

В северном полушарии, наилучшей ориентацией склонов для установки фотоэлектрических панелей является южная, соответственно в южном полушарии – северная [45,83,88,94]. В связи с вышеперечисленными факторами при унификации полученных значений были приняты следующие решения:

1. Для расчётов применительно технологии CSP, всем значениям экспозиции были присвоены значения «1»
2. Для расчётов применительно технологии PV, была применена трапециевидная функция, со следующими параметрами: «a» -  $0^0$ , «b» - 135, «c» - 225, «d» - 360. Территориям с абсолютно плоским рельефом были присвоены значения «1».

***Расстояние до относительно крупных населённых пунктов (K5), расстояние до существующих автомобильных (K6) и железных (K8) дорог, расстояние до линий электропередач (K7)***

Группа экономико-географических критериев при оценке потенциала территории к размещению СЭС во многом совпадает с аналогичной группой для ВЭС. В обоих случаях действует правило, что близость предприятий к упомянутой инфраструктуре, снижает стоимость постройки, обслуживания и обеспечения электростанций, а также потенциального производства «зелёного» водорода.

Для критерия «расстояние до ЛЭП» функция и параметры остались те же, что и в случае с ветроэнергетикой. Однако, для производства расчётов относительно солнечной энергетики важно учитывать отсутствие шумового загрязнения присущего ВЭС. Вследствие этого факта, пропадает необходимость использовать при унификации промежуточные параметры расстояния, на которых уровень шума снижается до приемлемого.

В результате, в случае с критериями расстояния до дорог и населённых пунктов, использовавшаяся для ВЭС треугольная функция, естественным образом преобразовалась в линейную убывающую 2го типа (III). Значения крайних



параметров при этом сохранились такими же, какими они были и для ветроэнергетики (Рис.45). Это обусловлено, как отсутствием ощутимой разницы между экономико-географическими факторами размещения производств исследуемых типов альтернативной энергетики, так и возможной необходимостью использования ВЭС и СЭС в комплексе (в рамках производства «зелёного» водорода).

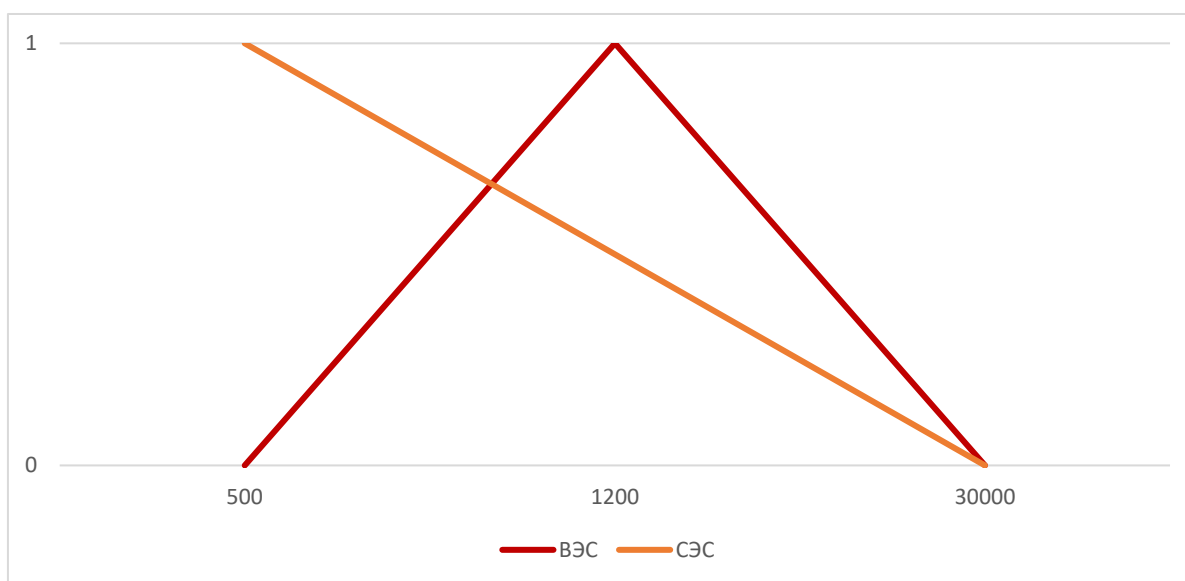


Рис.45. Дифференциации методов унификации значений критерия «расстояние до автомобильных дорог» для моделирования потенциала размещения ВЭС и СЭС. Сост. авт.

### ***Высота над уровнем моря (K9)***

Высота над уровнем моря оказывает влияние на несколько параметров связанных с деятельностью солнечных электростанций. Во-первых, с высотой увеличивается скорость ветра и понижается температура воздуха, что положительно влияет на охлаждение самих панелей. Во-вторых, происходит уменьшение плотности атмосферы, что ведёт к увеличению прихода солнечной радиации, следовательно, интенсивность солнечного излучения также растёт с высотой [193].

Однако стоит отметить, что большая высота ведёт к повышению стоимости, как строительства, так и обеспечения ЭС. Чтобы учесть, как положительные, так и отрицательные стороны, было принято решение использовать трапецевидную

функцию (V), опираясь на исследование М. Зоги, в котором данному критерию было уделено много внимания [193]. Согласно региональным особенностям рельефа были подобраны следующие параметры: «а» - минимальное значение высоты над уровнем моря (м), «b» - 1000 м, «с» - 2000, «d» - 3000 м.

### ***Территории со строгим ограничением***

Так же, как и для потенциала ветроэнергетики, для оценки потенциала солнечной энергетики были внедрены факторы, строго ограничивающие хозяйственную деятельность на территории. В качестве таких ограничений выделены следующие:

- GHI и DNI менее 1000 кВт/м<sup>2</sup> в год
- населённые пункты и буферная зона в 500 метров
- аэропорты и взлётно-посадочные полосы с буфером в 1000 метров
- ООПТ с буфером в 1000 метров
- озёра, болота, реки, ручьи и прочие гидрологические объекты с буфером 200 метров
- буферная зона (20000 м) от крупнейших рек региона – Амур, Уссури, Зея, Буряя
- уклон поверхности более 10<sup>0</sup> для PV и 2.1<sup>0</sup> для CSP
- объекты с различными характеристиками землепользования, аналогично расчётам по потенциалу ВЭС

### ***Расчёт итогового массива***

При составлении итоговой попарной матрицы критериев, были учтены мнения экспертов, представленные в следующих работах [59,115,149]. Как и для анализа потенциала ВЭС, была составлена дополнительная матрица для интегрирования некоторой доли региональных особенностей. Общая матрица прошла тест на

согласованность: показатель CR, составил 0.068 (при допуске в 0.1). Итоговая матрица представлена ниже (Рис.46).

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9		Вес	%
K1	1	4	5.422	5.769	6.804	6.192	4.527	6.192	9	≈	0.383	38.3
K2	0.25	1	0.577	1.225	6	1.291	1	1.291	3		0.104	10.4
K3	0.184	1.732	1	1.494	0.941	0.946	0.731	0.946	7		0.093	9.3
K4	0.173	0.812	0.67	1	3.464	1.145	0.55	1.145	4		0.08	8
K5	0.15	1.667	1.063	0.289	1	0.794	0.362	0.794	2		0.046	4.6
K6	0.162	0.775	1.057	0.874	1.26	1	0.325	1	5		0.069	6.95
K7	0.221	1	1.368	1.817	2.759	3.08	1	3.08	6		0.133	13.3
K8	0.162	0.775	1.057	0.874	1.26	1	0.324	1	5		0.069	6.95
K9	0.111	0.333	0.143	0.25	0.5	0.2	0.167	0.2	1		0.022	2.2

, при CI = 0.09, CR = 0.068

Рис.46. Попарная матрица и веса критериев для анализа потенциала территории к развитию солнечной энергетики. Сост. авт.

В результате анализа матрицы, субкритериям были присвоены следующие веса (Рис.47):

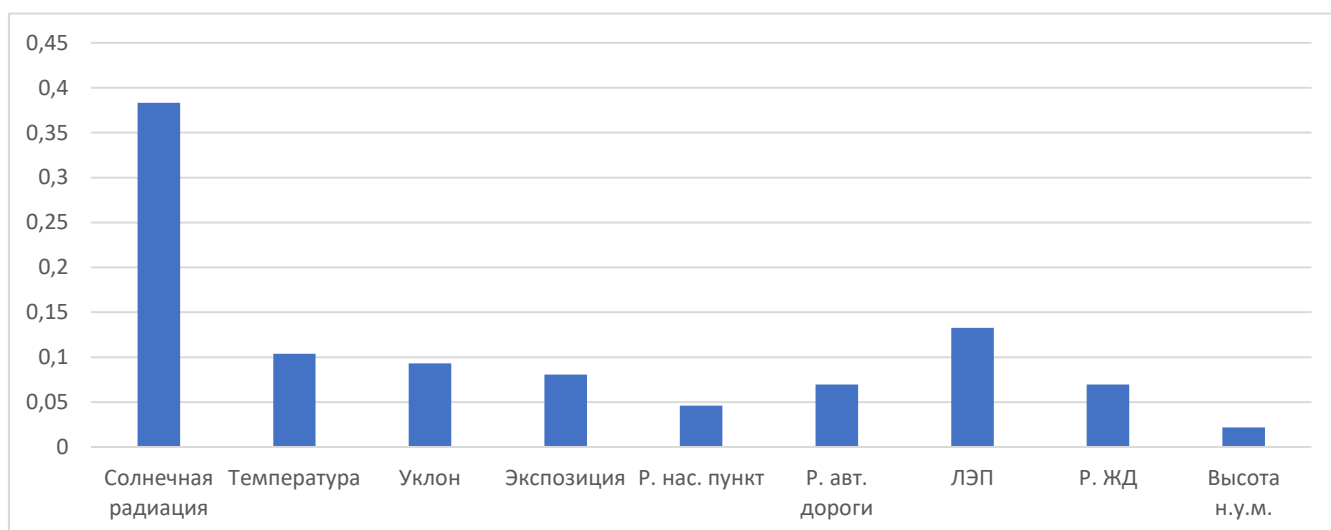


Рис.47. Веса субкритериев для оценки потенциала территории к размещению СЭС. Сост. авт.

Как и для ВЭС, последним этапом расчётов стало использование метода взвешенной линейной комбинации (5). В результате, было получено два массива данных по искомым потенциалам исследуемой территории к размещению СЭС (PV и CSP технологии).

## *Потенциал территории к размещению СЭС с использованием PV технологий*

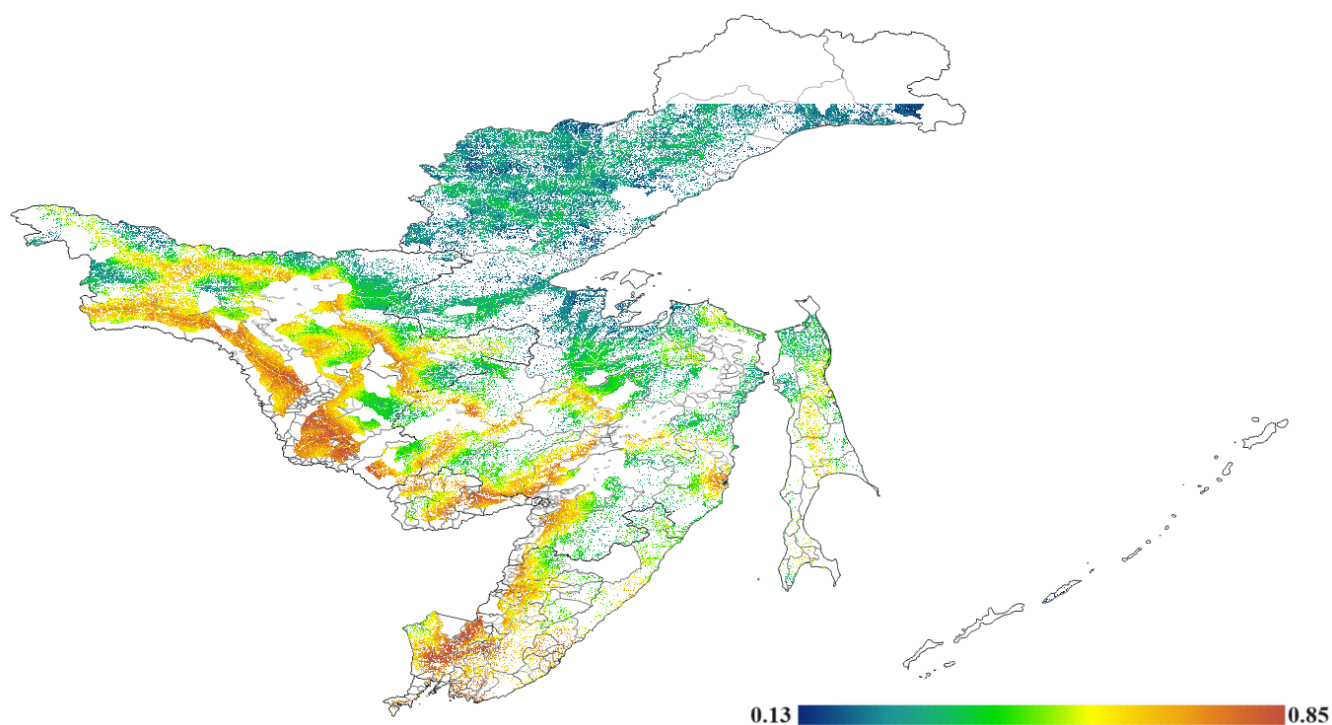


Рис.48. Потенциал территории к размещению СЭС (PV) (в большем масштабе см. Приложения: Рис. ПЗ.11). Сост. авт.

Наличие развитой инфраструктуры вдоль границы России и Китая, сыгравшее значимую роль в относительно высоких значениях потенциала к размещению ВЭС, сказалось и в случае с PV (Рис.48). На примере последней можно заметить, что приграничные территории выделяются особенно ярко. Это связано с тем, что помимо упомянутой инфраструктуры, именно там находится одна из зон, с наиболее высокими значениями суммарной солнечной радиации (относительно всей территории исследования).

Особо стоит выделить юг и в особенности юго-восток Амурской области, восток Еврейской АО, а также юг Приморского края. Отдельно можно отметить территории возле г. Советская Гавань. Если говорить о Сахалинской области, то в целом её потенциал не отличается высокими показателями, но с позитивной точки зрения можно выделить полосу, протянувшуюся от юга Поронайского ГО до севера Тымовского района.

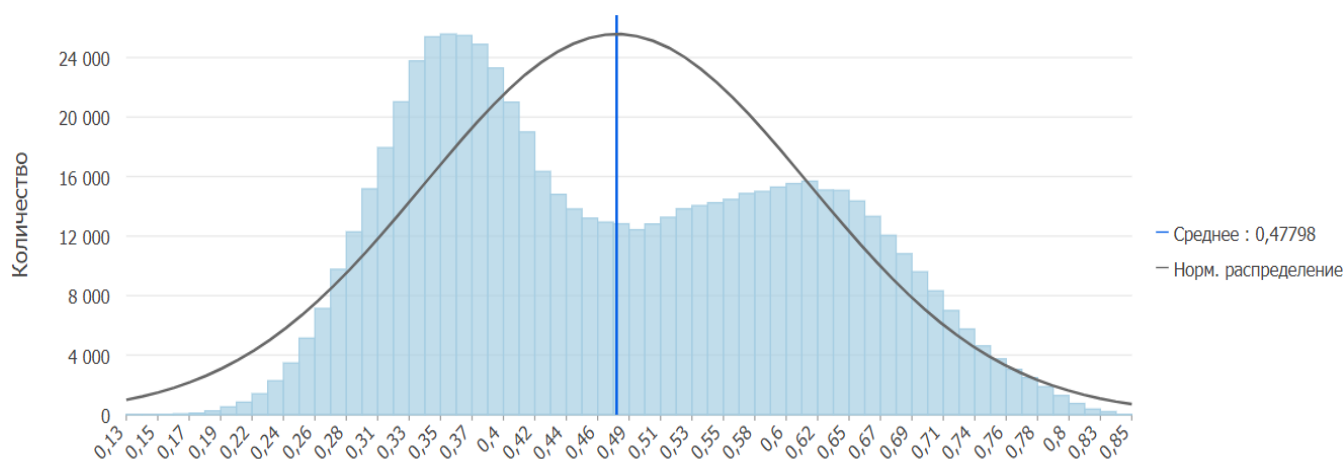


Рис.49. Распределение потенциала солнечной энергетики (PV) в исследуемом регионе. По оси ординат отмечено количество пикселей итогового растра. Сост. авт.

Общее для всей территории распределение потенциала приведено на (Рис.49). Для более точного вычленения районов с наиболее высоким потенциалом, как и в случае с ветроэнергетикой был произведён статистический анализ полученного массива данных (см. Приложения: Табл. ПЗ.2). Соответственно список и параметры статистических показателей (также, как и единицы деление субъектов федерации) соответствуют тем, которые представлены в анализе потенциала территорий к размещению ВЭС.

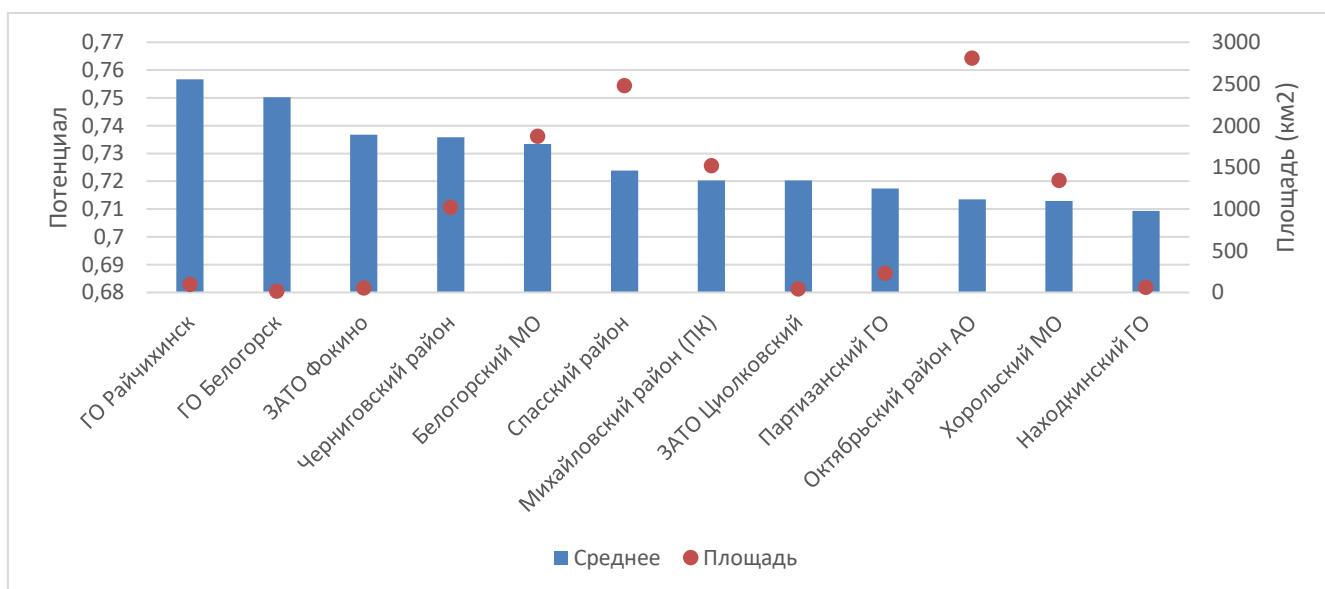


Рис.50. Лидеры по среднему потенциалу территории к размещению СЭС (PV) (показаны 12 адм. обр. лидеров). Сост. авт.

С позиции средних значений (Рис.50), особенно выделяются ГО Райчихинск и ГО Белогорск (оба Амурская область). Несмотря на относительно небольшую площадь пригодных территорий (94 км<sup>2</sup> и 14 км<sup>2</sup> соответственно) в данных городских округах наблюдаются наиболее высокие средние показатели искомого потенциала. Отдельно можно выделить Черниговский район (Приморский край) и Белогорский МО (Амурская область). Данные территориальные единицы обладают как высоким потенциалом, так и большой площадью пригодных для строительства СЭС (PV) земель, что повышает вариативность при выборе места размещения ЭС.

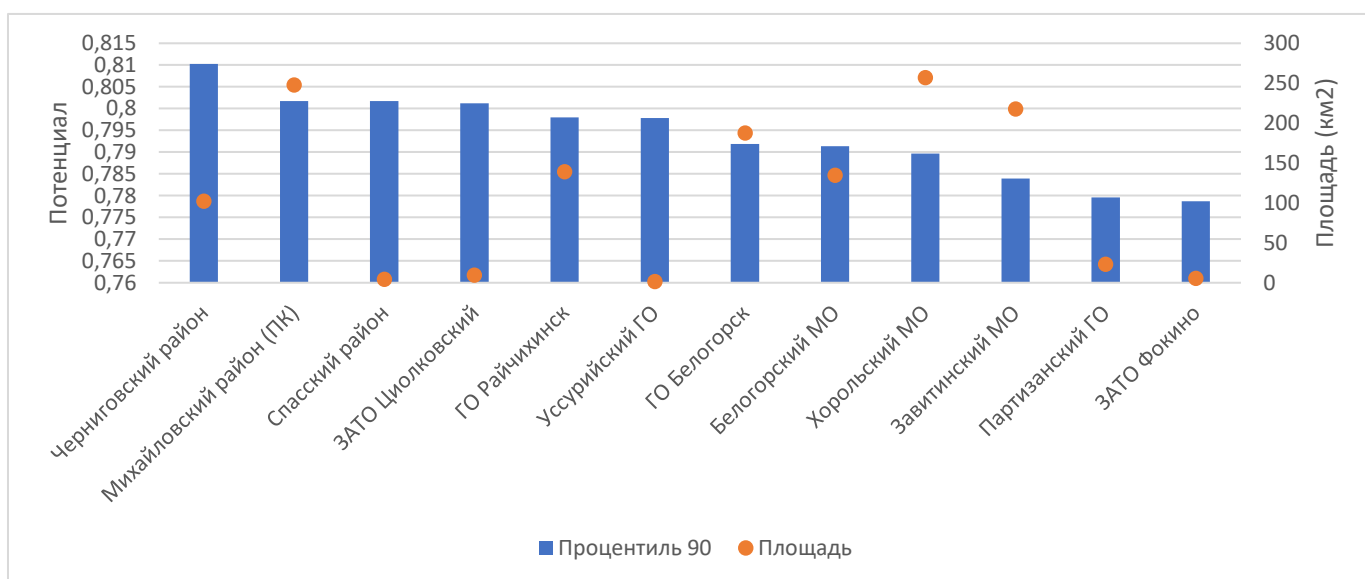


Рис.51. 90-й процентиль по различным адм. образованиям, согласно данным потенциала территории к размещению СЭС (PV) (показаны 12 адм. обр. лидеров). Указанная площадь соответствует площади 10% наиболее эффективных территорий. Сост. авт

Но особенно ярко Черниговский район выделяется по высокому значению 90го процентиля (Рис.51, Рис.52). Около 102 км<sup>2</sup> его площади обладают потенциалом 0.81, что делает данный район одним из наиболее подходящих для развития солнечной энергетики с применением PV панелей. Также стоит отметить и высокие показатели ранее не упомянутого Спасского района (Приморский край).

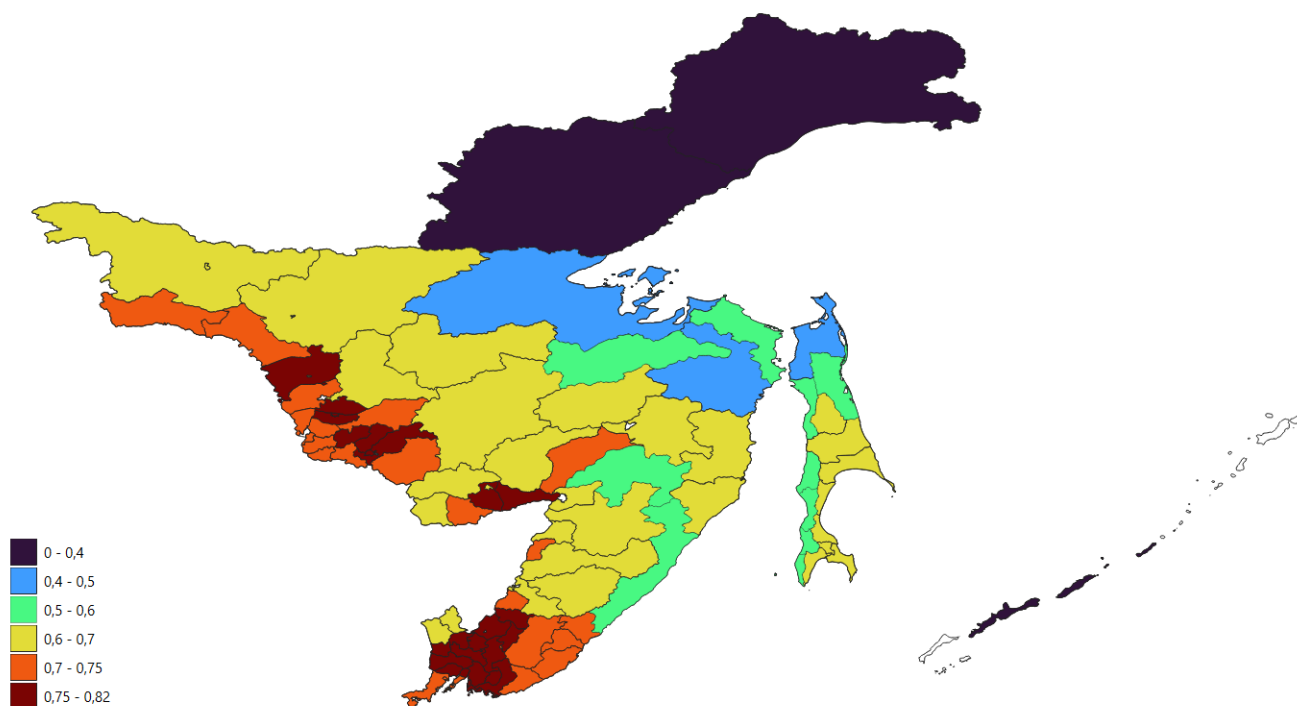


Рис.52. 90-й процентиль по массиву данных потенциала территории к солнечной энергетике (PV). Сост. авт.

Суммируя вышесказанное, можно ещё раз выделить мысль о том, что наиболее эффективные с точки зрения потенциала развития солнечной энергетики (PV) территории расположены вдоль границы с КНР, а также на юге Приморского края. В отличие от массива, отражающего ветроэнергетический потенциал, Сахалинская область практически не обладает высокими искомыми значениями.

Возвращаясь к теме возможного использования солнечной энергетики для производства «зелёного» водорода, стоит ещё раз вспомнить, что показатели суммарной солнечной радиации исследуемой территории не столь высоки. Например, значения больше  $1380 \text{ кВт/м}^2$  встречаются только на юге Приморского края. В целом, если рассматривать возможность электролиза только за счёт электроэнергии полученной на СЭС, то в первую очередь стоит рассматривать либо данную территорию, либо юг Еврейской АО, а также некоторые районы Амурской области. На территории последних, есть участки, где показатели ГНП превышают  $1360 \text{ кВт/м}^2$ , однако вопрос насколько при таких значениях возможно эффективное

производство «зелёного» водорода является дискуссионным и должен подробно рассматриваться уже на более поздней – технической стадии оценки потенциала.

Если рассматривать солнечную энергетику (PV), как вспомогательную, действующую в связке с ветровой, то можно выделить несколько территорий, обладающих высоким потенциалом относительно обеих исследуемых энергетик. Для этого, было принято решение систематизировать исследуемые административно-территориальные единицы (АТЕ) по значениям 90го перцентиля на 5 категорий с шагом в 20% (очень низкий, низкий, средний, высокий, наиболее высокий) и затем сравнить в каких из них совпадают наиболее высокие категории потенциала.

По итогу были получены следующие результаты по наиболее подходящим для производства «зелёного» водорода с применением комплекса ВЭС-СЭС (PV):

- в Амурской области: Белогорский МО и ГО Белогорск
- в Приморском крае: Спасский р-н, Черниговский р-н, Хорольский МО, Михайловский р-н, Уссурийский ГО, Надеждинский р-н, Находкинский ГО, ГО Большой Камень

Важно отметить, что количество территорий, обладающих достаточным потенциалом для возможного производства «зелёного» водорода с применением вышеупомянутого энергетического комплекса, превышает данный список, так как в подборку попали только территории с наиболее высоким потенциалом, как в случае ВЭС, так и СЭС (PV).

На основе всего массива рассчитанных данных и последующего их анализа, а также суммируя всё что было сказано ранее, можно сделать следующие выводы:

1. В обозначенных ранее субъектах ДФО РФ имеются территории обладающие потенциалом для производства электроэнергии с помощью СЭС (PV). Одним из центров средоточия данных территорий (как и в случае с ВЭС), является юг Приморского края.



2. Высоким потенциалом, обладают также некоторые АТЕ Амурской области и Еврейской АО, расположенные недалеко от границы с КНР. В свою очередь Сахалинская область, имевшая хорошие показатели при расчётах относительно ветроэнергетики, в случае с солнечной имеет диаметрально противоположные характеристики. Единственной административной единицей области с относительно неплохими показателями, является Поронайский городской округ.
3. На определённых территориях возможно использование СЭС (PV) для производства «зелёного» водорода, однако вопрос насколько будет обосновано их применение, как единственного источника энергии для электролиза – дискуссионен. Если такое возможно, то в первую очередь на не раз ранее упомянутом юге Приморского края, где максимальные показатели GHI достигают  $1400 \text{ кВт/м}^2$ , что в свою очередь чуть меньше, чем на юго-востоке Забайкальского края где планировалось производство «зелёного» водорода именно с использованием энергии полученной на СЭС (согласно Атласу [2]). В случае внедрения комплексной системы ВЭС-СЭС (PV), география возможного размещения подобных предприятий намного шире и включает в себя также некоторые АТЕ на территории Амурской области.

### ***Потенциал территории к размещению СЭС с использованием CSP технологий***

Если сравнивать полученные массивы данных по потенциалу территории к развитию всех 3х исследуемых видов альтернативной энергетики, то очевидно, что в случае с солнечными системами концентрирующего типа акцент сильно смещен в Амурскую область и частично в Еврейскую АО (Рис.53).

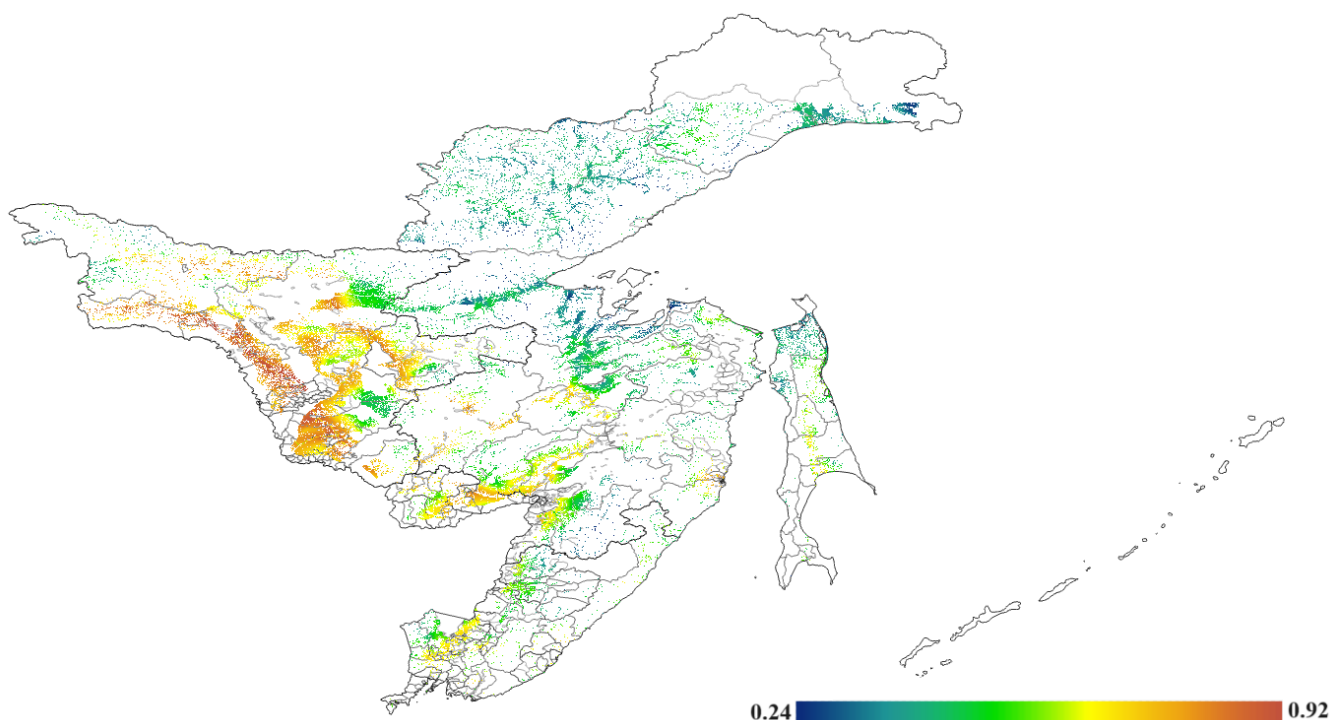


Рис.53. Потенциал территории к размещению СЭС (CSP) (в большем масштабе см. Приложения: Рис. ПЗ.12). Сост. авт.

Несмотря на тот факт, что и для PV и для CSP были приняты одинаковые экономико-географические критерии и во многом схожие параметры, Приморский край в случае с CSP не отличается высокими показателями, особенно в сравнении с некоторыми регионами Амурской области. На указанную пространственную дифференциацию между двумя типами СЭС повлияли следующие факторы:

1. Если некоторые территории в обозначенных выше субъектах федерации обладали примерно одинаковыми показателями суммарной солнечной радиации (даже за небольшим преимущество юга Приморского края), то значения прямой солнечной радиации на юге Амурской области намного выше (в среднем на 250-300 кВт/м<sup>2</sup>), чем на юге Приморского края.
2. Приморский край обладает более гористым рельефом, что критически важно в случае с «концентраторами» (допустимое значение уклона 2.1<sup>0</sup>). Пространственным выражением этого фактора стало то, что подавляющее большинство территории Приморского края с относительно высоким

искмым потенциалом локализованы в более равнинной юго-западной части субъекта.

Аналогично расчётам по потенциалу территории к размещению ВЭС и СЭС (PV) для вычленения отдельных АТЕ с наиболее высоким потенциалом СЭС (CSP) был произведён статистический анализ полученного массива данных (см. Приложения: Табл. ПЗ.3). Распределение потенциала солнечной энергетики (CSP) приведено на (Рис.54).

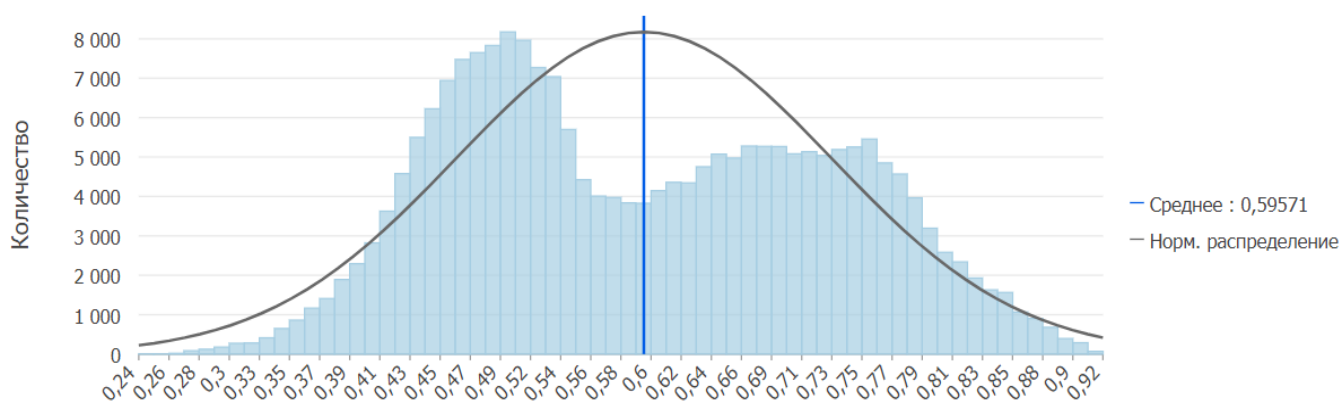


Рис.54. Распределение потенциала солнечной энергетики (CSP) в исследуемом регионе. По оси ординат отмечено количество пикселей итогового растра. Сост. авт.

Если оставить за скобками ЗАТО Циолковский (в связи с особым статусом территории), то с точки зрения средних значений (Рис.55) потенциала выделяются городские округа Шимановск и Белогорск (оба Амурская область). Последний отмечался с положительной стороны и в случае с PV, однако несмотря на высокие средние значения оба ГО не отличаются большими показателями площади территорий, где возможна установка соответствующих ЭС. Причём если в ГО Белогорск данные значения вполне приемлемы (около 15 км<sup>2</sup>), то в ГО Шимановск упомянутый показатель равняется всего 640 м<sup>2</sup>, что не позволяет говорить о высоком потенциале данной территории.

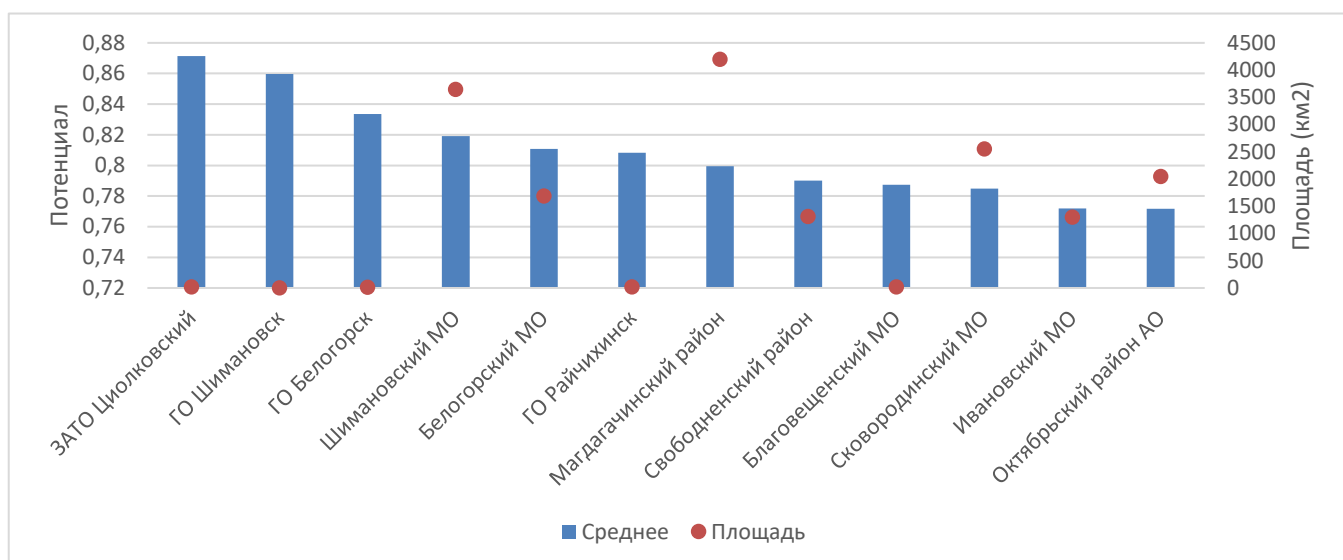


Рис. 55. Лидеры по среднему потенциалу территории к размещению СЭС (CSP) (показаны 12 адм. обр. лидеров). Сост. авт.

Однако помимо городских округов, высокими значениями потенциала обладают и соответствующие муниципальные округа – Белогорский и Шимановский. Отдельно стоит отметить и западные АТЕ Амурской области – Магдагачинский район и Сковородинский МО.

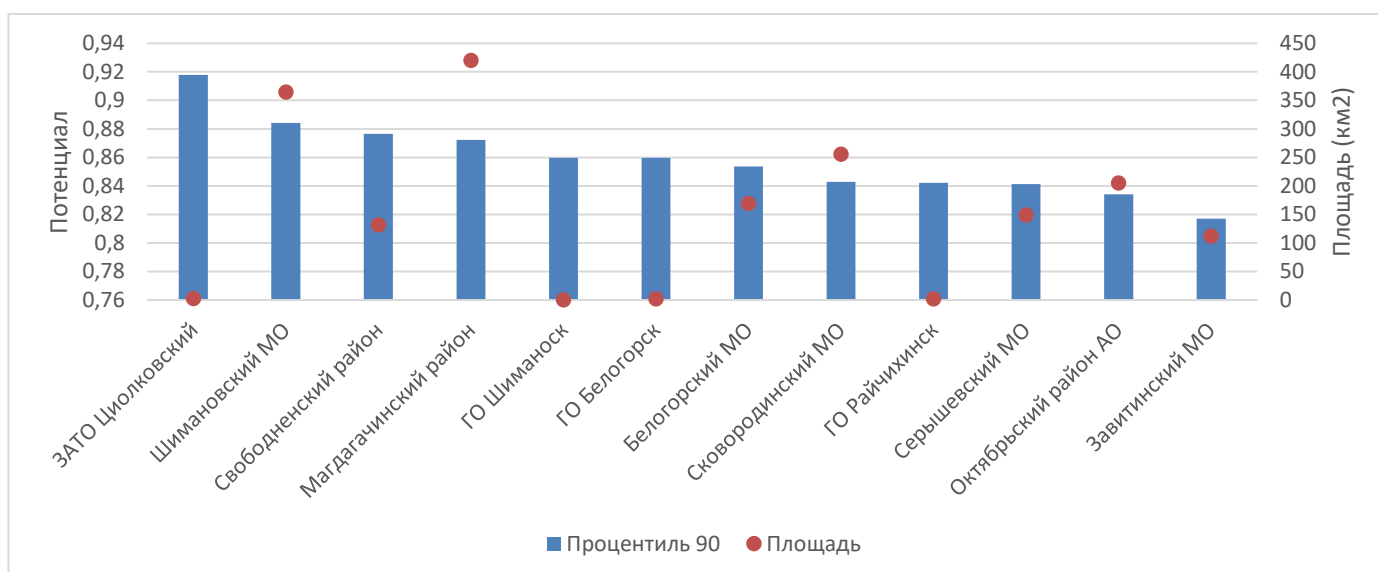


Рис.56. 90-й процентиль по различным адм. образованиям, согласно данным потенциала территории к размещению СЭС (CSP) (показаны 12 адм. обр. лидеров). Указанная площадь соответствует площади 10% наиболее эффективных территорий. Сост. авт.

Основываясь на показателях 90го процентиля (Рис.56, Рис.57), помимо ранее выделенных АТЕ, стоит отметить Свободненский район. Кроме высокого показателя потенциала, там отмечается и большое значение площади, которую занимают 10% наиболее эффективных территорий района – около 263 км<sup>2</sup>. Стоит ещё раз оговориться, что площадь не имеет той же степени важности, как наличие потенциала в целом, однако её высокие значения придают вариативность, что в свою очередь может сказаться на развитии отрасли в целом. В том числе и по этой причине необходимо ещё раз выделить Магдагачинский район, основываясь уже не на среднем, а на процентиле.

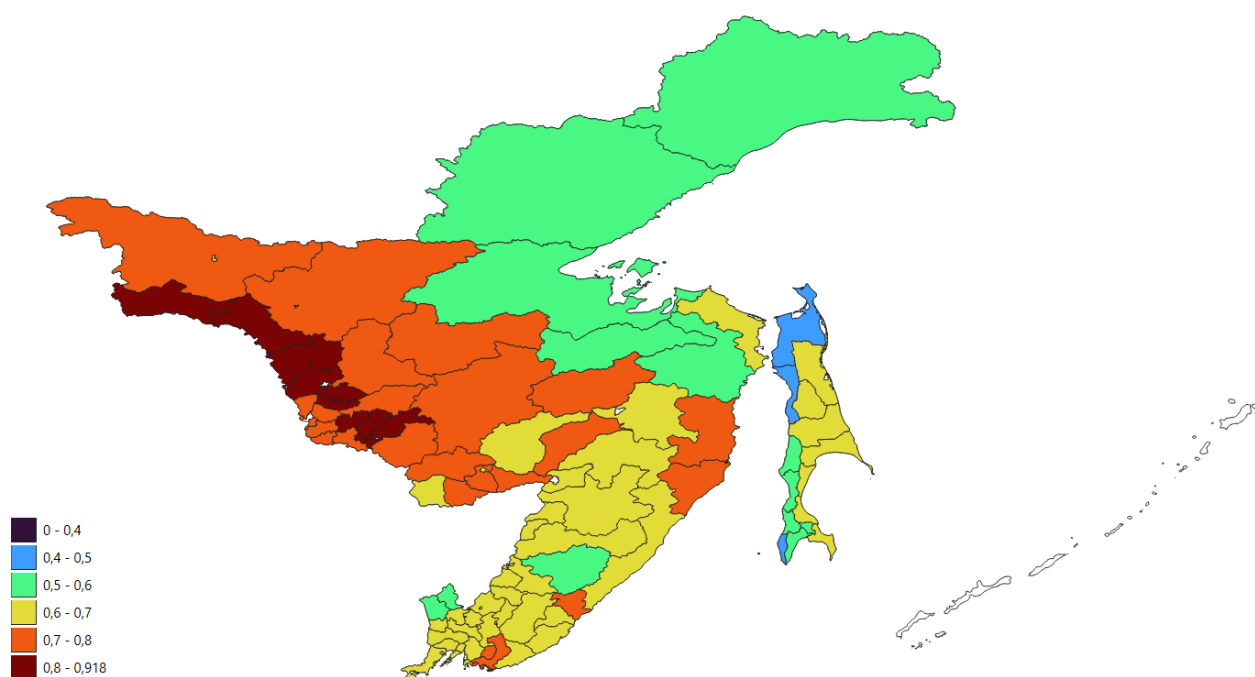


Рис.57. 90-й процентиль по массиву данных потенциала территории к солнечной энергетике (PV). Сост. авт.

Суммируя вышесказанное, ещё раз отметим, что наиболее эффективные с точки зрения потенциала развития солнечной энергетике (CSP) территории расположены в Амурской области, причём в её приграничной с КНР части. Как и в случае с потенциалом территории к размещению PV-панелей, Сахалинская область практически не обладает высокими искомыми значениями.

В Приморском крае выделяются Партизанский район и Партизанский ГО, но по факту, там не наблюдается сгруппированных зон с высоким потенциалом, а

скорее разбросанные небольшие участки. Более серьёзно можно рассматривать Советско-Гаванский и Ванинский районы Хабаровского края, так как они не только обладают высокими значениями 10% наиболее эффективных территорий, но также большинство из них имеют локализацию возле города Советская Гавань и посёлка Ванино. Более того, значения DNI на упомянутом участке, относительно высоки – в среднем около 1580кВт/м<sup>2</sup> (местами до 1620 кВт/м<sup>2</sup>).

Если рассматривать рассчитанные показатели применительно к производству «зелёного» водорода, то в целом картина схожа с тем, что было в случае с PV. Идея использования солнечных систем концентрирующего типа в качестве единственного источника электроэнергии в исследуемом регионе достаточно спорна, так как показатели прямой солнечной радиации практически на всей территории исследования не высоки. Во всём массиве данных по DNI максимальное значение составило всего 1763 кВт/м<sup>2</sup>. В не раз ранее упомянутом исследовании С. Амрани [50] минимальным рассматриваемым значением было 1730 кВт/м<sup>2</sup>, а максимальное достигало 3232 кВт/м<sup>2</sup>, что обусловлено расположением исследуемой территории (Марокко).

С позиции потенциального использования комбинации ВЭС-СЭС (CSP) ситуация также схожа с тем, что наблюдалось при анализе ВЭС-СЭС (PV). Существенным различием является то, что если рассматривать именно «концентраторы», в качестве дополнительного к ВЭС источника энергии для электролиза, то для максимизации эффективности последних логичнее присмотреться к некоторым АТЕ юга Амурской области. В качестве оных можно выделить, к примеру, Белогорский и Серышевский муниципальные округа. Также можно отметить и Находкинский ГО (Приморский край), а также Ванинский и Советско-Гаванский районы.

Суммируя все полученные и проанализированные данные по всем 3м исследуемым типам альтернативной энергетики, можно сделать следующие общие выводы:

1. В исследуемом регионе есть территории, обладающие потенциалом для производства электроэнергии, как на ВЭС, так и на СЭС (2х типов).
2. В случае с ВЭС, наиболее перспективными территориями являются: юг Приморского края и Сахалинская область (включая некоторые острова Курильского архипелага). Для размещения СЭС (PV) наиболее подходящими территориями являются юг Приморского края и некоторые южные АТЕ Амурской области и Еврейской АО. По показателям потенциала территории к размещению СЭС (CSP) лидирует Амурская область.
3. В парадигме производства «зелёного» водорода, наиболее перспективным выглядит использование ветроэнергетики. Более того, некоторые из исследуемых территорий обладают потенциалом для последующего экспорта данного энергоносителя в страны АТР. Возможно и использование комбинированной системы ВЭС-СЭС, но, в случае если солнечная энергетика будет играть вспомогательную роль.

Итоговый выбор площадок, как для установки крупных ветропарков или солнечных станций, так и для последующего производства «зелёного» водорода – задача, несущая более технический характер. Возможно и применение анализа графов в ГИС, для оценки транспортной доступности и стоимость поставок различными способами [163]. С географической точки зрения можно утверждать, что потенциал для внедрения подобных предприятий в исследуемом регионе есть. Более того, есть и важное подспорье в решении транспортной задачи (краеугольного камня для размещения производств водорода), а именно относительная близость потребителя. Текущая геополитическая обстановка, также говорит о том, что именно Дальний Восток, следует рассматривать, как наиважнейшую площадку для реализации подобных проектов.

Теоретически, если переход на новую ступень энергетического развития действительно произойдёт, то Дальний Восток может стать «авангардом»

российской энергетики (по крайней мере тех её отраслей, которые затрагивают вопрос экспорта). Успех данного предприятия, зависит от планирования, как долгосрочного, так и краткосрочного. Географическая наука, может найти своё применение в первую очередь в сфере долгосрочного планирования, так как именно на базе географии, возможно сочетание природных и экономических факторов, которые складывают базис развития альтернативной энергетики.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования, нацеленного на утверждение географических подходов к развитию альтернативной энергетики мира, были получены значимые теоретические, методологические, методические и прикладные результаты, из которых наиболее существенными являются следующие.

*В теоретической области:* обосновано выделение альтернативной энергетики в качестве особого сегмента географической науки из-за специфической роли пространственного фактора, выраженного в физико-географическом потенциале территории и истории развития данного типа энергетики. В свою очередь в рамках традиционной парадигмы развития энергоуклада, данный фактор не играет экзистенциальной роли.

Обосновано, что в исследовании альтернативной энергетики неоспорима колоссальная роль методолого-методического аппарата географической науки, концентрирующей внимание, прежде всего, на роли природно-ресурсных детерминантов конкретных стран и территорий с использованием методов пространственного анализа.

*В методической области* обоснованы географические методы и инструменты исследования альтернативной энергетики мира, разработана методика географической диагностики развития альтернативной энергетики стран как средства их классификации, предложены новые методы пространственного моделирования потенциала развития альтернативной энергетики.

*Прикладные* результаты исследования определяются результатами пространственного моделирования потенциала территории к развитию альтернативной энергетики (в том числе и с целью производства «зелёного» водорода) для пяти субъектов федерации в пределах ДФО РФ (Амурская область, Еврейская АО, Приморский край, Сахалинская область, Хабаровский край).

Массивы данных по искомому потенциалу были рассчитаны сразу для трёх различных типов альтернативной энергетики – ветровой, солнечной (PV и CSP). Помимо рассчитанных массивов был произведён статистический анализ, для выявления территорий, характеризующихся более высокими значениями потенциала.

Возможная ориентация исследуемых территорий, обладающих высоким потенциалом к ветровой и солнечной энергетикам, и возможностью их использования для производства «зелёного» водорода, на альтернативную энергетику, особенно важна с точки зрения последующего экспорта (в том числе в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, ориентация на который является одним из приоритетов Правительства РФ).

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- BP – British Petroleum
- BWM – Best-worst method, Метод «лучшего-худшего»
- CI – Consistency index, Индекс согласованности
- CO<sub>2</sub> – углекислый газ
- CR – Consistency ratio, Отношение согласованности
- CSP – Concentrated solar power, Коцентрирующая солнечная энергетика (прим. название установки – Гелиоконцентратор)
- DNI – Direct normal irradiation, Прямая солнечная радиация
- GHI – Global horizontal irradiation, Суммарная солнечная радиация
- IEA – International Energy Agency, международное энергетическое агентство
- IRENA – International Renewable Energy Agency, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии
- ITER - International Thermonuclear Experimental Reactor, международный экспериментальный термоядерный реактор
- LCOE – Levelized cost of electricity, средняя расчетная нормированная стоимость производства электроэнергии
- MCDА (он же MCDM) - Multiple-criteria decision analysis, Многокритериальный анализ принятия решений
- NASA - National Aeronautics and Space Administration, национальное управление по авиации и исследованию космического пространства
- PV cells (PV) – Photovoltaic cells, Фотоэлектрические элементы (панели)
- PVOUT – Фотоэлектрический потенциал
- TOPSIS - Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, Метод для выбора порядка предпочтения по сходству с идеальным решением
- WLC – Weighted linear combination, Взвешенная линейная комбинация
- WPD – Wind power development, плотность энергии ветра
- АО – Автономная область
- АТЕ – Административно-территориальная единица

АТЭЦ – Атомная теплоэлектроцентраль  
АЭС – Атомная электростанция  
ВИЭ – Возобновляемые источники энергии  
Вт - Ватт  
ВЭС – Ветряная электростанция  
Га – Гектар  
ГеоЭС – Геотермальная электростанция  
ГИС – геоинформационные системы  
ГО – Городское образование  
ГЭС – Гидроэлектростанция  
дБ – Децибел  
ДФО – Дальневосточный федеральный округ  
ЗАТО – закрытое административно-территориальное образование  
кВт - Киловатт  
кВт·ч – Киловатт-час  
МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии  
МАИ (АНР) – метод анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process)  
МВт – Мегаватт  
МО – Муниципальный округ  
ООПТ – Особо охраняемые природные территории  
ОПЕК (ОПЕС) – Организация стран – экспортёров нефти (The Organization of the Petroleum Exporting Countries)  
РФ – Российская Федерация  
СЭС – Солнечная электростанция  
ТВт·ч – Тераватт-час  
ТОКАМАК – Тороидальная камера с магнитными катушками  
ТЭС – Тепловая электростанция  
ЭС – Электростанция

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Авраменко, А. А.** Сотрудничество КНР и России в сфере использования возобновляемых источников энергии / А. А. Авраменко, А. Р. Байгускарова // Евразийский союз ученых. – 2018. – № 4-6(49). – С. 4-6.
2. **Атлас Российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака.** — Текст : электронный // МИНПРОМТОРГ РФ : [сайт]. — URL: [https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!atlas\\_rossiyskih\\_proektov\\_po\\_proizvodstvu\\_nizkouglernogo\\_i\\_bezuglernogo\\_vodoroda\\_i\\_ammiakap](https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!atlas_rossiyskih_proektov_po_proizvodstvu_nizkouglernogo_i_bezuglernogo_vodoroda_i_ammiakap) (дата обращения: 28.08.2022).
3. **Брославский, Л. И.** Энергетическое право США: возобновляемые источники энергии / Л. И. Брославский // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). – 2020. – №3. – С. 125-134.
4. **В России насчитывается около 26 тысяч электромобилей.** — Текст : электронный // АВТОСТАТ : [сайт]. — URL: <https://www.autostat.ru/news/55451/> (дата обращения 01.12.2023).
5. **Водный кодекс Российской Федерации** : Федеральный закон №74-ФЗ от 03.06.2006 // РОСГИДРОМЕТ: [сайт]. — URL: <https://www.meteorf.gov.ru/documents/6/30/> (дата обращения 23.11.2023).
6. **Возобновляемая энергетика в контексте регионального развития** / Е. И. Голубева, С. В. Киселёва, Н. И. Чернова [и др.]. — 1-е изд. — Москва : Наука, 2021. — 248 с.
7. **Гидрометцентр России.** — Текст : электронный // Гидрометцентр России : [сайт]. — URL: <https://meteoinfo.ru> (дата обращения 20.12.2023).
8. **Глава "Росатома" сообщил об интересе десятков стран к проекту плавучей атомной станции.** — Текст : электронный // Интерфакс : [сайт]. — URL: <https://www.interfax.ru/russia/897420> (дата обращения: 13.09.2023).

9. **Говорушко, С. М.** Воздействие ветровых электростанций на окружающую среду / С. М. Говорушко // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – №4. – С. 38-42.
10. **Горбунова, Т. Ю.** Оценка ландшафтного потенциала Юго-Восточного Крыма для использования систем возобновляемой энергетики - солнечной и ветровой : дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук : 25.00.36 / Горбунова Татьяна Юрьевна ; Юж. Федер. Ун-т. – Симферополь, 2019. – 224 с.
11. **Гордиенко, В. А.** Сравнительный анализ радиоактивного загрязнения, создаваемого АЭС и ТЭС, работающими на угле / В. А. Гордиенко, С. Н. Брыкин, Р. Е. Кузин [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2012. – № 1. – С. 123-130.
12. **ГОСТ Р 54531-2011.** Нетрадиционные технологии. Возобновляемые и альтернативные источники энергии. Термины и определения. – Введ. 2013-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 24 с.
13. **Дегтярев, К. С.** Потенциал, территориальная организация и развитие энергетики на возобновляемых источниках в Республике Калмыкия : дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук : 25.00.24 / Дегтярев Кирилл Станиславович ; Инст. Геогр. РАН. – Москва, 2019. – 344 с.
14. **Демидионов, М. Ю.** Альтернативная энергетика стран БРИКС: компаративный анализ. Региональные геосистемы / М. Ю. Демидионов // Региональные геосистемы. – 2023. – № 47(2). – С. 205-216.
15. **Демидионов, М. Ю.** Пространственное моделирование потенциала развития альтернативной энергетики на примере острова Сахалин / М. Ю. Демидионов // Тихоокеанская география. – 2023. – № 4. – С. 82–92.
16. **Дмитракова, Т.** Лимаренко: для развития Курил нужны нестандартные решения. / Т. Дмитракова. — Текст : электронный // RG.RU : [сайт]. — URL: <https://rg.ru/2021/10/21/reg-dfo/limarenko-dlia-razvitiia-kuril-nuzhny-nestandartnye-resheniia.html> (дата обращения: 06.12.2023).

17. **Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации** от 13.05.2019 №216 // Совет безопасности Российской Федерации : [сайт]. – URL: [http://www.scrf.gov.ru/security/economic/energy\\_doc/](http://www.scrf.gov.ru/security/economic/energy_doc/) (дата обращения 23.11.2023).
18. **Информационный обзор рынка ВИЭ в России (июль – сентябрь 2023г.)**. — Текст : электронный // АРВЭ : [сайт]. — URL: <https://rreda.ru/products/quarterly-reviews/review-1409> (дата обращения: 23.11.2023).
19. **Киселёва, Э. А.** Обзор нечеткой логики в управлении / Э. А. Киселёва, А. А. Краева, Ю. С. Савинова // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2019. – № 3. – С. 401-405.
20. **Коробов, В. Б.** Преимущества и недостатки метода анализа иерархий / В. Б. Коробов, А. Г. Тутыгин // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. – 2010. – № 22. – С. 108-115.
21. **Кочубеевская ВЭС**. — Текст : электронный // Министерство энергетики РФ : [сайт]. — URL: <https://minenergo.gov.ru/kochubeevskaya-ves> (дата обращения 20.12.2023).
22. **Мамедзаде, П. У.** Перспективы международного экономического сотрудничества Азербайджана на основе развития альтернативной электроэнергетики : дис. на соиск. учен. степ. канд. эконом. наук : 08.00.14 / Мамедзаде Парвин Умид гызы ; МГИМО. – Москва, 2022. – 209 с.
23. **На острове Итуруп построена первая в Сахалинской области солнечная электростанция**. — Текст : электронный // EnergyLand.info : [сайт]. — URL: <https://energyland.info/news-show--alternate-223794> (дата обращения 01.12.2023).
24. **Наше общее будущее: Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР)**. Пер. с англ. / Под ред. С. А. Евтеева, Р. А. Перелета. Предисл. Г. Харлем Брундтланд. – Москва : Прогресс, 1989. – 277 с.
25. **Нигматулин, Б. И.** Атомная энергетика в России и мире. Состояние и Развитие / Б. И. Нигматулин. – Текст : электронный // Институт энергетических

исследований РАН : [сайт]. – URL:

[https://www.eriras.ru/files/prezentantatsiya\\_20\\_05\\_2017\\_poslednyaya.pdf](https://www.eriras.ru/files/prezentantatsiya_20_05_2017_poslednyaya.pdf) (дата обращения: 26.11.2023).

**26. Новак прогнозирует снижение доли угля в энергобалансе РФ до 6-7% к 2050 году.** — Текст : электронный // Рамблер : [сайт]. — URL: <https://finance.rambler.ru/economics/51807617-novak-prognoziruuet-snizhenie-doli-uglya-v-energobalanse-rf-do-6-7-k-2050-godu/> (дата обращения 31.11.2023).

**27. Петросян, М. О.** Методы многокритериального анализа решений / М. О. Петросян, П. В. Зеленков, И. В. Ковалев, С. В. Ефремова // Решетневские чтения. 2016. – №20 – р. 76-77.

**28. Производство водорода в России.** — Текст : электронный // TAdviser : [сайт]. — URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Производство\\_водорода\\_в\\_России](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Производство_водорода_в_России) (дата обращения: 01.12.2023).

**29. Рамочная классификация ресурсов Организации Объединенных Наций Обновленный вариант 2019 года** // ЕЭК ООН: [сайт]. – URL: [https://unesc.org/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/publ/1922546\\_R\\_ECE\\_ENERGY\\_125\\_WEB.pdf](https://unesc.org/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/publ/1922546_R_ECE_ENERGY_125_WEB.pdf) (дата обращения: 05.05.2023).

**30. Распоряжение Правительства РФ : Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации от 05.08.2021 №136-ФЗ** // Правительство России : [сайт]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsex1.pdf> (дата обращения 01.03.2023).

**31. Рассел, Д.** Нефтяной кризис 1973 / Д. Рассел. – Москва : Книга по Требованию, 2013. – 105 с. – ISBN: 978-5-5095-3377-8.

**32. «Росатом» планирует построить 15 плавучих АЭС в Арктике.** — Текст : электронный // Таймырский телеграф : [сайт]. — URL: <https://www.ttelegraf.ru/news/rosatom-planiruet-postroit-15-plavuchih-aes-v-arktike/> (дата обращения: 13.09.2023).



33. **Рязанова, М. О.** Экономические аспекты энергетической безопасности стран БРИКС : дис. на соиск. учен. степ. канд. эконом. наук : 08.00.14 / Рязанова Марина Олеговна ; МГИМО. – Москва, 2017. – 228 с.
34. **Саати, Т. Л.** Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати. – Москва : Радио и связь, 1989. – 316 с.
35. **Саввин, М. И.** Геоэкологическая оценка влияния предприятий теплоэнергетики на природную среду (на примере Сахалинской ГРЭС-2) : дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук : 25.00.36 / Саввин Максим Игоревич ; Гос. ун-т. по землеустройству. – Москва, 2021. – 143 с.
36. **Сахалинский губернатор заявил о желании датской компании арендовать часть одного из Курильских островов.** — Текст : электронный // Репортёр : [сайт]. — URL: <https://topcor.ru/22977-sahalinskij-gubernator-zajavil-o-zhelanii-datskoj-kompanii-arendovat-chast-odnogo-iz-kurilskih-ostrovov.html> (дата обращения 01.11.2023).
37. **Соколов, А. А.** Гидрография СССР / А. А. Соколов. – Ленинград : Гиддрометеоиздат, 1952. – 287 с.
38. **Солиман, Х.** Использование нечеткой логики в среде ГИС для выбора местоположения ветряных электростанций на примере провинции Хомс, Сирия / Х. Солиман, В. Г. Бурлов, Д. А. Украинцева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 11(125). – С. 1-13.
39. **Фоменко, И.** Применение метода анализа иерархий при региональной оценке оползневой опасности (на примере района северо-западный Лаокай, Вьетнам) / И. Фоменко, Ч. К. Нгуен, В. В. Пендин [и др.] // Геоинформатика. – 2017. – № 2. – С. 53-66.
40. **Ядутов, В. В.** Воздействие ТЭС на окружающую среду / В. В. Ядутов, Т. И. Петров, Ю. Н. Зацаринная // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 19. – С. 78-79.
41. **A comprehensive and science-based terminology, classification and taxonomy for hydrogen** // Economic Commission for Europe: [сайт]. – URL:

[https://unece.org/sites/default/files/2022-08/ECE\\_ENERGY\\_\\_8e.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2022-08/ECE_ENERGY__8e.pdf) (дата обращения: 02.05.2023).

42. **Aghaloo, K.** Optimal site selection for the solar-wind hybrid renewable energy systems in Bangladesh using an integrated GIS-based BWM-fuzzy logic method / K. Aghaloo, T. Ali, Y-R. Chiu, A. Sharifi – DOI 10.1016/j.enconman.2023.116899 // Energy Conversion and Management. – 2023 – Vol. 283 – 116899 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890423002455?via%3Dihub> (дата обращения: 09.11.2023).

43. **Ahadi, P.** Optimal site selection for a solar power plant in Iran via the Analytic Hierarchy Process (AHP) / P. Ahadi, F. Fakhrabadi, A. Pourshaghaghay, F. Kowsary – DOI 10.1016/j.renene.2023.118944 // Renewable Energy. – 2023 – Vol. 215 – 118944 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148123008509?via%3Dihub> (дата обращения: 25.12.2023).

44. **Ajanovic, A.** The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen / A. Ajanovic, M. Sayer, R. Haas. – DOI 10.1016/j.ijhydene.2022.02.094 // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47, № 57. – p. 24136-24154 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319922007066> (дата обращения: 17.08.2023).

45. **Al Garni, H. Z.** Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia / H. Z. Al Garni, A. Awasthi – DOI 10.1016/j.apenergy.2017.10.024 // Applied Energy. – 2017. – Vol. 205 – p. 1225-1240 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191731437X?via%3Dihub> (дата обращения: 26.10.2023).

46. **Albraheem, L.** Geospatial analysis of wind energy plant in Saudi Arabia using a GIS-AHP technique / L. Albraheem, L. AlAwlaqi – DOI 10.1016/j.egy.2023.05.032 // Energy Reports. – 2023 – Vol. 9 – p. 5878-5898 – URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723007746?via%3Dihub>  
(дата обращения: 18.01.2023).

47. **Ali, S. W.** How Do Nuclear and Renewable Energy Effects the Environment? A Case Study of Pakistan / S. W. Ali, S. Khalid – DOI 10.52131/jee.2023.0401.0031 // Journal of Energy and Environment. – 2023. – Vol. 4, №1 – p. 1-15 – URL: <https://internationalrasd.org/journals/index.php/jee/article/view/1469> (дата обращения: 17.09.2023).

48. **Alternative energy.** - Текст : электронный // Oxford Learners Dictionaries. – 2023. – URL: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/us/definition/english/alternative-energy>  
(дата обращения: 25.03.2023).

49. **Aly, A.** Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis / A. Aly, S. S. Jensen, A. B. Pedersen – DOI 10.1016/j.renene.2017.05.077 // Renewable Energy. – 2017 – Vol. 113 – p. 159-175 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117304718?via%3Dihub>  
(дата обращения: 06.12.2023).

50. **Amrani, S.** An AHP-GIS combination for site suitability analysis of hydrogen production units from CSP &PV solar power plants in Morocco / S. Amrani, A. A. Merrouni, S. Touili, H. A. L. Ouali [et al.]. – DOI 10.1016/j.ijhydene.2023.12.165 // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024 – Vol. 56 – p. 369-382 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319923064650?via%3Dihub>  
(дата обращения: 10.01.2024).

51. **Anwarzai, M. A.** Research and analysis of Afghanistan's wind,solar,and geothermal resources potential : PhD Dissertation for the deg. of PhD / Anwarzai Mohammad Abed; Tokyo University of Agriculture and Technology. – Tokyo, Japan, 2018. – 158 p.

52. **Arcos, J.M.M.** The Hydrogen Color Spectrum: Techno-Economic Analysis of the Available Technologies for Hydrogen Production / J.M.M. Arcos, D.M.F. Santos. –

DOI 10.3390/gases3010002 // Gases. – 2023. – Vol. 3, № 1. – p. 25-46 – URL: <https://www.mdpi.com/2673-5628/3/1/2> (дата обращения: 07.04.2023).

53. **Asare-Addo, M.** Optimal techno-economic potential and site evaluation for solar PV and CSP systems in Ghana. A geospatial AHP multi-criteria approach / M. Asare-Addo – DOI 10.1016/j.ref.2022.03.007 // Renewable Energy Focus. – 2022 – Vol. 41 – p. 216-229 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755008422000254?via%3Dihub> (дата обращения: 20.12.2023).

54. **Ayodele, T. R.** A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria / T. R. Ayodele, A. S. O. Ogunjuigbe, O. Odigie, J. L. Munda – DOI 10.1016/j.apenergy.2018.07.051 // Applied Energy. – 2018 – Vol. 228 – p. 1853-1869 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191831078X?via%3Dihub> (дата обращения: 08.11.2023).

55. **Badi, I.** Wind farm site selection using BWM-AHP-MARCOS method: A case study of Libya / I. Badi, D. Pamucar, Z. Stevic, L. J. Muhammad – DOI 10.1016/j.sciaf.2022.e01511 // Scientific African. – 2023 – Vol. 19 – e01511 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246822762200415X?via%3Dihub> (дата обращения: 09.11.2023).

56. **Baek, J.** Do nuclear and renewable energy improve the environment? Empirical evidence from the United States / J. Baek – DOI 10.1016/j.ecolind.2016.01.059 // Ecological Indicators. – 2016. – Vol. 66 – p. 352-356 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16300139> (дата обращения: 29.08.2023).

57. **Barash, D. P.** Costa Rica's peace dividend: How abolishing the military paid off / D. P. Barash. — Текст : электронный // Los Angeles Times : [сайт]. — URL: <https://www.latimes.com/opinion/la-xpm-2013-dec-15-la-oe-barash-costa-rica-demilitarization-20131208-story.html> (дата обращения: 01.08.2023).

58. **Barthelmie, R.** Meteorological aspects of offshore wind energy: observations from the Vindeby Wind Farm / R. Barthelmie, M. Courtney, J. Højstrup, S. Larsen – DOI 10.1016/S0167-6105(96)00077-3 // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1996. – Vol. 62, № 2-3. – p. 191-211 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610596000773> (дата обращения: 11.04.2023).

59. **Barzehkar, M.** Decision support tools for wind and solar farm site selection in Isfahan Province, Iran / M. Barzehkar, K. E. Parnell, N. M. Dinan, G. Brodie – DOI 10.1007/s10098-020-01978-w // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017 – Vol. 23 – p. 1179-1195 – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-020-01978-w> (дата обращения: 08.12.2023).

60. **Baseer, M. A.** GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi Arabia / M. A. Baseer, S. Rehman, J. P. Meyer, Md. M. Alam – DOI 10.1016/j.energy.2017.10.016 // Energy. – 2017 – Vol. 141 – p. 1166-1176 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217316857?via%3Dihub> (дата обращения: 26.12.2023).

61. **Basic Hydrogen Strategy.** / Japan : Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues, 2017. – 37 p.

62. **Birsic, R. J.** The Philippines geothermal success story / R. J. Birsic // Geothermal Energy. – 1980. – Vol. 8 – p. 35-44.

63. **Bistline, J.** The economic geography of variable renewable energy and impacts of trade formulations for renewable mandates / J. Bistline, N. Santen, D. Young – DOI 10.1016/j.rser.2019.02.026 // Energy Strategy Reviews. – 2019 – Vol. 38 – p. 79-96 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119301194?via%3Dihub> (дата обращения: 01.10.2023).

64. **Boutahir, M. K.** Effect of Feature Selection on the Prediction of Direct Normal Irradiance / M. K. Boutahir, Y. Farhaoui, M. Azrour, I. Zeroual [et al.]. – DOI 10.26599/BDMA.2022.9020003 // Big Data Mining and Analytics. – 2022 – Vol. 5(4) –

р. 309-317 – URL: <https://www.sciopen.com/article/10.26599/BDMA.2022.9020003>  
(дата обращения: 04.12.2023).

65. **Butler, L.** Comparison of feed-in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development / L. Butler, K. Neuhoff – DOI 10.1016/j.renene.2007.10.008 // Renewable Energy. – 2008. – Vol. 33, № 8. – p. 1854-1867 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148107003242>  
(дата обращения: 11.04.2023).

66. **Callens, J.** Achieving Net-Zero by 2050, BloombergNEF’s Green Scenario: New Energy Outlook 2021. / J. Callens. — Текст : электронный // BloombergNEF : [сайт]. — URL: <https://about.bnef.com/blog/achieving-net-zero-by-2050-bloombergnefs-green-scenario-new-energy-outlook-2021/> (дата обращения: 14.11.2023).

67. **Carneiro, C.** Assessment of solar irradiance on the urban fabric for the production of renewable energy using LIDAR data and image processing techniques // Proceedings of the 12<sup>th</sup> AGILE Conference, 2009 – Berlin; Heidelberg, German. – p. 83-112.

68. **Catita, C.** Extending solar potential analysis in buildings to vertical facades / C. Catita, P. Redweik, J. Pereira, M. C. Brito – DOI 10.1016/j.cageo.2014.01.002 // Computers & Geosciences. – 2014 – Vol. 66 – p. 1-12 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300414000053> (дата обращения: 19.12.2023).

69. **CCPI 2024: Ranking and Results.** — Текст : электронный // CCPI : [сайт]. — URL: <https://ccpi.org/> (дата обращения 16.01.2024).

70. **Cekirge, H. M.** Modified Levelized Cost of Electricity or Energy, MLOCE and Modified Levelized Avoidable Cost of Electricity or Energy, MLACE and Decision Making / H. M. Cekirge, S. Erturan – DOI 10.11648/j.ajme.20190501.11 // American Journal of Modern Energy. – 2019 – Vol. 5, №1 – p. 1-4 – URL: <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/ajme.20190501.11> (дата обращения: 01.10.2023).

71. **Cetin, I. I.** Potential Impacts of Climate Change on Wind Energy Resources in Turkey : Thesis for: Ph.D / Irem Isik Cetin ; Middle East Technical University. – Ankara, Turkey, 2023. – 253 p.

72. **Charabi, Y.** PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation / Y. Charabi, A. Gastli – DOI 10.1016/j.renene.2010.10.037 // Renewable Energy. – 2011 – Vol. 36, №9 – p. 2554-2561 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111000760> (дата обращения: 23.11.2023).

73. **Charles Fritts.** — Текст : электронный // Britannica : [сайт]. — URL: <https://www.britannica.com/biography/Charles-Fritts> (дата обращения: 29.06.2023).

74. **Coelingh, J. P.** Comparing Wind Speeds on the North Sea Coast and Offshore / J. P. Coelingh // Wind Engineering. – 1997. – Vol. 21, № 5. – p. 307-318 – URL: <http://www.jstor.org/stable/43749653> (дата обращения: 03.08.2023).

75. **Collins, L.** Italy allocates €300m to new hydrogen trains and associated green H2 projects. / L. Collins. — Текст : электронный // Hydrogen insight : [сайт]. — URL: <https://www.hydrogeninsight.com/transport/italy-allocates-300m-to-new-hydrogen-trains-and-associated-green-h2-projects/2-1-1431505> (дата обращения: 01.10.2023).

76. **Coro, G.** Predicting geographical suitability of geothermal power plants / G. Coro, E. Trumphy – DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121874 // Journal of Cleaner Production. – 2020 – Vol. 267 – 121874 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620319211> (дата обращения: 09.11.2023).

77. **Costa-Rica.** — Текст : электронный // IEA : [сайт]. — URL: <https://www.iea.org/countries/costa-rica> (дата обращения: 27.08.2023).

78. **Cunden, T. S. M.** Multi-level constraints wind farms siting for a complex terrain in a tropical region using MCDM approach coupled with GIS / T. S. M. Cunden, J. Doorga, M. R. Lollchund, S. D. D. V. Rughooputh – DOI 10.1016/j.energy.2020.118533 // Energy. – 2020 – Vol. 211 – 118533 – URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220316418?via%3Dihub>  
(дата обращения: 23.12.2023).

79. **Doljak, D.** Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia / D. Doljak, G. Stanojevic – DOI 10.1016/j.energy.2017.03.140 // Energy. – 2017. – Vol. 127 – p. 291-300 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217305339> (дата обращения: 25.10.2023).

80. **Doorga, J. R. S.** Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius / J. R. S. Doorga, S. D. D. V. Rughooputh, R. Boojhawon – DOI 10.1016/j.renene.2018.08.105 // Renewable Energy. – 2019 – Vol. 133 – p. 1201-1219 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118310553?via%3Dihub> (дата обращения: 18.11.2023).

81. **Dubayah, R.** Topographic Solar Radiation Models for GIS / R. Dubayah, P. M. Rich – DOI 10.1080/02693799508902046 // International Journal of Geographical Information Systems. – 1995 – Vol. 9, №4 – p. 405-419 – URL: [https://www.researchgate.net/publication/220650159\\_Topographic\\_Solar\\_Radiation\\_Models\\_for\\_GIS](https://www.researchgate.net/publication/220650159_Topographic_Solar_Radiation_Models_for_GIS) (дата обращения: 19.12.2023).

82. **Dzikuc, M.** The analysis of the innovative potential of the energy sector and low-carbon development: A case study for Poland / M. Dzikuc, J. Gorqczkowska, A. Piwowar, M. Dzikuc [et al.]. – DOI 10.1016/j.esr.2021.100769 // Energy Strategy Reviews. – 2021 – Vol. 38 – 100769 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X2100153X?via%3Dihub> (дата обращения: 01.10.2023).

83. **Effat, H. A.** Geospatial modeling for selection of optimum sites for hybrid solar-wind energy in Assiut Governorate, Egypt / H. A. Effat, A. M. El-Zeiny – DOI 10.1016/j.ejrs.2022.03.005 // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. – 2022. – Vol. 25, №2 – p. 627-637 – URL:



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982322000345?via%3Dihub>  
(дата обращения: 18.06.2023).

84. **Effat, H. A.** Spatial Modeling of Optimum Zones for Wind Farms Using Remote Sensing and Geographic Information System, Application in the Red Sea, Egypt / H. A. Effat – DOI 10.4236/jgis.2014.64032 // Journal of Geographic Information System. – 2014 – Vol. 6, №4 – p. 358-374 – URL:

<https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=49075> (дата обращения: 18.12.2023).

85. **Elboshy, B.** A suitability mapping for the PV solar farms in Egypt based on GIS-AHP to optimize multi-criteria feasibility / B. Elboshy, M. Alwetaishi, R. M. H. Aly, A. S. Zalhaf – DOI 10.1016/j.asej.2021.10.013 // Ain Shams Engineering Journal. – 2022 – Vol. 13(3) – 101618 – URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209044792100383X?via%3Dihub>  
(дата обращения: 20.10.2023).

86. **European Union** : A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe from 08.07.2020 № 52020DC0301 // EUR-Lex : [сайт]. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52020DC0301> (дата обращения: 20.12.2022).

87. **Fang, B.** A GIS-Multicriteria Approach to Analyzing Noise and Visual Impacts of Wind Farms : thesis for the deg. of Master of Envir. stud. / Fang Bihui; Univ. of Waterloo. – Ottawa, Ontario, Canada, 2015. – 165 p.

88. **Fard, M. B.** Ground-mounted photovoltaic power station site selection and economic analysis based on a hybrid fuzzy best-worst method and geographic information system: A case study Guilan province / M. B. Fard, P. Moradian, M. Emarati, M. Ebadi [et al.]. – DOI 10.1016/j.rser.2022.112923 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022 – Vol. 169 – 112923 – URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122008048?via%3Dihub>  
(дата обращения: 23.11.2023).

89. **Fournier, A.** Impacts of climate change on wind energy potential in Australasia and South-East Asia following the Shared Socioeconomic Pathways / A. Fournier, A. Martinez, G. Iglesias – DOI 10.1016/j.scitotenv.2023.163347 // Science of The Total Environment. – 2023. – Vol. 882 – 163347 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723019666> (дата обращения: 08.10.2023).

90. **France.** — Текст : электронный // IEA : [сайт]. — URL: <https://www.iea.org/countries/france> (дата обращения: 17.06.2023).

91. **Freitas, S.** Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review / S. Freitas, C. Catita, P. Redweik, M. C. Brito – DOI 10.1016/j.rser.2014.08.060 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015 – Vol. 41 – p. 915-931 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114007461> (дата обращения: 20.11.2023).

92. **Garbuglia, E.** Exploitation of Marine Current Energy / E. Garbuglia, A. D. Rosa, D. Berti // Offshore Technology Conference (May 03, 1993) – Houston, Texas, USA. OTC-7133-MS.

93. **Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor.** / Abu Dhabi, UAE : IRENA, 2022. – 118 p. – ISBN 978-92-9260-370-0

94. **Gerbo, A.** GIS-based approach for modeling grid-connected solar power potential sites: a case study of East Shewa Zone, Ethiopia / A. Gerbo, K. V. Suryabhagavan, T. K. Raghuvanshi – DOI 10.1080/24749508.2020.1809059 // Geology, Ecology, and Landscapes. – 2022 – Vol. 6(3) – p. 159-173 – URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24749508.2020.1809059> (дата обращения: 30.12.2023).

95. **Germany.** — Текст : электронный // IEA : [сайт]. — URL: <https://www.iea.org/countries/germany> (дата обращения: 27.08.2023).

96. **Ghose, D.** Siting high solar potential areas using Q-GIS in West Bengal, India / D. Ghose, S. Naskar, Shabbiruddin, M. Sadeghzadeh [et al.]. – DOI 10.1016/j.seta.2020.100864 // Sustainable Energy Technologies and Assessments. –

2020 – Vol. 42 – 100864 – URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138820312911?via%3Dihub>  
(дата обращения: 01.05.2023).

97. **Global Energy and Climate Model. Documentation - 2023.** / France : IEA Publications, 2023. – 118 p.

98. **Global Hydrogen Review 2023.** / France : IEA Publications, 2023. – 176 p.

99. **Global Photovoltaic Power Potential by Country.** / Washington DC., USA : The World Bank, 2020. – 62 p.

100. **Global Solar Atlas.** — Текст : электронный // Global Solar Atlas : [сайт]. — URL: <https://globalsolaratlas.info/> (дата обращения 01.12.2023).

101. **Global Wind Atlas.** — Текст : электронный // Global Wind Atlas : [сайт]. — URL: <https://globalwindatlas.info/ru> (дата обращения: 25.10.2023).

102. **Goodchild, M. F.** GIS and environmental modeling : progress and research issues / M. F. Goodchild. – Fort Collins, CO: GIS World Books, 1996. – 486 p. – ISBN: 1882610113

103. **Green hydrogen cost reduction. Scaling up electrolyzers to meet the 1.5°C climate goal.** / Abu Dhabi, UAE : IRENA, 2020. – 106 p. – ISBN: 978-92-9260-295-6

104. **Gunen, M. A.** A comprehensive framework based on GIS-AHP for the installation of solar PV farms in Kahramanmaraş, Turkey / M. A. Gunen – DOI 10.1016/j.renene.2021.06.078 // Renewable Energy. – 2021 – Vol. 178 – p. 212-225 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148121009435?via%3Dihub> (дата обращения: 06.12.2023).

105. **Hofierka, J.** A New 3-D Solar Radiation Model for 3-D City Models / J. Hofierka, M. Zlocha – DOI 10.1111/j.1467-9671.2012.01337.x // Transactions in GIS. – 2012 – Vol. 16, №5 – p. 681-690 – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9671.2012.01337.x> (дата обращения: 20.11.2023).

106. **Hooshangi, N.** Evaluation of potential sites in Iran to localize solar farms using a GIS-based Fermatean Fuzzy TOPSIS / N. Hooshangi, N. M. Gharakhanlou, S. R. G. Razin – DOI 10.1016/j.renene.2023.118944 // Journal of Cleaner Production. – 2023 – Vol. 215 – 135481 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622050557?via%3Dihub> (дата обращения: 25.12.2023).
107. **Hren, R.** Hydrogen production, storage and transport for renewable energy and chemicals: An environmental footprint assessment / R. Hren, A. Vujanovic, Y.V. Fan, J.J. Klemes, [et al.]. – DOI 10.1016/j.rser.2022.113113 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2023. – Vol. 173. – 113113 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122009947> (дата обращения: 14.09.2023).
108. **Huang, C.** Analysis of the effect of slope on the power characteristics of wind turbines in hillside terrain / C. Huang, J. Yan, D. Zhang, Y. Zhong – DOI 10.1016/j.egyr.2022.10.074 // Energy Reports. – 2022 – Vol. 8 – p. 352-361 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722020091?via%3Dihub> (дата обращения: 23.12.2023).
109. **Huld, T.** Estimating PV Module Performance over Large Geographical Regions: The Role of Irradiance, Air Temperature, Wind Speed and Solar Spectrum / T. Huld, A. M. G. Amillo – DOI 10.3390/en8065159 // Energies. – 2015 – Vol. 8(6) – p. 5159-5181 – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/8/6/5159> (дата обращения: 18.12.2023).
110. **Hydrogen explained.** — Текст : электронный // EIA : [сайт]. — URL: <https://www.eia.gov/energyexplained/hydrogen/use-of-hydrogen.php> (дата обращения: 13.11.2023).
111. **Hydrogen Production: Thermochemical Water Splitting.** — Текст : электронный // Office of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY : [сайт]. — URL: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-thermochemical-water-splitting> (дата обращения: 10.06.2023).

112. **Hydrogen: A Clean, Flexible Energy Carrier.** – Текст : электронный // Office of Energy Efficiency & Renewable Energy : [сайт]. – URL: <https://www.energy.gov/eere/articles/hydrogen-clean-flexible-energy-carrier> (дата обращения: 05.06.2023).
113. **Installed wind power & generation.** — Текст : электронный // AEE : [сайт]. – URL: <https://aeeolica.org/en/about-wind-energy/installed-wind-power-generation/> (дата обращения: 15.07.2023).
114. **International Hydrogen Strategies.** — Текст : электронный // World Energy Council : [сайт]. — URL: <https://www.weltenergierat.de/publikationen/studien/international-hydrogen-strategies/?cn-reloaded=1> (дата обращения: 10.10.2023).
115. **Islam, M. R.** Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach / M. R. Islam, M. T. Aziz, M. Alauddin, Z. Kader [et al.]. – DOI 10.1016/j.renene.2023.119595 // Renewable Energy. – 2024 – Vol. 220 – 119595 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148123015100?via%3Dihub> (дата обращения: 01.02.2024).
116. **Ivanova, A.** Masdar kicks off 1-GW solar project in Iraq. / A. Ivanova. — Текст : электронный // Renewables Now : [сайт]. — URL: <https://renewablesnow.com/news/masdar-kicks-off-1-gw-solar-project-in-iraq-789544/> (дата обращения: 20.09.2023).
117. **Izquierdo, S.** A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations / S. Izquierdo, M. Rodriques, N. Fueyo – DOI 10.1016/j.solener.2008.03.007 // Solar Energy. – 2008 – Vol. 82 (10) – p. 929-939 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X08000625?via%3Dihub> (дата обращения: 18.12.2023).

118. **Janke, J. R.** Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado / J. R. Janke – DOI 10.1016/j.renene.2010.03.014 // Renewable Energy. – 2010 – Vol. 35, №10 – p. 2228-2234 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811000131X?via%3Dihub> (дата обращения: 21.10.2023).
119. **Jbaihi, O.** An AHP-GIS based site suitability analysis for integrating large-scale hybrid CSP+PV plants in Morocco: An approach to address the intermittency of solar energy / O. Jbaihi, F-Z. Ouchani, A. A. Merrouni, M. Cherkaoui [et al.]. – DOI 10.1016/j.jclepro.2022.133250 // Journal of Cleaner Production. – 2022 – Vol. 369 – 133250 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622028372?via%3Dihub> (дата обращения: 25.12.2023).
120. **Kaname, I.** Renewable Energy and Energy Storage Systems / Kaname I. – 10.1088/0029-5515/50/1/014002 // Nuclear Fusion. – 2009. – Vol. 50, № 1. – 014002. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0029-5515/50/1/014002> (дата обращения: 05.08.2023).
121. **Kavan, J.** Estimating Suspended Sediment Fluxes from the Largest Glacial Lake in Svalbard to Fjord System Using Sentinel-2 Data: Trebrevatnet Case Study / J. Kavan, I. Wieczorek, G.D. Tallentire, M. Demidionov [et al.]. // Water (MDPI). — 2022. — Vol. 14(12). — p. 1-14.
122. **Kavan, J.** Fifty Years of Tidewater Glacier Surface Elevation and Retreat Dynamics along the South-East Coast of Spitsbergen (Svalbard Archipelago) / J. Kavan, G.D. Tallentire, M. Demidionov, J. Dudek [et al.]. // Remote Sensing (MDPI). — 2022. — Vol. 14(354). — . 1-16.
123. **Kawazoe, S.** Geothermal Japan / S. Kawazoe. — Текст : электронный // International Geothermal Development : [сайт]. — URL: <https://web.archive.org/web/20151106003955/http://www.geothermal.org/PDFs/Articles/GeoJapan.pdf> (дата обращения: 26.04.2023).

124. **Kumar, L.** Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment / L. Kumar, A. K. Skidmore, E. Knowles – DOI 10.1080/136588197242266 // International Journal of Geographical Information Science. – 2001 – Vol. 11, №5 – p. 475-497 – URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/136588197242266> (дата обращения: 20.11.2023).
125. **Lazard LCOE+ Report.** — Текст : электронный // Lazard : [сайт]. — URL: <https://www.lazard.com/media/nltb551p/lazards-lcoeplus-april-2023.pdf> (дата обращения: 09.08.2023).
126. **Levelised Cost of Electricity Calculator.** — Текст : электронный // NEA : [сайт]. — URL: <https://www.oecd-nea.org/lcoe/> (дата обращения: 03.09.2023).
127. **Li, D.** Historical Evaluation and Future Projections of 100-m Wind Energy Potentials Over CORDEX-East Asia / D. Li, J. Feng, A. Dosio, J. Qi [et al.]. – DOI 10.1029/2020JD032874 // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2020. – Vol. 125, №15 – p. 1-18 – URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JD032874> (дата обращения: 10.10.2023).
128. **Liang, J.** An open-source 3D solar radiation model integrated with a 3D Geographic Information System / J. Liang, J. Gong, J. Zhou, A. N. Ibrahim [et al.]. – DOI 10.1016/j.envsoft.2014.11.019 // Environmental Modelling & Software. – 2015 – Vol. 64 – p. 94-101 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815214003454> (дата обращения: 20.11.2023).
129. **Liddle, B.** How much does increasing non-fossil fuels in electricity generation reduce carbon dioxide emissions? / B. Liddle, P. Sadorsky – DOI 10.1016/j.apenergy.2017.04.025 // Applied Energy. – 2017. – Vol. 197 – p. 212-221 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917304154> (дата обращения: 30.08.2023).

130. **Lu, X.** Global potential for wind-generated electricity / X. Lu, B. McElroy, J. Kiviluoma – DOI 10.1073/pnas.0904101106 // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2009 – Vol. 106 (27) – p. 10933-10938 – URL: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0904101106> (дата обращения: 06.10.2023).
131. **MacKinnon, D.** Technology legitimation and strategic coupling: A cross-national study of floating wind power in Norway and Scotland / D. MacKinnon, S. Afewerki, A. Karlsen – DOI 10.1016/j.geoforum.2022.07.008 // Geoforum. – 2022. – Vol. 135. – p. 1-11 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016718522001439?via%3Dihub> (дата обращения: 15.08.2023).
132. **Mani, A.** Wind Energy Resource Survey in India / A. Mani. – New Delhi, India : Allied Publishers Limited, 1995. – 185 p. – ISBN 81-7023-297-X.
133. **Merrouni, A. A.** A GIS-AHP combination for the sites assessment of large-scale CSP plants with dry and wet cooling systems. Case study: Eastern Morocco / A. A. Merrouni, F. E. Elalaoui, A. Ghennioui, A. Mezrhab [et al.]. – DOI 10.1016/j.solener.2018.03.038 // Solar Energy. – 2018 – Vol. 166 – p. 2-12 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18302706> (дата обращения: 30.11.2023).
134. **MODIS Land Cover Type/Dynamics.** — Текст : электронный // MODIS : [сайт]. — URL: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod12.php> (дата обращения: 27.10.2023).
135. **Moe V.I.** Floating Turbine Captures Wind Energy in Deep-Water Environment / V. I. Moe // Welding journal. – 2010. – Vol. 89 – p. 54-58.
136. **Monforti, F.** How synchronous is wind energy production among European countries? / F. Monforti, M. Gaetani, E. Vignati – DOI 10.1016/j.rser.2015.12.318 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016 – Vol. 59 – p. 1622-1638 – URL:



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115017013> (дата обращения: 22.12.2023).

137. **Moradi, S.** Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran / S. Moradi, H. Yousefi, Y. Noorollahi, D. Rosso – DOI 10.1016/j.esr.2020.100478 // Energy Strategy Reviews. – 2020 – Vol. 29 – 100478 – URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X20300328?via%3Dihub> (дата обращения: 26.12.2023).

138. **Nicolas Hulot annonce son plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique.** — Текст : электронный // Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires : [сайт]. — URL:

<https://www.ecologie.gouv.fr/nicolas-hulot-annonce-plan-deploiement-lhydrogene-transition-energetique> (дата обращения: 22.10.2023).

139. **Noorollahi, Y.** A framework for GIS-based site selection and technical potential evaluation of PV solar farm using Fuzzy-Boolean logic and AHP multi-criteria decision-making approach / Y. Noorollahi, A. G. Senani, A. Fadaei, M. Simaee [et al.]. – DOI 10.1016/j.renene.2021.12.124 // Renewable Energy. – 2022 – Vol. 186 – p. 89-104 – URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148121018516?via%3Dihub> (дата обращения: 08.11.2023).

140. **Olsen, F.** Vindeby Off-Shore Wind Farm - Construction and Operation / F. Olsen, K. Dyre // Wind Engineering. – 1993. – Vol. 17, № 3. – p. 120-128 – URL: <http://www.jstor.org/stable/43749506> (дата обращения: 03.08.2023).

141. **Papers of James Blyth.** – Текст : электронный // University of Strathclyde : [сайт]. – URL:

<https://www.strath.ac.uk/professionalservices/library/researchrevise/collections/archives/specialcollections/items/papersofjamesblyth/> (дата обращения: 26.02.2024).

142. **Patel, S.** Lesson Number 1. in an Oklahoma Wind Power Tutorial Series Calculation of Wind Energy and Power. / S. Patel. — Текст : электронный //

Academia : [сайт]. — URL:

[https://www.academia.edu/8211473/Lesson\\_Number\\_1\\_in\\_an\\_Oklahoma\\_Wind\\_Power\\_Tutorial\\_Series\\_Calculation\\_of\\_Wind\\_Energy\\_and\\_Power](https://www.academia.edu/8211473/Lesson_Number_1_in_an_Oklahoma_Wind_Power_Tutorial_Series_Calculation_of_Wind_Energy_and_Power) (дата обращения:

21.09.2023).

143. **Pelc, R.** Renewable energy from the ocean / R. Pelc, R. M. Fujita – DOI 10.1016/S0308-597X(02)00045-3 // *Marine Policy*. – 2002. – Vol. 26, № 6. – p. 471-479 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X02000453> (дата обращения: 18.07.2023).

144. **Prol-Ledesma, R. M.** Heat flow and geothermal provinces in Mexico / R. M. Prol-Ledesma, D. J. Moran-Zenteno – DOI 10.1016/j.geothermics.2018.12.009 // *Geothermics*. – 2019. – Vol. 78 – p. 183-200 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375650518302189> (дата обращения: 11.07.2023).

145. **Raza, M. A.** Geospatial analysis of wind energy plant in Saudi Arabia using a GIS-AHP technique / M. A. Raza, M. Yousif, M. Hassan, M. Numan [et al.]. – DOI 10.1016/j.renene.2023.02.010 // *Renewable Energy*. – 2023 – Vol. 206 – p. 180-190 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148123001520?via%3Dihub> (дата обращения: 18.08.2023).

146. **Reginato, V. S. C.** Geographic modelling of wind and solar energy potential / V. S. C. Reginato, R. P. Juliao – DOI 10.1590/s1982-21702019000300019 // *Bulletin of Geodetic Sciences*. – 2019. – Vol. 25, №3 – p. 1-25 – URL: <https://www.scielo.br/j/bcg/a/PJMTRQJM8RcSJT9qM3NC96n/?format=pdf> (дата обращения: 18.06.2023).

147. **Rekik, S.** Optimal wind-solar site selection using a GIS-AHP based approach: A case of Tunisia / S. Rekik, S. El Alimi – DOI 10.1016/j.ecmx.2023.100355 // *Energy Conversion and Management: X*. – 2023 – Vol. 18 – 100355 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174523000119?via%3Dihub> (дата обращения: 18.12.2023).

148. **Richardson, W.** Validation of All-Sky Imager Technology and Solar Irradiance Forecasting at Three Locations: NREL, San Antonio, Texas, and the Canary Islands, Spain / W. Richardson, D. Canadillas, A. Moncada, R. Guerrero [et al.]. – DOI 10.3390/app9040684 // Applied Sciences. – 2019 – Vol. 9(4) – 684 – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/4/684> (дата обращения: 01.12.2023).
149. **Rios, R.** Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through Analytical Hierarchical Process – Geographic information systems (AHP-GIS) in Peru / R. Rios, S. Duarte – DOI 10.1016/j.rser.2021.111310 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021 – Vol. 149 – 111310 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121005979?via%3Dihub> (дата обращения: 02.12.2023).
150. **Romero-Ramos, J. A.** A GIS-AHP approach for determining the potential of solar energy to meet the thermal demand in southeastern Spain productive enclaves / J. A. Romero-Ramos, J. D. Gil, J. M. Cardemil, R. A. Escobar [et al.]. – DOI 10.1016/j.rser.2023.113205 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2023 – Vol. 176 – 113205 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123000618?via%3Dihub> (дата обращения: 25.12.2023).
151. **Ruiz, H. S.** GIS-AHP Multi Criteria Decision Analysis for the optimal location of solar energy plants at Indonesia / H. S. Ruiz, A. Sunarso, K. Ibrahim-Bathis, S. A. Murti [et al.]. – DOI 10.1016/j.egy.2020.11.198 // Energy Reports. – 2020 – Vol. 6 – p. 3249-3263 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484720316243?via%3Dihub> (дата обращения: 06.12.2023).
152. **Rumbayan, M.** Prioritization decision for renewable energy development using analytic hierarchy process and geographic information system. Advanced mechatronic systems (ICAMechS) // 2012 international conference on IEEE. – Tokyo, Japan, 2012. – p. 36-41.

153. **Sadat, S. A.** Barrier analysis of solar PV energy development in the context of Iran using fuzzy AHP-TOPSIS method / S. A. Sadat, M. V. Fini, H. Hashemi-Dezaki, M. Nazififard – DOI 10.1016/j.seta.2021.101549 // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2021 – Vol. 47 – 101549 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138821005634?via%3Dihub> (дата обращения: 24.12.2023).
154. **Sahoo, S.** Detailed spatial analysis of renewables' potential and heat: A study of Groningen Province in the northern Netherlands / S. Sahoo, C. Zuidema, J. N. P. van Stralen, J. Sijm [et al.]. – DOI 10.1016/j.apenergy.2022.119149 // Applied Energy. – 2022. – Vol. 318 – 119149– URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261922005244?via%3Dihub> (дата обращения: 20.10.2023).
155. **Sanchez-Lozano, J. M.** Evaluation of suitable locations for the installation of solar thermoelectric power plants / J. M. Sanchez-Lozano, M. S. Garcia-Cascales, M. T. Lamata – DOI 10.1016/j.cie.2015.05.028 // Computers & Industrial Engineering. – 2015 – Vol. 87 – p. 343-355 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036083521500251X> (дата обращения: 21.10.2023).
156. **Saprong, D.** Selecting Suitable Sites for Wind Energy Development in Ghana / D. Saprong, P. E. Baffoe // Ghana Mining Journal. – 2015. – Vol. 16, №1. – p. 8-20.
157. **Saxena, B. K.** Estimation of Wind Power Density at a Wind Farm Site Located in Western Rajasthan Region of India / B. K. Saxena, K. V. S. Rao – DOI 10.1016/j.protcy.2016.05.084 // Procedia Technology. – 2016. – Vol. 24 – p. 492-498 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316301736?via%3Dihub> (дата обращения: 10.09.2023).
158. **Sayed, E.** Renewable Energy and Energy Storage Systems / E. Sayed, A. Olabi, A. Alami, A. Radwan [et al.]. – DOI 10.3390/en16031415 // Energies. – 2023. –

Vol. 16, № 3. – 1415. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/3/1415> (дата обращения: 05.06.2023).

159. **Serrano, F.** How solar power has become a lifeline in Lebanon. / F. Serrano. — Текст : электронный // Al-Monitor : [сайт]. — URL: <https://www.al-monitor.com/pro/memos/how-solar-power-has-become-lifeline-lebanon> (дата обращения: 30.09.2023).

160. **Share of electricity production by source, World.** — Текст : электронный // Our World in Data : [сайт]. — URL: <https://ourworldindata.org/grapher/share-elec-by-source?time=2000..latest> (дата обращения: 14.11.2023).

161. **Sharp Solar Solution Asia.** — Текст : электронный // Sharp : [сайт]. — URL: [https://sssa.co.th/application/files/6016/3540/9520/SHARP\\_SOLAR\\_SOLUTION.pdf](https://sssa.co.th/application/files/6016/3540/9520/SHARP_SOLAR_SOLUTION.pdf) (дата обращения: 15.06.2023).

162. **Sindhu, S.** Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India / S. Sindhu, V. Nehra, S. Luthra – DOI 10.1016/j.renene.2010.10.037 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017 – Vol. 73 – p. 496-511 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117301405?via%3Dihub> (дата обращения: 23.11.2023).

163. **Soprun, L.A.** GIS Based Infrastructure Support for the Preservation and Transfer of Biomaterials / L.A. Soprun, V.K. Averyanov, A.A. Melezhik, M.Y. Demidionov [et al.]. // Ivanov, D., Panin, A., Sukhanova, I. (eds) Proceedings of ECSF 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022. — vol. 257. — P. 227-234.

164. **Spain.** — Текст : электронный // Global Wind Atlas : [сайт]. — URL: <https://globalwindatlas.info/en/area/Spain> (дата обращения: 15.07.2023).

165. **Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 to Renewable Energy Resources.** - Текст : электронный // Economic and Social

Council. United Nations. – 2016. – URL:

[https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC\\_specs/UNFC.RE\\_e.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC_specs/UNFC.RE_e.pdf)

(дата обращения: 24.03.2023).

166. **Spellman, F. R.** Environmental Impacts of Renewable Energy / F. R. Spellman. – 1-st ed. – Boca Raton : CRC Press, 2014. – 478 p. – ISBN 9780429076411

167. **Statistical review of world energy.** — Текст : электронный // British Petroleum : [сайт]. — URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (дата обращения: 25.08.2023).

168. **Statistics data.** — Текст : электронный // IRENA : [сайт]. — URL: <https://www.irena.org/Data> (дата обращения: 20.07.2023).

169. **Suri, M.** A New GIS-based Solar Radiation Model and Its Application to Photovoltaic Assessments / M. Suri, J. Hofierka – DOI 10.1111/j.1467-9671.2004.00174.x // Transactions in GIS. – 2004 – Vol. 8, №2 – p. 175-190 – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9671.2004.00174.x> (дата обращения: 20.11.2023).

170. **Tahri, M.** The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco / M. Tahri, M. Hakdaoui, M. Maanan – DOI 10.1016/j.rser.2015.07.054 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Vol. 51 – p. 1354-1362 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115007017> (дата обращения: 26.10.2023).

171. **Talinli, I.** et al. A holistic approach for wind farm site selection by FAHP / I. Talinli // Wind farm: technical regulations, potential estimation and siting assessment. InTech, Croatia. – 2011. – Т 3. – № 1. – С. 213-234.

172. **Taoufik, M.** A GIS-based multi-criteria decision-making approach for site suitability analysis of solar-powered hydrogen production in the Souss-Massa Region, Morocco / M. Taoufik, A. Fekri – DOI 10.1016/j.ref.2023.08.004 // Renewable Energy Focus. – 2023 – Vol. 46 – p. 385-401 – URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755008423000753?via%3Dihub>  
(дата обращения: 10.12.2023).

173. **Tazi, G.** Estimating the Renewable Energy Potential in Morocco: solar energy as a case study / G. Tazi, O. Jbaihi, A. Ghennioui, A. A. Merrouni [et al.]. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 161, International Conference on Renewable Energies and Energy Efficiency (REEE'2017) 8–9 November 2017 – Fez, Morocco. – p. 1-8.

174. **Tercan, E.** Land suitability assessment for wind farms through best-worst method and GIS in Balıkesir province of Turkey / E. Tercan – DOI 10.1016/j.seta.2021.101491 // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2021 – Vol. 47 – 101491 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138821005026?via%3Dihub>  
(дата обращения: 23.12.2023).

175. **The South African Energy Sector Report 2021.** / comp.: K. Ratshomo. – Pretoria : Department of Mineral Resources & Energy, 2021. – 36 p.

176. **Tiwari, G. N.** Renewable Energy Resources: Basic Principles and Applications / G. N. Tiwari, M. K. Ghosal. – Harrow, U.K. : Alpha Science International, 2005. – 649 p. – ISBN 1842651250.

177. **Torres-Rodriguez, V.** Geothermal Chart of Mexico scale 1:2,000,000 / V. Torres-Rodriguez // Proceedings World Geothermal Congress (May 28 – June 10, Japan). – Kyushu-Tohoku, Japan. – p. 1867-1870.

178. **Uranium 2020. Resources, Production and Demand** – Boulogne-Billancourt, France : OECD, 2020. – 484 p. – ISSN: 20725310

179. **Utah State Legislature** : Economic development incentives for alternative energy projects from 12.05.2009 № H.B.430 // Utah State Legislature : [сайт]. – URL: <https://le.utah.gov/~2009/bills/static/HB0430.html> (дата обращения: 10.01.2023).

180. **V150-4.2 MW.** — Текст : электронный // Vestas : [сайт]. — URL: <https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/V150-4-2-MW> (дата обращения: 14.10.2023).
181. **Vestas V150 4000/4200.** — Текст : электронный // The Wind Power : [сайт]. — URL: [https://www.thewindpower.net/turbine\\_en\\_1490\\_vestas\\_v150-4000-4200.php](https://www.thewindpower.net/turbine_en_1490_vestas_v150-4000-4200.php) (дата обращения: 23.11.2023).
182. **Vilanova, A.** Linear-Gompertz Model-Based Regression of Photovoltaic Power Generation by Satellite Imagery-Based Solar Irradiance / A. Vilanova, B-Y. Kim, C. K. Kim, H-G. Kim – DOI 10.3390/en13040781 // Energies. – 2020 – Vol. 13(4) – 781 – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/4/781> (дата обращения: 08.12.2023).
183. **Where Lightning Strikes.** — Текст : электронный // NASA : [сайт]. — URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/2002/where-lightning-strikes> (дата обращения: 24.09.2023).
184. **Which type of solar irradiation (DNI or GHI) should use for feasibility analysis of solar powered irrigation?** — Текст : электронный // ResearchGate : [сайт]. — URL: [https://www.researchgate.net/post/Which\\_type\\_of\\_solar\\_irradiation\\_DNI\\_or\\_GHI\\_should\\_use\\_for\\_feasibility\\_analysis\\_of\\_solar\\_powered\\_irrigation#:~:text=If%20you%20want%20to%20work,you%20must%20use%20GHI%20data](https://www.researchgate.net/post/Which_type_of_solar_irradiation_DNI_or_GHI_should_use_for_feasibility_analysis_of_solar_powered_irrigation#:~:text=If%20you%20want%20to%20work,you%20must%20use%20GHI%20data) (дата обращения: 27.12.2023).
185. **Wind as source in India.** — Текст : электронный // Current Science : [сайт]. — URL: [https://web.archive.org/web/20191205223252/https://www.currentscience.ac.in/Downloads/article\\_id\\_030\\_03\\_0095\\_0095\\_0.pdf](https://web.archive.org/web/20191205223252/https://www.currentscience.ac.in/Downloads/article_id_030_03_0095_0095_0.pdf) (дата обращения: 21.05.2023).
186. **Wind Data Sharing Policy (WDSP)-NIWE.** NATIONAL INSTITUTE OF WIND ENERGY CHENNAI-600100. ISO 9001:2008.



187. **Wind energy in India.** — Текст : электронный // INWEA : [сайт]. — URL: <http://www.inwea.org/wind-energy-in-india/wind-power-installation/> (дата обращения: 25.08.2023).
188. **World electricity production by energy source.** — Текст : электронный // Statista : [сайт]. — URL: <https://www.statista.com/statistics/269811/world-electricity-production-by-energy-source/> (дата обращения: 26.09.2023).
189. **World energy transitions outlook 2023: 1.5°C Pathway.** / Abu Dhabi, UAE : IRENA, 2023. – 258 p. – ISBN 978-92-9260-527-8
190. **Wu, W. H.** Comparing the Aggregation Methods in the Analytic Hierarchy Process When Uniform Distribution / W. H. Wu, C. T. Chiang, C. T. Lin // WSEAS Transactions on Business and Economics. – 2008. – № 5. – p. 82-87.
191. **Yan, J.** Design and implementation of a 38 kW dish-Stirling concentrated solar power system/ J. Yan, Y. D. Peng, Z. R. Cheng, F. M. Liu [et al.]. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 93, 2017 International Conference on New Energy and Future Energy System (NEFES 2017) 22–25 September 2017 – Kunming, China. – p. 1-14.
192. **Yu, M.** Insights into low-carbon hydrogen production methods: Green, blue and aqua hydrogen / M. Yu, K. Wang, H. Vredenburg. – DOI 10.1016/j.ijhydene.2021.04.016 // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – Vol. 46, № 41. – p. 21261-21273 – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921012684> (дата обращения: 14.07.2023).
193. **Zoghi, M.** Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN / M. Zoghi, A. H. Ehsani, M. Sadat, M. J. Amiri [et al.]. – DOI 10.1016/j.rser.2015.07.014 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017 – Vol. 68 (2) – p. 986-996 – URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115006619?via%3Dihub>  
(дата обращения: 18.12.2023).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица П2.1. Классификация стран и территорий по уровню развития ветровой энергетики (2005-2021 годы).

Название	2005 год	2010 год	2015 год	2021 год	Название	2005 год	2010 год	2015 год	2021 год	Название	2005 год	2010 год	2015 год	2021 год
Австралия	3	4	4	4	Испания	4	4	4	4	Перу	2	2	3	3
Австрия	3	3	3	3	Италия	4	4	4	4	Польша	3	3	4	4
Азербайджан	2	2	2	2	Йемен	2	2	2	2	Португалия	4	5	4	4
Албания	1	1	1	1	Кабо-Верде	3	2	3	3	Пуэрто-Рико	2	2	3	3
Алжир	1	1	1	1	Казахстан	1	1	2	2	Реюньон*	2	3	2	2
Американские Виргинские о-ва*	2	2	2	2	Каймановы о-ва	2	2	2	2	Россия	1	1	1	2
Американское Самоа	2	2	2	2	Камбоджа	2	2	2	2	Руанда	2	2	2	2
Ангилья	2	2	2	2	Камерун	2	2	2	2	Румыния	2	3	4	4
Ангола	2	2	2	2	Канада	3	3	3	3	Сальвадор	2	2	2	3
Андорра	1	1	1	1	Катар	2	2	2	2	Самоа	2	3	2	2
Антигуа и Барбуда	2	2	2	2	Кения	2	3	3	3	Сан-Томе и Принсипи	2	2	2	2
Аргентина	2	2	2	3	Кипр	2	3	4	3	Саудовская Аравия	2	2	2	2
Армения	1	2	1	1	Киргизская р-ка	1	1	1	1	Северная Македония	2	2	3	3
Аруба	1	3	3	3	Кирибати	2	2	2	2	Сейшелы	2	3	3	3
Афганистан	1	1	1	1	Китай	3	3	3	3	Сенегал	2	2	2	4
Багамские о-ва	2	2	2	2	КНДР	2	2	2	2	Сент-Винсент и Гренадины	1	1	1	1
Бангладеш	2	2	2	2	Колумбия	3	3	3	2	Сент-Киттс и Невис	2	3	2	2
Барбадос	2	2	2	2	Коморские о-ва	2	2	2	2	Сент-Люсия	2	2	2	2
Бахрейн	2	2	2	2	Конго	2	2	2	2	Сербия	2	2	2	3
Беларусь	2	2	2	2	Коста-Рика	3	3	3	3	Сингапур	2	2	2	2

Бельгия	2	3	3	3	Кот-д-Ивуар	2	2	2	2	Сирия	1	1	1	1
Бенин	2	2	2	2	Куба	2	3	2	2	Словакия	2	2	2	2
Болгария	2	3	3	3	Кувейт	1	1	1	2	Словения	2	2	2	2
Боливия	2	2	2	3	Лаос	2	2	2	2	Соломоновы о-ва	2	2	2	2
Босния и Герцеговина	1	1	1	2	Латвия	3	3	3	3	Судан	1	1	1	1
Ботсвана	2	2	2	2	Лесото	1	1	1	1	Суринам	2	2	2	2
Бразилия	3	4	4	5	Либерия	2	2	2	2	США	3	4	4	4
Британские Виргинские о-ва	2	2	2	2	Ливан	2	2	2	2	Сьерра-Леоне	2	2	2	2
Бруней-Даруссалам	2	2	2	2	Ливия	1	1	1	1	Таджикистан	1	1	1	1
Буркина-Фасо	2	2	2	2	Литва	2	3	4	4	Таиланд	2	2	3	4
Бурунди	2	2	2	2	Люксембург	3	3	3	3	Тайвань*	2	3	3	2
Бутан	2	2	2	2	Маврикий	2	2	2	2	Танзания	1	1	1	1
Вануату	2	3	3	2	Мавритания	1	1	3	3	Того	2	2	2	2
Великобритания	4	3	4	4	Мадагаскар	2	2	2	2	Токелау	2	2	2	2
Венгрия	2	3	3	3	Майотга*	2	2	2	2	Тонга	2	2	2	2
Венесуэла	2	2	2	2	Малави	2	2	2	2	Тринидад и Тобаго	2	2	2	2
Восточный Тимор	2	2	2	2	Малайзия	2	2	2	2	Тувалу	2	2	2	2
Вьетнам	2	2	2	3	Мали	1	1	1	1	Тунис	2	2	2	2
Габон	2	2	2	2	Мальдивы	2	2	2	2	Туркменистан	1	1	1	1
Гаити	2	2	2	2	Мальта	1	1	1	1	Турция	3	3	4	4
Гайана	2	2	2	2	Мартиника*	2	2	2	2	Уганда	2	2	2	2
Гамбия	2	2	3	2	Маршалловы о-ва	2	2	2	2	Узбекистан	1	1	1	1
Гана	2	2	2	2	Мексика	2	3	3	4	Украина	2	2	3	3
Гваделупа	3	3	3	3	Микронезия	2	2	2	2	Уругвай	2	3	4	4
Гватемала	2	2	3	3	Мозамбик	2	2	2	2	Фарерские о-ва	3	3	3	2
Гвинея	2	2	2	2	Молдова	2	2	2	3	Фиджи	2	2	2	2

Гвинея-Бисау	2	2	2	2	Монголия	1	1	2	2	Филиппины	3	2	3	3
Германия	4	4	4	4	Монсеррат*	1	1	1	1	Финляндия	3	3	3	4
Гондурас					Марокко					Фолклендские о-ва				
	2	2	3	3		3	3	3	3		1	3	3	3
Гонконг*	2	2	2	2	Мьянма	2	2	2	2	Франция	3	3	3	3
Гренада					Намибия					Французская Гвиана				
	2	2	2	2		2	2	2	2		2	2	2	2
Гренландия*					Науру					Французская Полинезия				
	1	1	1	1		2	2	2	2		2	2	2	2
Греция	3	3	3	4	Непал	2	2	2	2	Хорватия	2	2	3	3
Грузия	1	1	1	2	Нигер	1	1	1	1	ЦАР	2	2	2	2
Гуам	2	2	2	2	Нигерия	2	2	2	2	Чад	1	1	1	1
Дания	4	4	4	4	Нидерланды	3	3	3	3	Черногория	1	1	1	3
Джибути	1	1	1	3	Никарагуа	1	3	3	3	Чехия	2	3	3	3
Доминика	1	2	2	2	Ниуэ	2	2	2	2	Чили	1	2	3	3
Доминиканская Республика					Новая Зеландия					Швейцария				
	2	2	3	3		3	3	3	3		1	2	2	2
ДР Конго					Новая Каледония					Швеция				
	2	2	2	2		3	3	3	2		3	3	4	4
Египет	3	3	3	3	Норвегия	3	3	3	3	Шри-Ланка	2	3	3	3
Замбия	2	2	2	2	ОАЭ	2	2	2	2	Эквадор	2	2	3	2
Зимбабве					О-ва Теркс и Кайкос*					Экваториальная Гвинея				
	2	2	2	2		2	2	2	2		2	2	2	2
Израиль	2	2	2	2	Оман	2	2	2	2	Эритрея	1	1	1	1
Индия					Острова Кука					Эсватини (быв. Свазиленд)				
	5	5	4	4		2	2	2	2		2	2	2	2
Индонезия	2	2	2	2	Пакистан	2	2	3	3	Эстония	3	3	3	3
Иордания	2	2	3	3	Палау	2	2	2	2	Эфиопия	2	2	3	3
Ирак	2	2	2	2	Палестина	2	2	2	2	ЮАР	2	2	2	2
Иран	2	2	2	2	Панама	2	2	3	3	Южная Корея	3	3	3	3

Ирландия	4	4	4	4	Папуа-Новая Гвинея	2	2	2	2	Ямайка	3	3	3	3
Исландия	1	1	1	1	Парагвай	2	2	2	2	Япония	3	3	3	3

\*территория имеет особый статус

Таблица отражает результаты классификации стран согласно разработанному методу (Глава II). Нумерация в таблице соответствует следующим категориям:

1. Страны с исключительным уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 10,11)
2. Страны с высоким уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 8,9).
3. Страны со средним уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 6,7).
4. Страны с низким уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 4,5).
5. Страны, не реализующие высокий природный потенциал к развитию исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 3). В данный класс попадают страны, обладающие высоким потенциалом и низкими уровнями доли и выработки электроэнергии с помощью определённого ВИЭ.

Таблица П1.2. Классификация стран и территорий по уровню развития солнечной энергетики (2005-2021 годы).

Название	2005 год	2010 год	2015 год	2021 год	Название	2005 год	2010 год	2015 год	2021 год	Название	2005 год	2010 год	2015 год	2021 год
Австралия	4	3	4	4	Испания	3	5	4	5	Перу	1	1	3	3
Австрия	4	4	4	4	Италия	3	5	5	4	Польша	2	2	3	4
Азербайджан	2	2	3	3	Йемен	1	1	1	1	Португалия	3	4	4	3
Албания	2	3	2	2	Кабо-Верде	2	3	3	2	Пуэрто-Рико	2	3	3	3
Алжир	1	1	3	2	Казахстан	2	2	3	4	Реюньон*	2	4	4	3
Американские Виргинские о-ва*	1	1	3	2	Каймановы о-ва	2	2	2	3	Россия	2	2	3	3
Американское Самоа	2	2	3	2	Камбоджа	3	3	3	4	Руанда	2	2	3	3
Ангилья	1	1	2	2	Камерун	2	2	2	2	Румыния	2	2	4	4
Ангола	1	1	1	1	Канада	4	4	4	4	Сальвадор	1	1	2	4
Андорра	2	2	2	2	Катар	1	1	2	1	Самоа	2	2	4	4
Антигуа и Барбуда	1	2	3	3	Кения	1	1	1	2	Сан-Томе и Принсипи	2	2	2	2
Аргентина	1	1	2	3	Кипр	2	2	3	3	Саудовская Аравия	2	2	2	2
Армения	2	2	2	3	Киргизская р-ка	2	2	2	2	Северная Македония	2	2	3	3
Аруба	1	2	2	2	Кирибати	1	1	3	3	Сейшелы	2	2	2	3
Афганистан	1	1	1	3	Китай	3	4	4	4	Сенегал	2	2	3	3
Багамские о-ва	2	2	2	2	КНДР	2	2	2	3	Сент-Винсент и Гренадины	1	1	2	2
Бангладеш	2	2	3	3	Колумбия	2	2	2	3	Сент-Китс и Невис	1	1	2	2
Барбадос	2	3	2	3	Коморские о-ва	2	2	2	2	Сент-Люсия	2	2	2	2
Бахрейн	1	1	2	1	Конго	2	2	2	2	Сербия	2	3	3	2
Беларусь	2	2	3	3	Коста-Рика	2	2	3	3	Сингапур	2	3	3	3

Бельгия	3	5	5	4	Кот-д-Ивуар	2	2	2	2	Сирия	1	1	1	2
Бенин	2	2	2	2	Куба	2	2	3	3	Словакия	2	3	4	4
Болгария	2	3	4	4	Кувейт	1	1	2	2	Словения	2	3	4	3
Боливия	1	1	1	2	Лаос	2	2	2	3	Соломоновы о-ва	2	2	3	3
Босния и Герцеговина	3	2	3	3	Латвия	2	2	2	2	Судан	1	1	1	1
Ботсвана	1	1	1	1	Лесото	1	1	2	1	Суринам	2	2	3	2
Бразилия	2	2	2	4	Либерия	2	2	2	2	США	3	3	3	3
Британские Виргинские о-ва	1	1	1	1	Ливан	1	2	2	2	Сьерра-Леоне	2	2	2	2
Бруней-Даруссалам	2	3	2	2	Ливия	1	1	1	1	Таджикистан	1	1	1	1
Буркина-Фасо	2	2	2	3	Литва	2	2	4	3	Таиланд	2	3	4	3
Бурунди	2	2	2	2	Люксембург	5	4	4	4	Тайвань*	3	4	4	4
Бутан	2	2	2	2	Маврикий	2	2	3	3	Танзания	1	1	1	1
Вануату	2	2	3	3	Мавритания	1	1	3	3	Того	2	2	2	3
Великобритания	3	4	5	4	Мадагаскар	1	1	1	2	Токелау	2	2	3	3
Венгрия	2	3	4	5	Майотга*	2	4	3	4	Тонга	2	2	4	4
Венесуэла	2	2	2	2	Малави	2	2	2	2	Тринидад и Тобаго	3	3	2	2
Восточный Тимор	2	2	2	2	Малайзия	2	3	4	3	Тувалу	2	3	3	3
Вьетнам	2	2	2	5	Мали	2	2	2	3	Тунис	1	2	2	2
Габон	2	2	2	2	Мальдивы	2	2	2	2	Туркменистан	2	2	2	2
Гаити	1	1	2	1	Мальта	2	3	4	4	Турция	2	2	3	4
Гайана	2	2	3	2	Мартиника*	2	4	4	3	Уганда	2	2	2	3
Гамбия	2	2	2	2	Маршалловы о-ва	2	2	2	2	Узбекистан	2	2	2	2
Гана	2	2	2	3	Мексика	3	3	2	4	Украина	2	3	4	4
Гваделупа	2	4	4	3	Микронезия	4	3	3	3	Уругвай	2	2	3	3
Гватемала	1	1	3	2	Мозамбик	2	2	2	2	Фарерские о-ва	1	1	1	1
Гвинея	2	2	2	2	Молдова	2	2	2	2	Фиджи	2	2	3	2



Гвинея-Бисау	2	2	2	2	Монголия	1	1	1	2	Филиппины	3	2	3	3
Германия	5	5	5	5	Монсеррат*	2	2	2	3	Финляндия	3	3	3	3
Гондурас					Марокко					Фолклендские о-ва				
	2	2	4	4		1	1	2	3		1	1	1	1
Гонконг*	2	3	2	3	Мьянма	2	2	2	2	Франция	3	4	4	4
Гренада					Намибия					Французская Гвиана				
	1	2	2	2		1	1	2	3		2	3	4	3
Гренландия*					Науру					Французская Полинезия				
	1	1	1	1		2	3	2	3		3	3	4	2
Греция	2	4	5	4	Непал	2	2	2	2	Хорватия	2	2	3	3
Грузия	2	2	2	3	Нигер	1	1	1	2	ЦАР	2	2	2	2
Гуам	2	2	3	3	Нигерия	2	2	2	2	Чад	1	1	1	1
Дания	3	3	4	4	Нидерланды	4	4	4	5	Черногория	2	2	2	2
Джибути	1	1	1	1	Никарагуа	2	2	2	3	Чехия	3	5	4	4
Доминика	3	3	2	2	Ниуэ	2	4	4	4	Чили	1	1	3	4
Доминиканская Республика					Новая Зеландия					Швейцария				
	1	1	2	3		2	3	3	3		4	4	4	4
ДР Конго					Новая Каледония					Швеция				
	2	2	2	2		2	3	3	3		3	3	3	4
Египет	1	1	1	3	Норвегия	3	3	3	3	Шри-Ланка	2	2	3	3
Замбия	1	1	1	2	ОАЭ	1	3	3	3	Эквадор	2	2	3	3
Зимбабве					О-ва Теркс и Кайкос*					Экваториальная Гвинея				
	1	1	1	2		1	1	1	2		2	2	2	2
Израиль	2	3	3	3	Оман	1	1	2	3	Эритрея	1	1	1	1
Индия					Острова Кука					Эсватини (быв. Свазиленд)				
	2	3	4	4		3	2	3	3		2	2	2	2
Индонезия	2	3	3	3	Пакистан	1	2	3	3	Эстония	2	2	3	4
Иордания	1	1	2	4	Палау	3	3	3	3	Эфиопия	1	1	1	1
Ирак	1	1	1	2	Палестина	1	1	3	3	ЮАР	1	2	3	3
Иран	1	1	1	2	Панама	2	2	3	4	Южная Корея	4	5	4	4

Ирландия	2	2	2	2	Папуа-Новая Гвинея	2	2	2	2	Ямайка	2	3	3	3
Исландия	2	2	2	2	Парагвай	2	2	2	2	Япония	5	5	5	5

\*территория имеет особый статус

Таблица отражает результаты классификации стран согласно разработанному методу (Глава II). Нумерация в таблице соответствует следующим категориям:

1. Страны с исключительным уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 10,11)
2. Страны с высоким уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 8,9).
3. Страны со средним уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 6,7).
4. Страны с низким уровнем развития исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 4,5).
5. Страны, не реализующие высокий природный потенциал к развитию исследуемого типа альтернативной энергетики (сумма баллов – 3). В данный класс попадают страны, обладающие высоким потенциалом и низкими уровнями доли и выработки электроэнергии с помощью определённого ВИЭ.

Рисунок П2.1 Система классификации стран по уровню развитию определённого вида альтернативной энергетики.

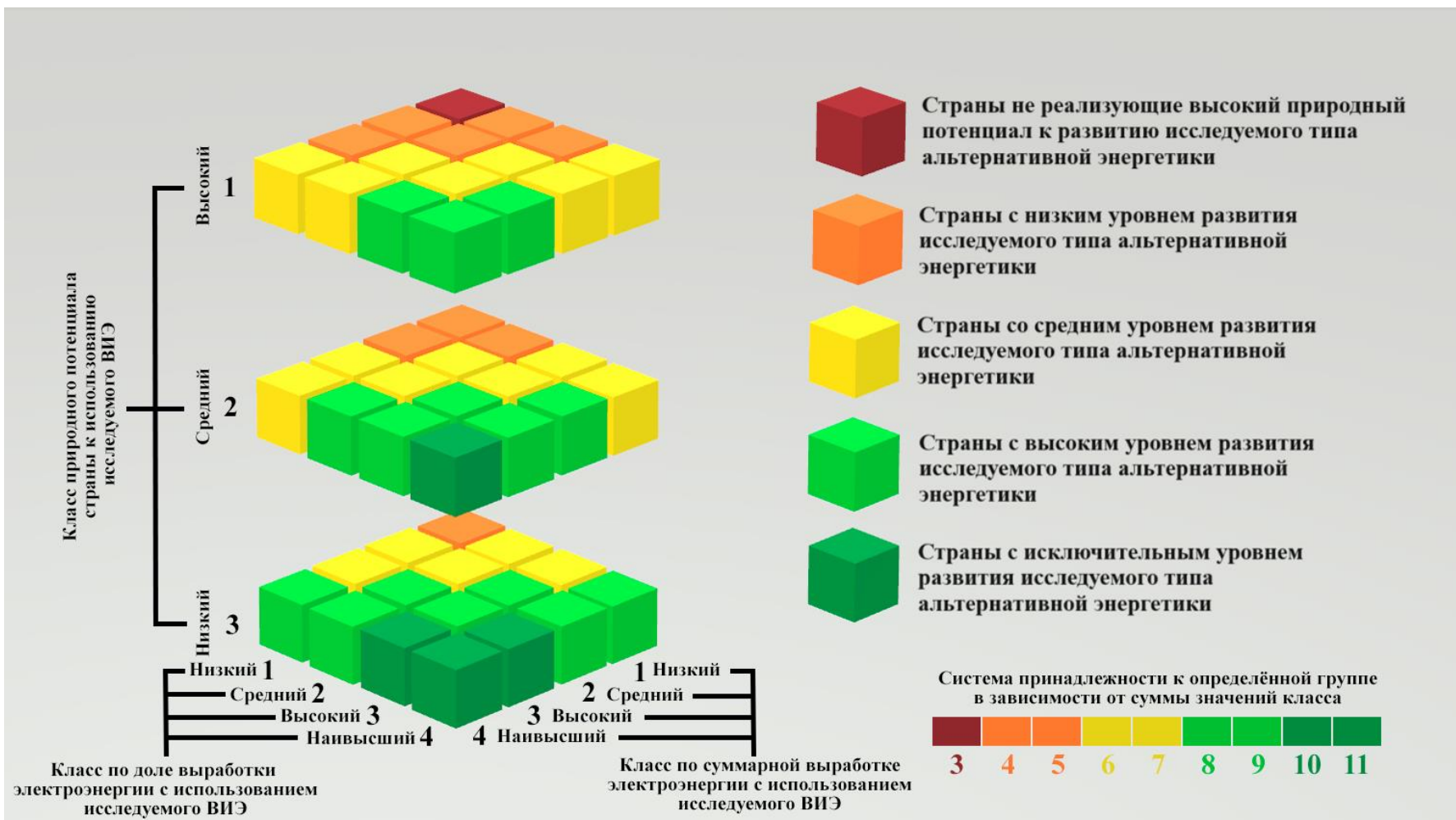


Рисунок П2.2 Природный (физико-географический) потенциал стран к развитию ветровой и солнечной энергетик.

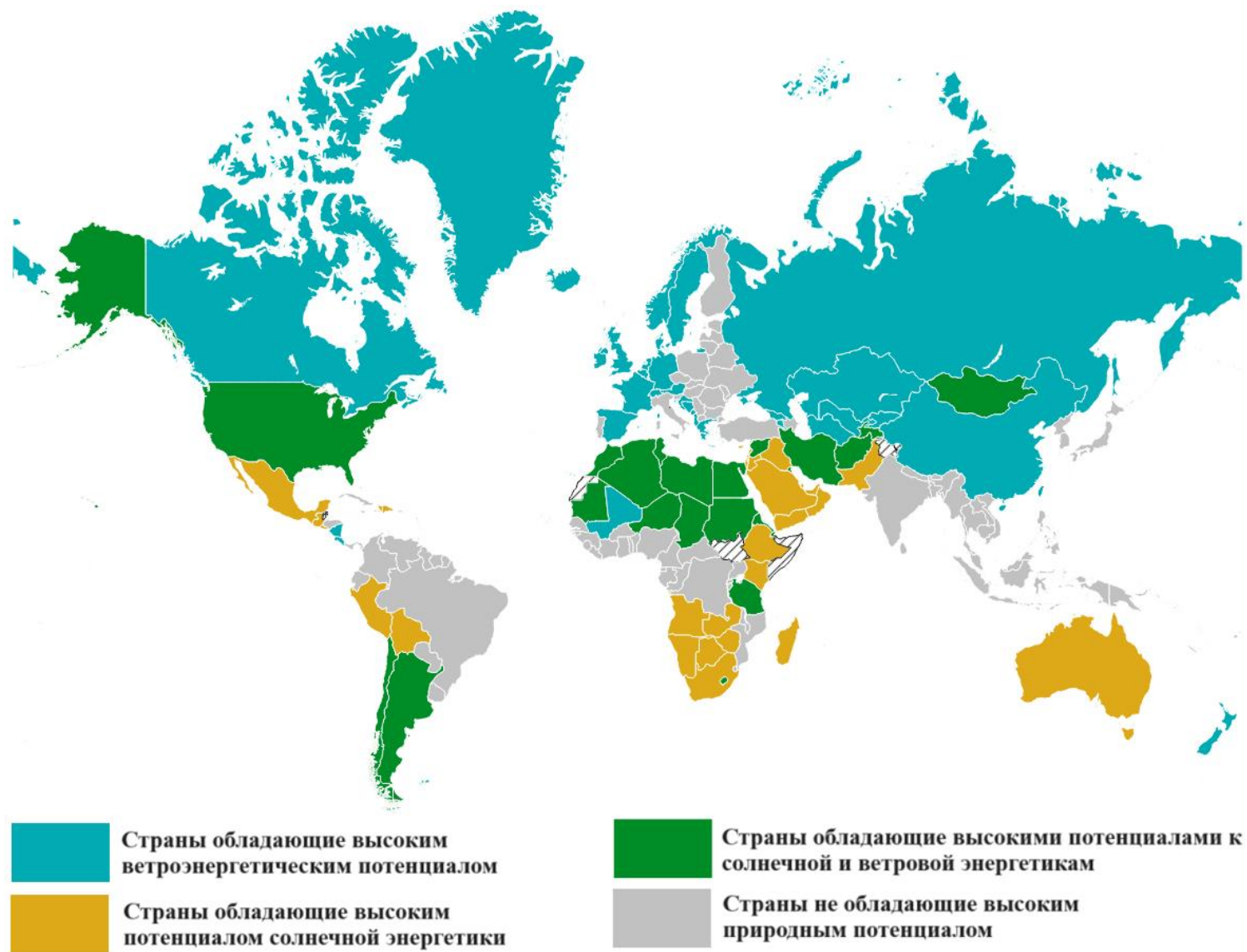


Рисунок П2.3 Классификация стран по уровню развития ветровой энергетики (2021 год).

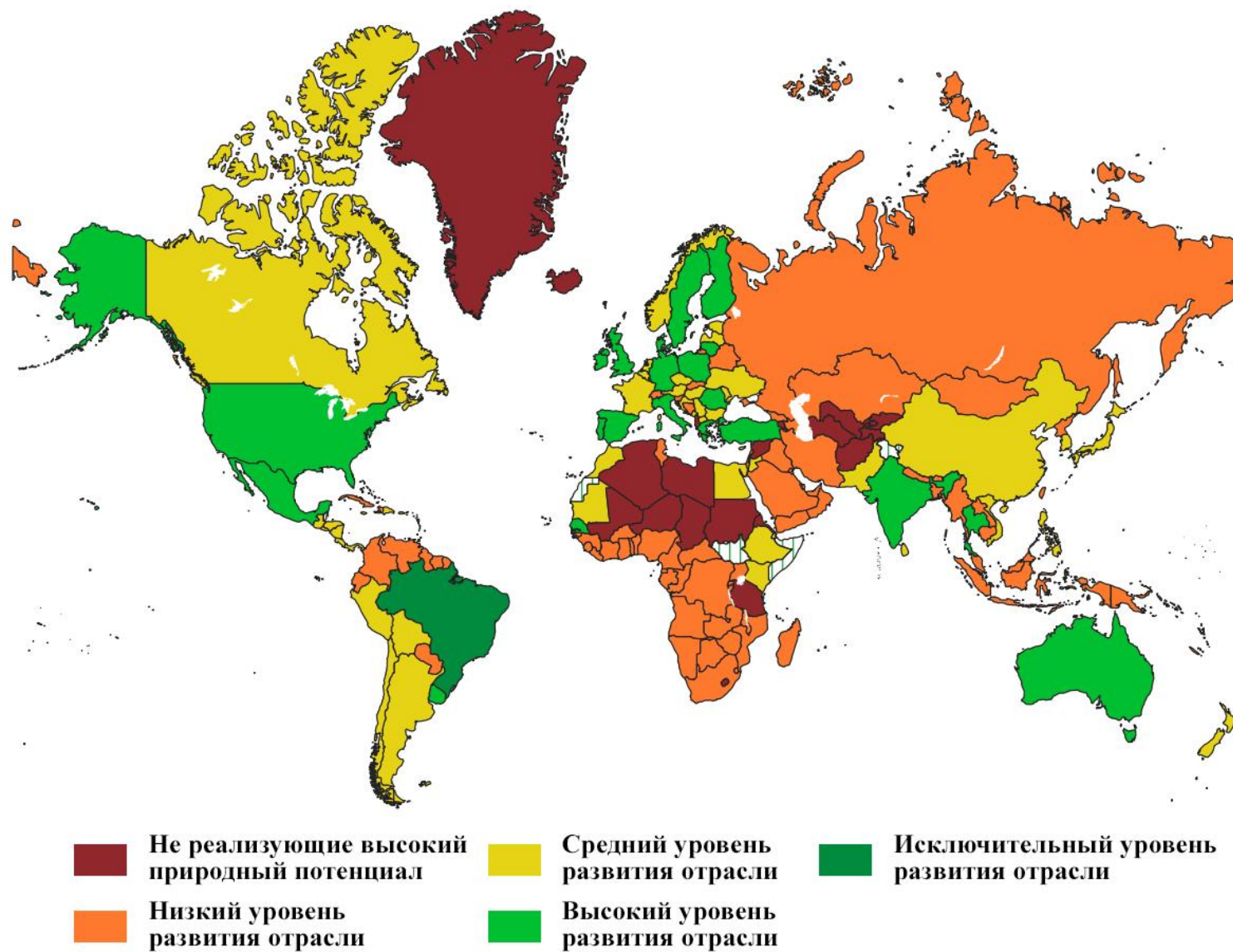


Рисунок П2.4 Классификация стран по уровню развития солнечной энергетики (2021 год).

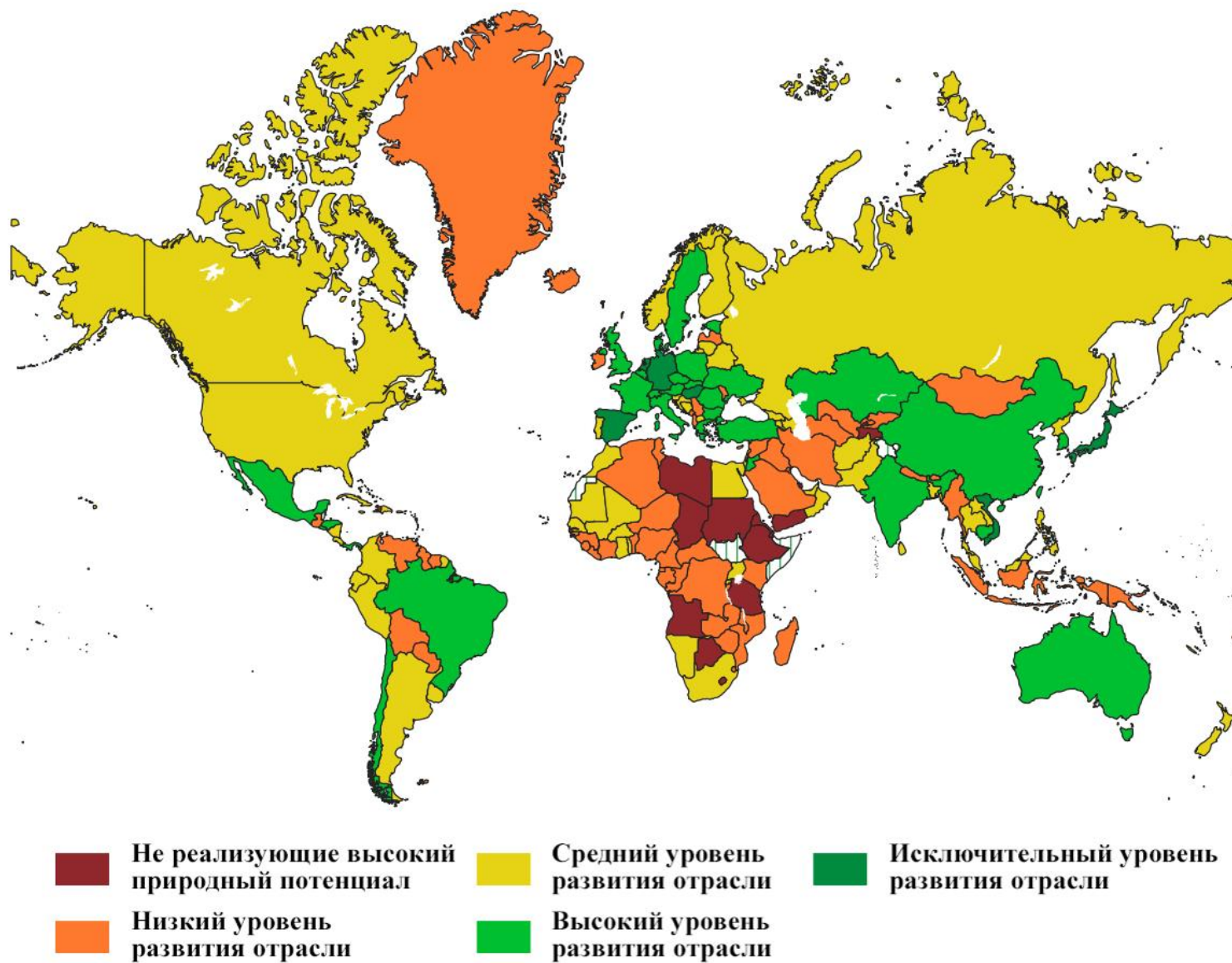


Рисунок ПЗ.1 Показатели плотности энергии ветра (WPD) на исследуемой территории. Сост. авт. по [109].

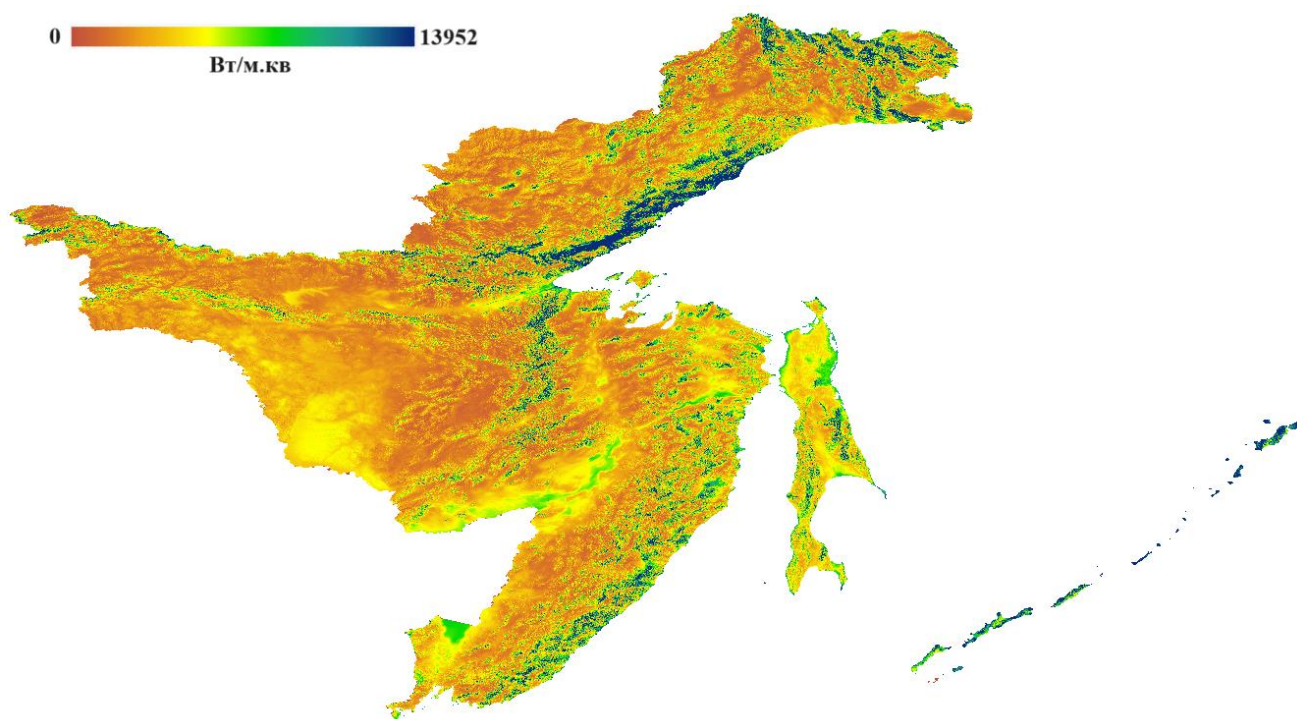


Рисунок ПЗ.2 Унифицированные показатели плотности энергии ветра на исследуемой территории.

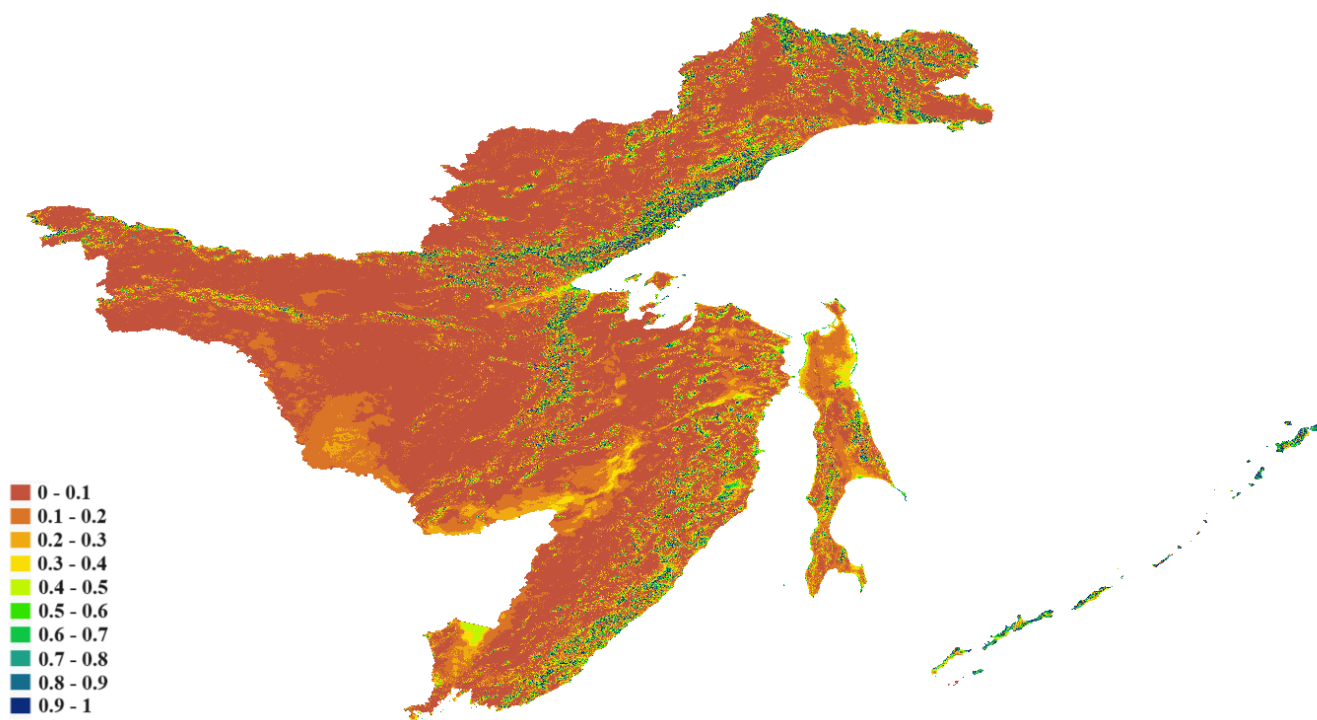


Рисунок ПЗ.3 Уклон поверхности (в градусах).

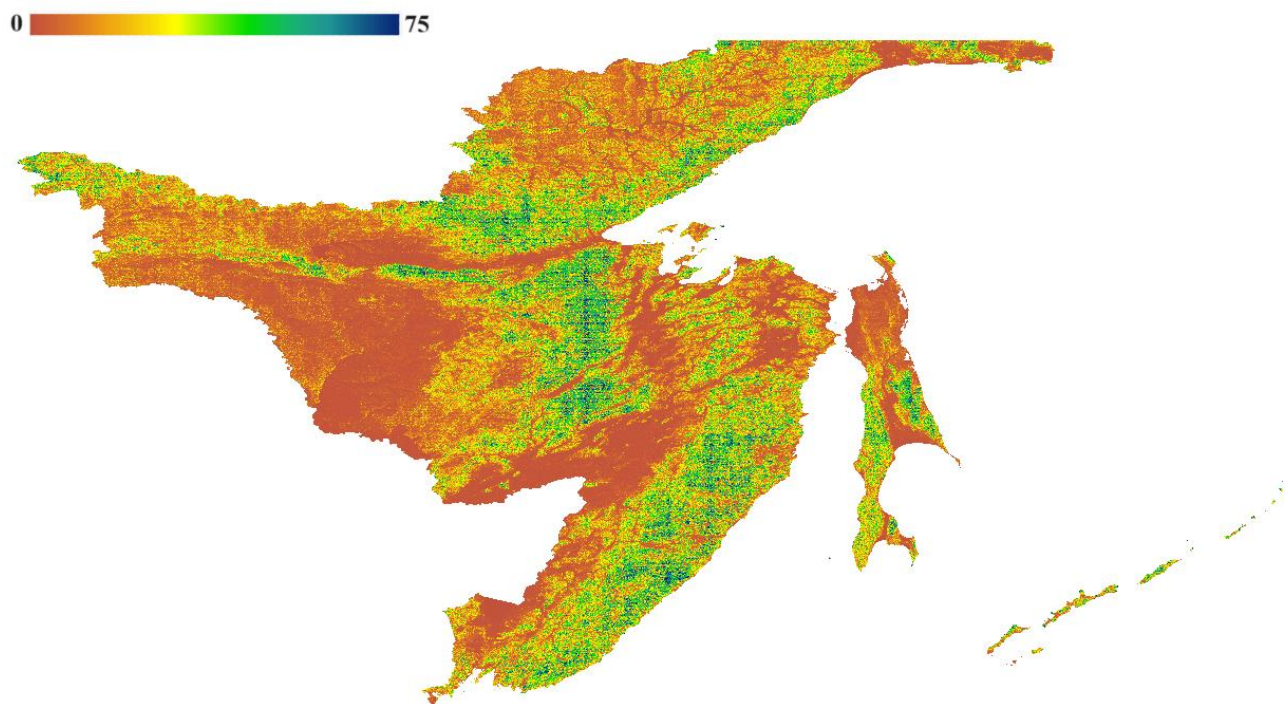


Рисунок ПЗ.4 Унифицированные показатели уклона поверхности (для анализа потенциала территории к развитию ветроэнергетики).

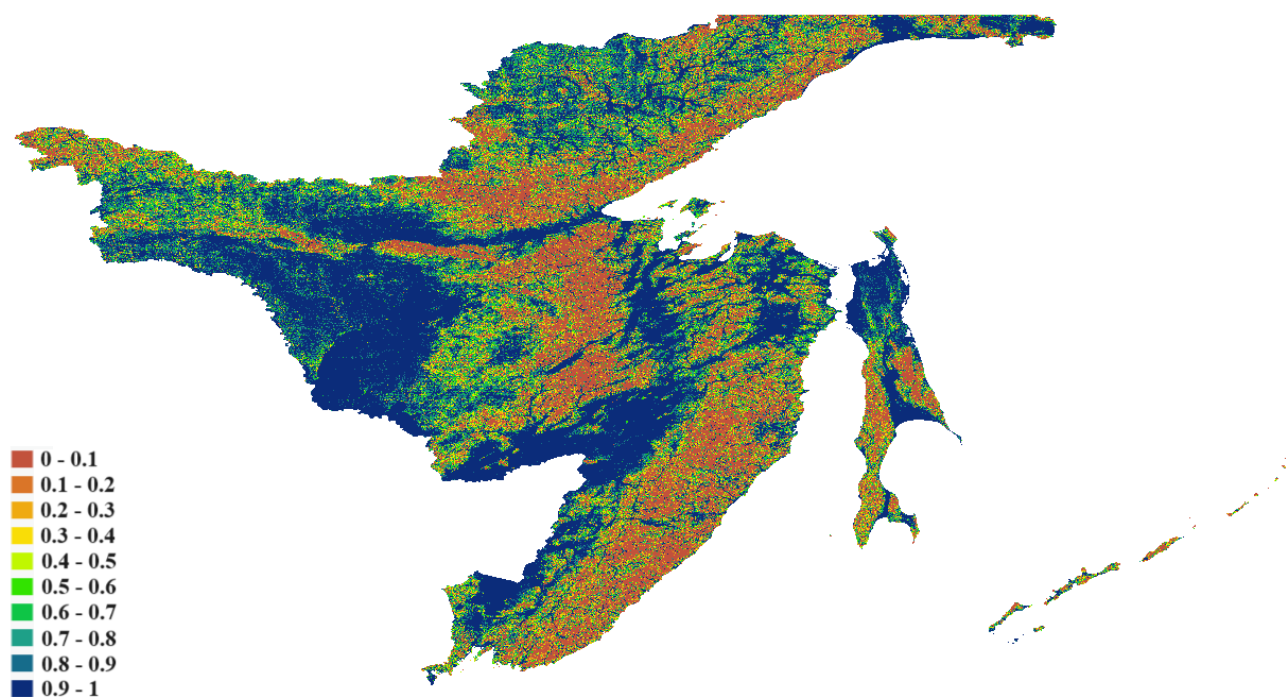
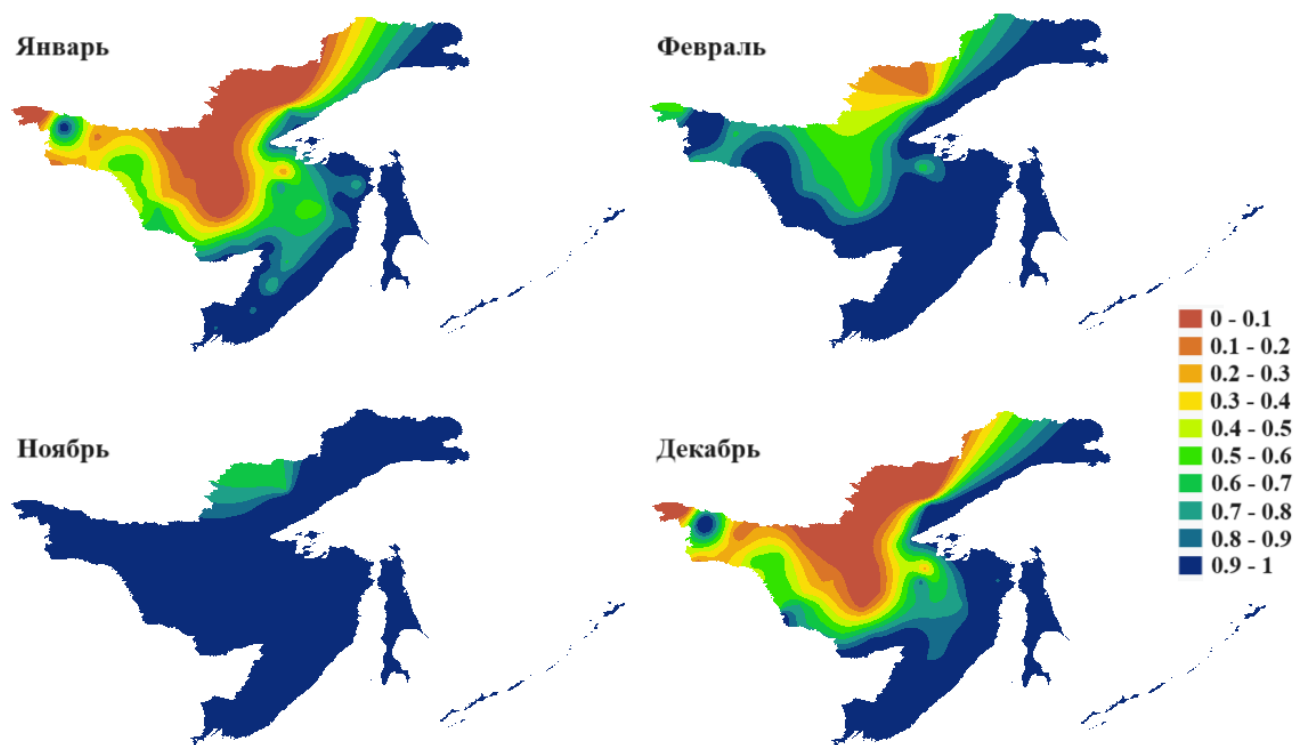




Рисунок ПЗ.5 Унифицированные показатели среднемесячной температуры воздуха, применённые при расчёте потенциала территории к развитию ветроэнергетики. Сост. авт. по [150].



На рисунке отображены только те месяцы, в которых наблюдается дифференциация показателей. В период с марта по октябрь значения унифицированного показателя температур воздуха равняется единице.

Рисунок ПЗ.6 Потенциал территории к размещению ВЭС с прицелом на производство «зелёного» водорода.

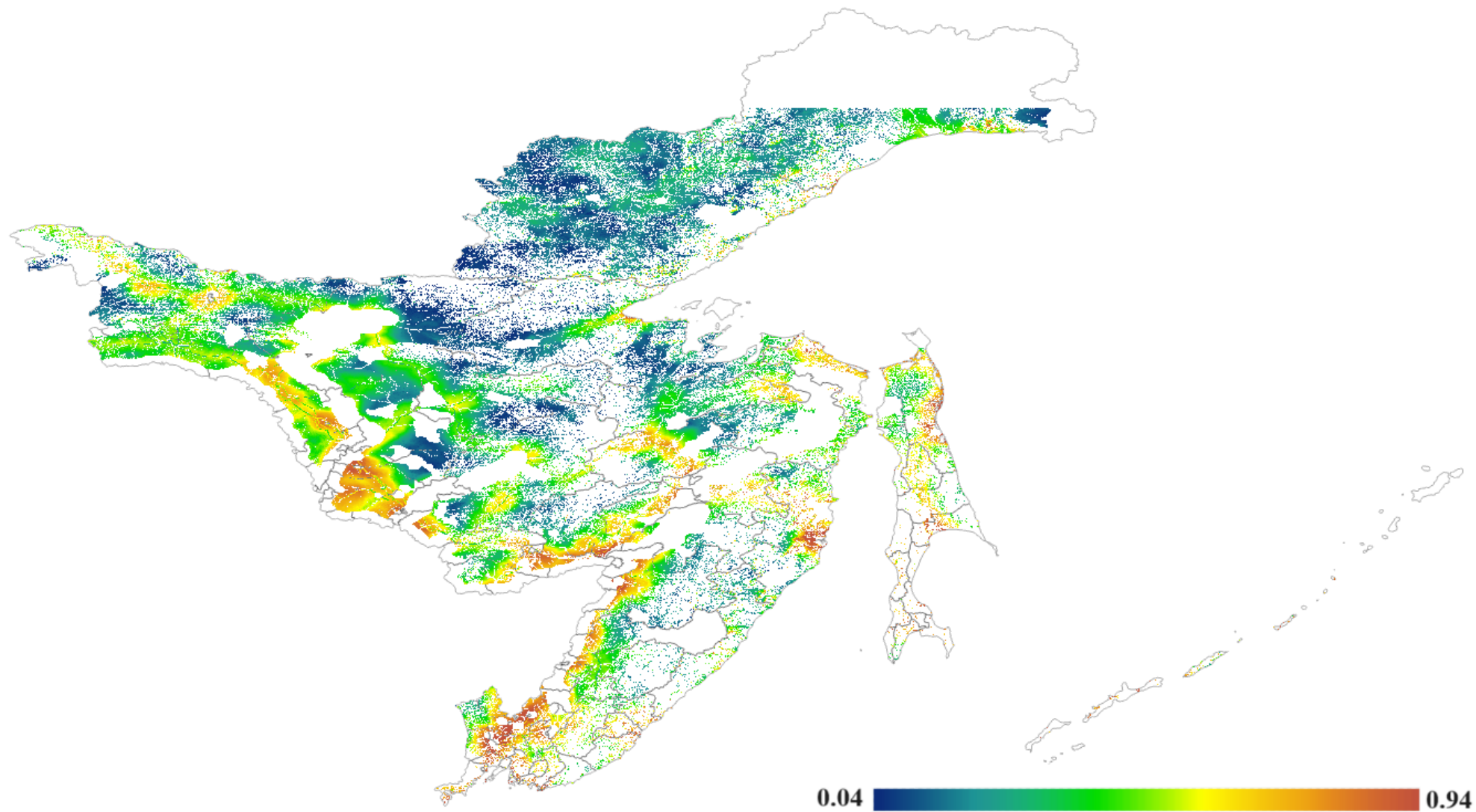


Рисунок ПЗ.7 Показатели суммарной солнечной радиации (GHI) на исследуемой территории. Сост. авт. по [178].

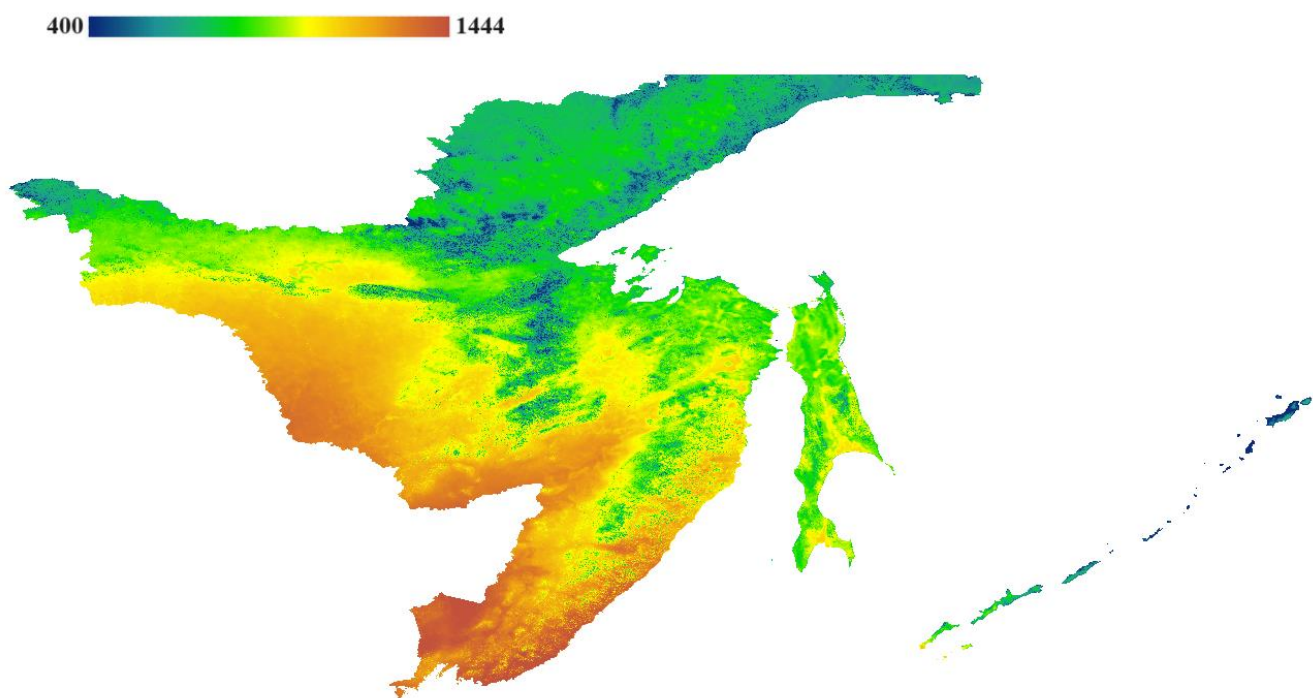


Рисунок ПЗ.8 Унифицированные показатели суммарной солнечной радиации (GHI) на исследуемой территории.

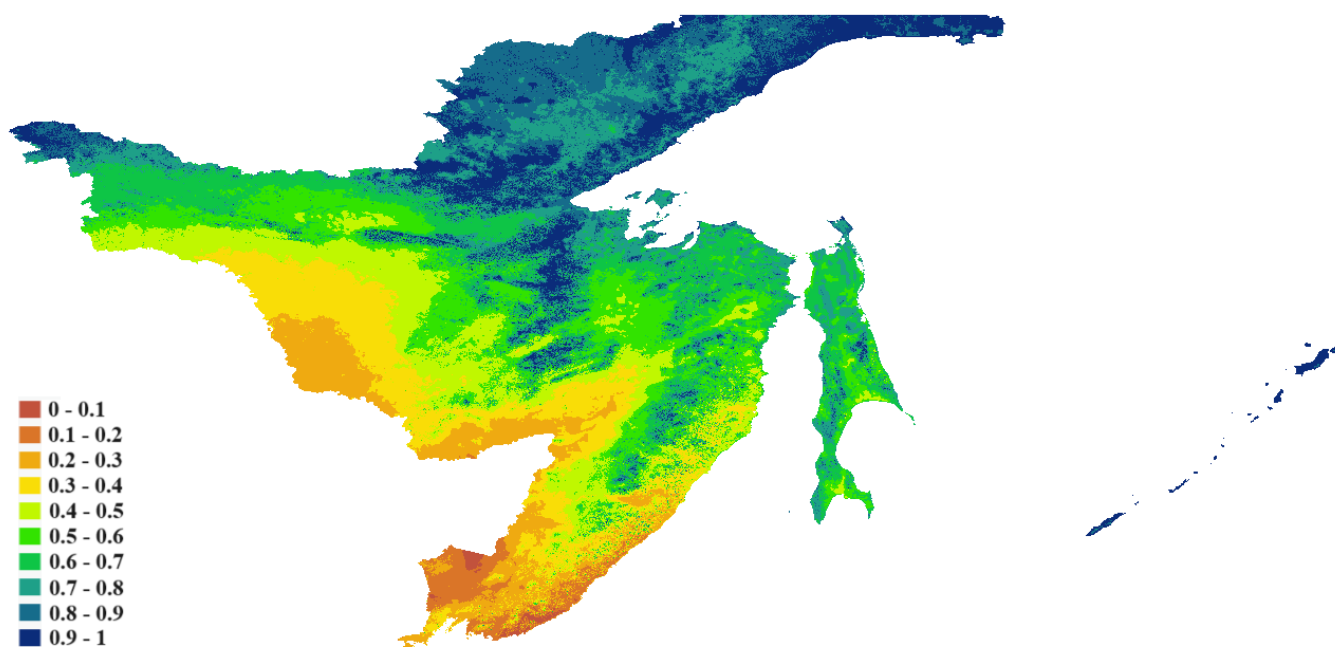


Рисунок ПЗ.9 Показатели прямой солнечной радиации (DNI) на исследуемой территории. Сост. авт. по [178].

77  1763

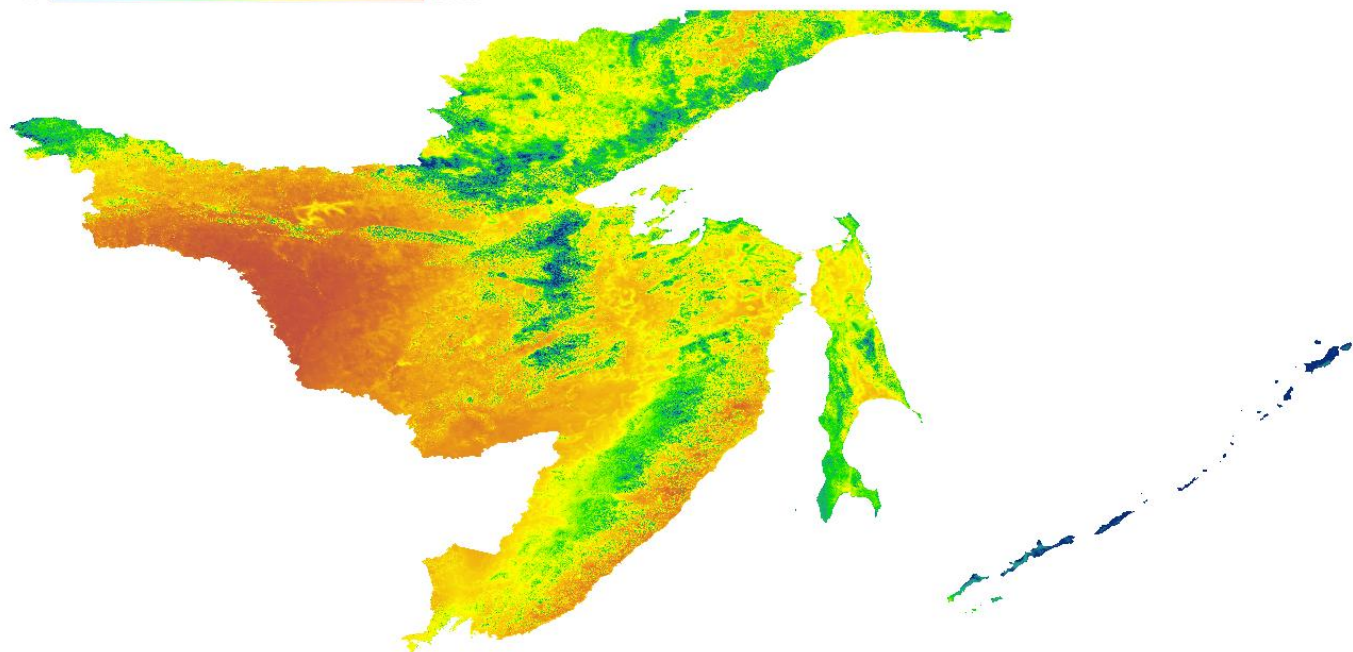


Рисунок ПЗ.10 Унифицированные показатели прямой солнечной радиации (DNI) на исследуемой территории.

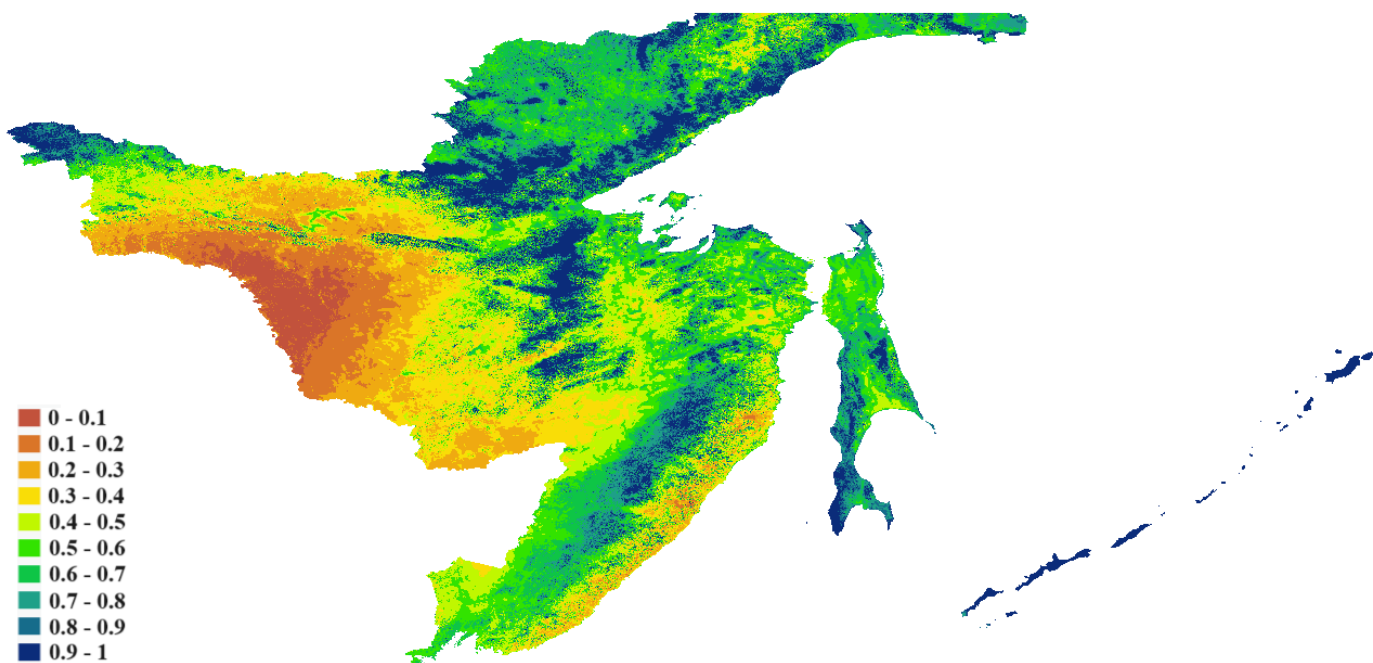


Рисунок ПЗ.11 Потенциал территории к размещению СЭС (РV).

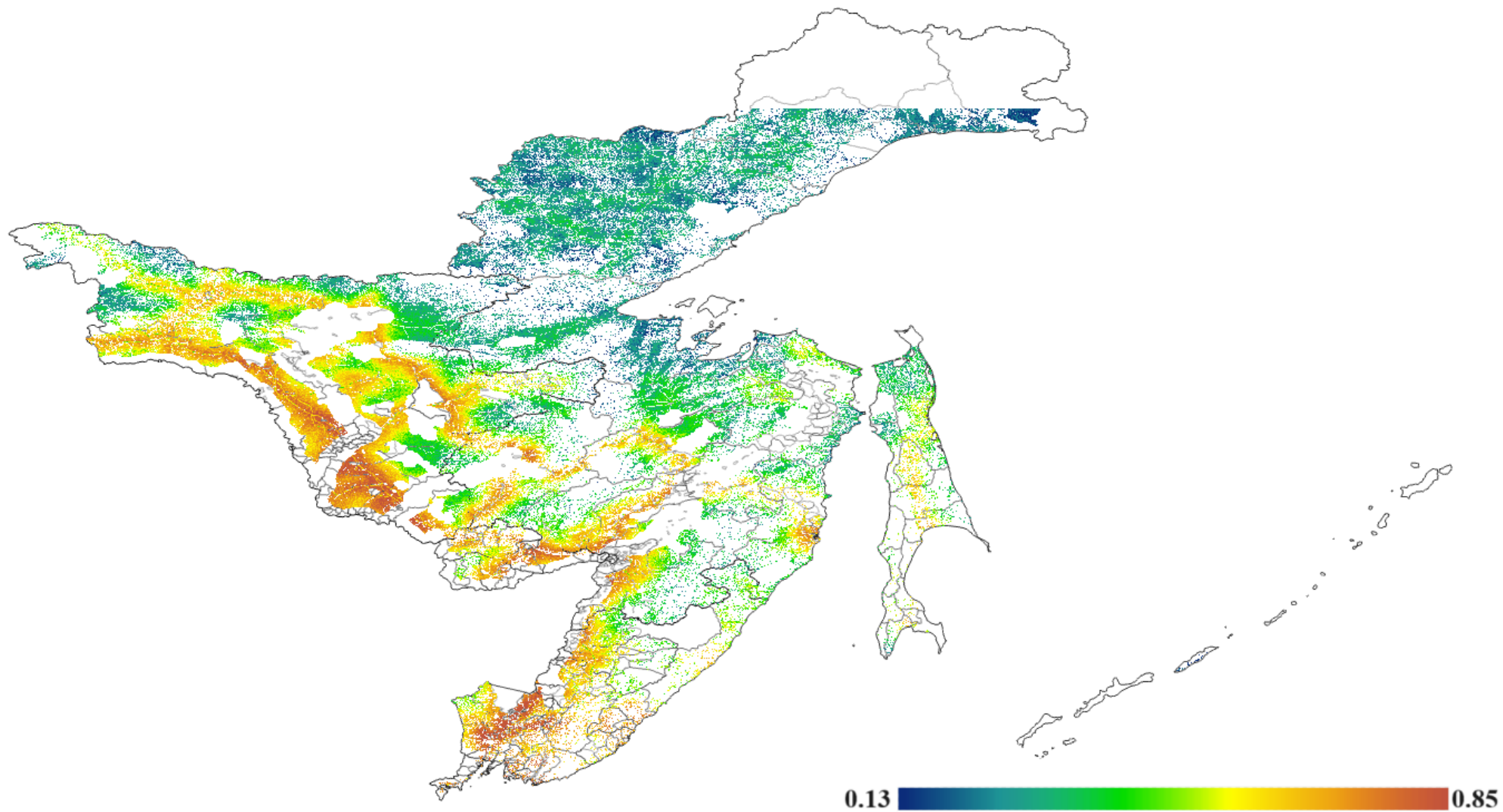


Рисунок ПЗ.11 Потенциал территории к размещению СЭС (CSP).

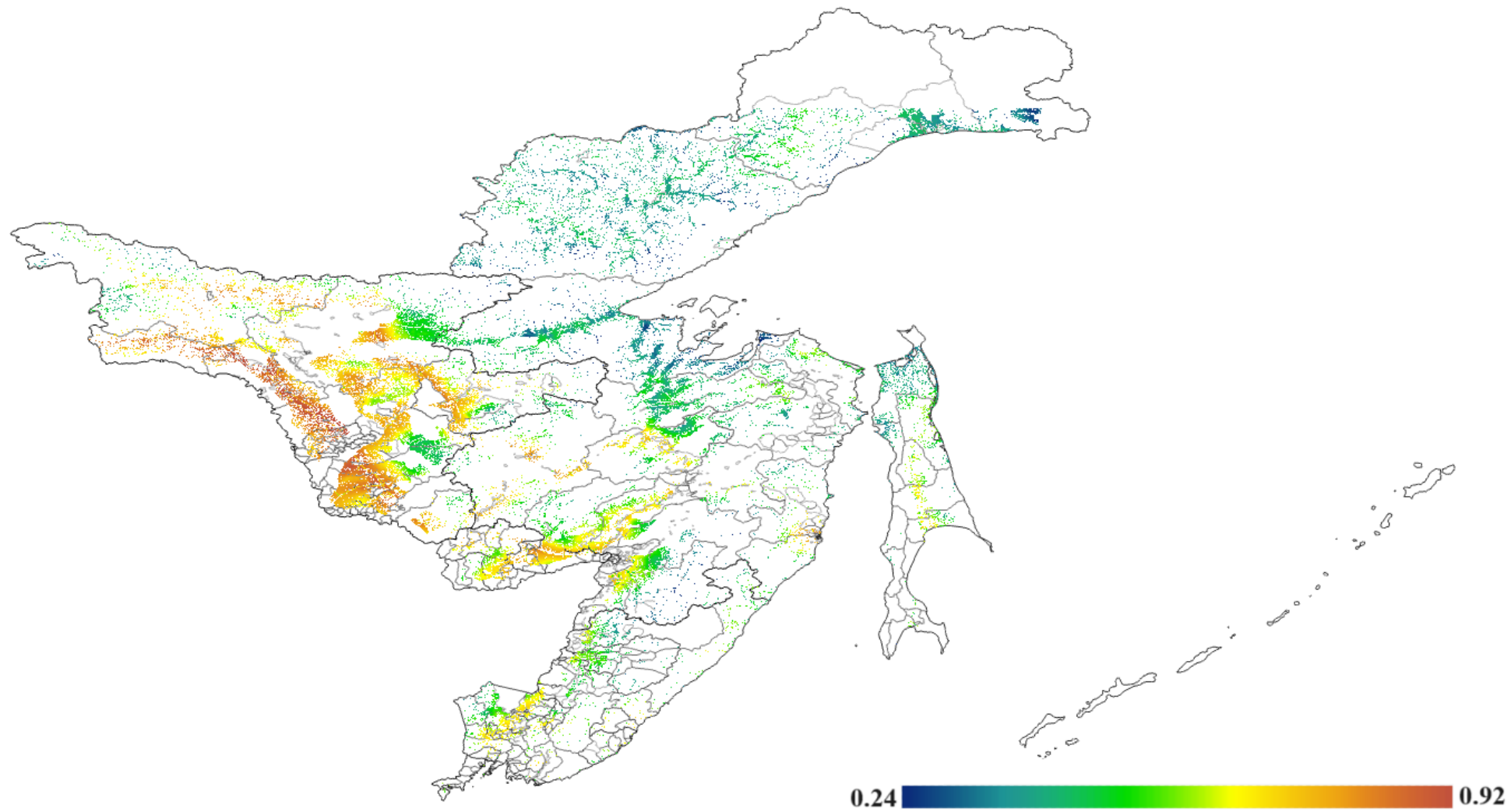


Таблица ПЗ.1. Статистические показатели потенциала территории к развитию ветроэнергетики для исследуемых административно-территориальных единиц.

АТЕ*	Регион	Мин.	Макс.	Сред.	Ст.отк.	Медиана	90й пр-ль	80й пр-ль	Площадь (км <sup>2</sup> )
Александровск-Сахалинский р-н	Сахал. обл.	0.169	0.768	0.320	0.069	0.311	0.415	0.375	1182.08
Амурский р-н	Хабар. край	0.145	0.762	0.414	0.098	0.411	0.546	0.494	6839.04
Анивский ГО	Сахал. обл.	0.177	0.724	0.413	0.127	0.453	0.569	0.530	353.28
Анучинский МО	Прим. край	0.221	0.842	0.450	0.092	0.471	0.559	0.531	1560.96
Артёмовский ГО	Прим. край	0.341	0.737	0.495	0.086	0.516	0.575	0.569	44.16
Архаринский МО	Амур. обл.	0.081	0.586	0.295	0.135	0.276	0.499	0.429	6490.24
Аяно-Майский р-н	Хабар. край	0.041	0.646	0.155	0.067	0.143	0.219	0.197	87202.56
Белогорский МО	Амур. обл.	0.357	0.615	0.531	0.052	0.541	0.592	0.581	1877.76
Бикинский р-н	Хабар. край	0.269	0.600	0.461	0.068	0.462	0.547	0.527	430.72
Биробиджанский р-н	Еврейс. АО	0.297	0.636	0.509	0.057	0.519	0.576	0.563	1639.04
Благовещенский МО	Амур. обл.	0.343	0.432	0.387	0.017	0.388	0.404	0.401	86.4
Бурейский МО	Амур. обл.	0.155	0.596	0.452	0.102	0.480	0.548	0.531	864.64
Ванинский р-н	Хабар. край	0.092	0.882	0.361	0.146	0.341	0.571	0.488	7907.84
Верхнебуреинский р-н	Хабар. край	0.046	0.696	0.246	0.100	0.247	0.380	0.345	21528.96
Владивостокский ГО	Прим. край	0.384	0.759	0.594	0.091	0.596	0.706	0.661	25.6
Вяземский р-н	Хабар. край	0.172	0.644	0.396	0.107	0.384	0.539	0.506	1716.48
ГО Белогорск	Амур. обл.	0.424	0.602	0.541	0.040	0.541	0.595	0.576	15.36
ГО Биробиджан	Еврейс. АО	0.342	0.476	0.387	0.050	0.374	0.444	0.411	3.84
ГО Большой Камень	Прим. край	0.359	0.621	0.482	0.088	0.486	0.609	0.569	14.08
ГО Райчихинск	Амур. обл.	0.482	0.617	0.558	0.030	0.566	0.591	0.581	94.72
ГО Тында	Амур. обл.	0.269	0.493	0.384	0.068	0.396	0.472	0.444	21.76
ГО Шимановск	Амур. обл.	0.337	0.488	0.429	0.066	0.461	0.483	0.477	1.92
ГО Южно-Сахалинск	Сахал. обл.	0.388	0.550	0.492	0.050	0.513	0.548	0.529	17.28
Дальнегорский ГО	Прим. край	0.149	0.809	0.381	0.128	0.362	0.544	0.488	1022.08
Дальнереченский р-н	Прим. край	0.135	0.640	0.346	0.083	0.323	0.490	0.398	2763.52
Долинский ГО	Сахал. обл.	0.271	0.855	0.508	0.091	0.531	0.595	0.585	131.84
Завитинский МО	Амур. обл.	0.176	0.595	0.396	0.106	0.426	0.509	0.491	2092.16
ЗАТО Фокино	Прим. край	0.387	0.930	0.621	0.085	0.616	0.712	0.682	53.12

ЗАТО Циолковский	Амур. обл.	0.270	0.533	0.435	0.085	0.461	0.526	0.517	39.04
Зейский р-н	Амур. обл.	0.038	0.651	0.209	0.100	0.209	0.339	0.305	38627.84
Ивановский МО	Амур. обл.	0.425	0.566	0.503	0.036	0.503	0.551	0.543	1231.36
Кавалеровский р-н	Прим. край	0.258	0.847	0.460	0.106	0.436	0.622	0.542	796.16
Кировский р-н	Прим. край	0.235	0.622	0.437	0.080	0.427	0.562	0.523	764.16
Комсомольский р-н	Хабар. край	0.121	0.773	0.366	0.094	0.370	0.480	0.452	3997.44
Константиновский р-н	Амур. обл.	0.326	0.488	0.447	0.021	0.451	0.471	0.466	598.4
Корсаковский ГО	Сахал. обл.	0.417	0.848	0.534	0.071	0.532	0.602	0.582	99.84
Красноармейский р-н	Прим. край	0.110	0.640	0.290	0.087	0.293	0.387	0.342	5658.88
Курильский ГО	Сахал. обл.	0.110	0.682	0.454	0.135	0.476	0.616	0.579	512
Лазовский МО	Прим. край	0.150	0.864	0.336	0.137	0.307	0.526	0.428	459.52
Ленинский р-н	Еврейс. АО	0.190	0.590	0.368	0.074	0.378	0.457	0.439	2090.24
Лесозаводский ГО	Прим. край	0.284	0.754	0.422	0.071	0.422	0.513	0.491	517.12
Магдагачинский р-н	Амур. обл.	0.128	0.535	0.379	0.093	0.398	0.490	0.467	9258.24
Мазановский р-н	Амур. обл.	0.075	0.461	0.231	0.083	0.220	0.357	0.316	17644.16
Макаровский ГО	Сахал. обл.	0.327	0.748	0.503	0.078	0.497	0.590	0.566	85.12
Михайловский р-н	Прим. край	0.292	0.676	0.505	0.102	0.505	0.638	0.620	1333.12
Михайловский р-н	Амур. обл.	0.342	0.501	0.417	0.037	0.413	0.469	0.456	1043.2
Надеждинский р-н	Прим. край	0.366	0.667	0.558	0.057	0.567	0.614	0.603	434.56
Нанайский р-н	Хабар. край	0.084	0.561	0.265	0.100	0.250	0.414	0.366	4736.64
Находкинский ГО	Прим. край	0.376	0.719	0.536	0.060	0.532	0.618	0.576	52.48
Невельский ГО	Сахал. обл.	0.172	0.778	0.421	0.132	0.396	0.611	0.521	90.24
Николаевский р-н	Хабар. край	0.168	0.811	0.384	0.098	0.398	0.489	0.456	4728.32
Ногликский ГО	Сахал. обл.	0.162	0.746	0.414	0.111	0.401	0.572	0.522	3841.28
Облученский р-н	Еврейс. АО	0.168	0.696	0.338	0.079	0.337	0.454	0.394	4697.6
Октябрьский МО	Прим. край	0.244	0.656	0.464	0.096	0.477	0.581	0.549	919.68
Октябрьский р-н	Еврейс. АО	0.148	0.502	0.279	0.063	0.270	0.370	0.331	1261.44
Октябрьский р-н	Амур. обл.	0.246	0.565	0.447	0.055	0.453	0.517	0.491	2920.96
Ольгинский р-н	Прим. край	0.141	0.833	0.393	0.123	0.372	0.572	0.510	913.92
Охинский ГО	Сахал. обл.	0.150	0.615	0.333	0.094	0.322	0.474	0.420	5182.72



Охотский р-н	Хабар. край	0.054	0.661	0.208	0.090	0.177	0.325	0.283	27669.12
Партизанский ГО	Прим. край	0.264	0.697	0.422	0.050	0.428	0.468	0.452	224
Партизанский р-н	Прим. край	0.183	0.938	0.418	0.110	0.396	0.571	0.524	789.76
Пограничный МО	Прим. край	0.112	0.558	0.299	0.076	0.295	0.396	0.347	1893.76
Пожарский р-н	Прим. край	0.113	0.571	0.302	0.122	0.262	0.495	0.443	5873.92
Поронайский ГО	Сахал. обл.	0.191	0.845	0.468	0.118	0.470	0.615	0.588	980.48
р-н имени Лазо	Хабар. край	0.058	0.667	0.277	0.131	0.248	0.464	0.409	10349.44
р-н имени Полины Осипенко	Хабар. край	0.044	0.760	0.260	0.088	0.250	0.406	0.311	14140.16
Ромненский МО	Амур. обл.	0.059	0.543	0.216	0.136	0.161	0.456	0.362	6462.08
Свободненский р-н	Амур. обл.	0.215	0.541	0.358	0.064	0.342	0.452	0.420	3495.04
Северо-Курильский ГО	Сахал. обл.	0.192	0.588	0.489	0.103	0.530	0.573	0.555	25.6
Селемджинский р-н	Амур. обл.	0.048	0.620	0.216	0.088	0.223	0.329	0.301	21713.28
Серышевский МО	Амур. обл.	0.207	0.612	0.433	0.102	0.437	0.573	0.532	1986.56
Сковородинский МО	Амур. обл.	0.162	0.494	0.320	0.041	0.329	0.365	0.355	11096.96
Смидовичский р-н	Еврейс. АО	0.337	0.624	0.496	0.051	0.492	0.565	0.547	1900.8
Смирныховский ГО	Сахал. обл.	0.149	0.713	0.389	0.107	0.418	0.519	0.463	1419.52
Советско-Гаванский р-н	Хабар. край	0.064	0.833	0.336	0.160	0.309	0.578	0.509	3980.16
Солнечный р-н	Хабар. край	0.064	0.727	0.323	0.129	0.334	0.483	0.450	11889.92
Спасский р-н	Прим. край	0.348	0.842	0.536	0.063	0.544	0.613	0.593	2411.52
Тамбовский МО	Амур. обл.	0.329	0.560	0.497	0.034	0.497	0.539	0.528	1491.84
Тернейский МО	Прим. край	0.075	0.780	0.264	0.107	0.239	0.417	0.350	5015.04
Томаринский ГО	Сахал. обл.	0.248	0.748	0.456	0.072	0.448	0.553	0.499	277.12
Тугуро-Чумиканский р- н	Хабар. край	0.054	0.722	0.166	0.089	0.135	0.296	0.230	34774.4
Тымовский ГО	Сахал. обл.	0.217	0.747	0.402	0.061	0.408	0.459	0.442	1575.68
Тындинский МО	Амур. обл.	0.045	0.707	0.265	0.103	0.270	0.401	0.350	41658.88
Углегорский ГО	Сахал. обл.	0.273	0.760	0.468	0.085	0.474	0.559	0.528	90.88
Ульчский р-н	Хабар. край	0.098	0.751	0.269	0.093	0.265	0.393	0.343	8714.88
Уссурийский ГО	Прим. край	0.269	0.824	0.499	0.096	0.504	0.622	0.589	1374.72

Хабаровский р-н	Хабар. край	0.071	0.598	0.290	0.127	0.273	0.477	0.420	9537.92
Ханкайский МО	Прим. край	0.161	0.566	0.394	0.076	0.406	0.487	0.460	1720.32
Хасанский р-н	Прим. край	0.315	0.755	0.505	0.062	0.506	0.581	0.553	587.52
Холмский ГО	Сахал. обл.	0.296	0.784	0.490	0.088	0.473	0.595	0.565	157.44
Хорольский МО	Прим. край	0.306	0.695	0.554	0.081	0.564	0.651	0.632	1062.4
Черниговский р-н	Прим. край	0.277	0.685	0.527	0.087	0.534	0.630	0.608	833.28
Чугуевский МО	Прим. край	0.151	0.776	0.379	0.079	0.374	0.481	0.445	2755.84
Шимановский МО	Амур. обл.	0.145	0.573	0.397	0.078	0.390	0.517	0.476	6813.44
Шкотовский р-н	Прим. край	0.341	0.902	0.516	0.068	0.520	0.602	0.574	565.12
Южно-Курильский ГО	Сахал. обл.	0.425	0.677	0.591	0.073	0.614	0.666	0.651	17.28
Яковлевский р-н	Прим. край	0.300	0.799	0.422	0.050	0.413	0.484	0.461	763.52

\*Административно-территориальная единица

В итоговый массив попали только те АТЕ, в которых имеют положительные показатели потенциала. Вследствие чего, некоторые АТЕ не представлены в итоговой таблице, хотя и входят в состав исследуемых субъектов федерации (к примеру Арсеньевский ГО и пр.).

Представленные сокращения:

- Мин.; Макс. – минимальные и максимальные значения выборки
- Сред. – среднее арифметическое
- Ст. отк. – стандартное отклонение
- 90й пр-ль.;80й пр-ль. – 90й и 80й процентиль

Таблица ПЗ.2. Статистические показатели потенциала территории к развитию солнечной энергетики (PV) для исследуемых административно-территориальных единиц.

АТЕ*	Регион	Мин.	Макс.	Сред.	Ст.отк.	Медиана	90й пр-ль	80й пр-ль	Площадь
Александровск-Сахалинский р-н	Сахал. обл.	0.283	0.604	0.414	0.062	0.406	0.501	0.466	1065.305
Амурский р-н	Хабар. край	0.322	0.782	0.637	0.068	0.641	0.721	0.700	6662.464
Анивский ГО	Сахал. обл.	0.258	0.708	0.485	0.103	0.490	0.622	0.579	364.8999
Анучинский МО	Прим. край	0.458	0.841	0.684	0.065	0.681	0.771	0.745	1623.805
Арсеньевский ГО	Прим. край	0.542	0.766	0.631	0.097	0.585	0.730	0.694	3.040833
Артёмовский ГО	Прим. край	0.531	0.773	0.659	0.067	0.657	0.754	0.721	99.33386
Архаринский МО	Амур. обл.	0.372	0.810	0.587	0.103	0.580	0.731	0.688	5930.637
Аяно-Майский р-н	Хабар. край	0.152	0.460	0.339	0.045	0.342	0.396	0.379	85921.76
Белогорский МО	Амур. обл.	0.562	0.825	0.733	0.049	0.741	0.792	0.777	1874.166
Бикинский р-н	Хабар. край	0.473	0.779	0.628	0.059	0.631	0.701	0.679	426.7302
Биробиджанский р-н	Еврейс. АО	0.520	0.797	0.695	0.047	0.698	0.756	0.737	1740.37
Благовещенский МО	Амур. обл.	0.594	0.713	0.672	0.029	0.681	0.705	0.699	83.11609
Бурейский МО	Амур. обл.	0.357	0.806	0.690	0.093	0.718	0.770	0.757	852.4467
Ванинский р-н	Хабар. край	0.247	0.759	0.501	0.095	0.485	0.639	0.588	7838.253
Верхнебуреинский р-н	Хабар. край	0.178	0.777	0.537	0.102	0.534	0.675	0.639	21336.51
Владивостокский ГО	Прим. край	0.512	0.739	0.646	0.063	0.651	0.715	0.698	28.3811
Вяземский р-н	Хабар. край	0.416	0.766	0.599	0.064	0.597	0.685	0.661	1734.288
ГО Белогорск	Амур. обл.	0.574	0.810	0.750	0.058	0.767	0.798	0.788	14.19055
ГО Биробиджан	Еврейс. АО	0.545	0.650	0.598	0.053	0.598	0.640	0.629	2.027222
ГО Большой Камень	Прим. край	0.549	0.820	0.696	0.072	0.715	0.777	0.748	14.19055
ГО Райчихинск	Амур. обл.	0.688	0.821	0.757	0.034	0.760	0.801	0.791	94.26581
ГО Тында	Амур. обл.	0.447	0.703	0.598	0.062	0.617	0.658	0.647	42.57166
ГО Шимановск	Амур. обл.	0.569	0.693	0.641	0.052	0.660	0.686	0.680	3.040833
ГО Южно-Сахалинск	Сахал. обл.	0.438	0.674	0.586	0.060	0.583	0.644	0.640	41.55804
Дальнегорский ГО	Прим. край	0.392	0.775	0.624	0.079	0.629	0.725	0.701	1002.461

Дальнереченский р-н	Прим. край	0.413	0.779	0.613	0.053	0.612	0.681	0.653	2760.062
Долинский ГО	Сахал. обл.	0.380	0.669	0.544	0.064	0.545	0.621	0.601	141.9055
Завитинский МО	Амур. обл.	0.482	0.820	0.696	0.078	0.719	0.784	0.767	2177.236
ЗАТО Фокино	Прим. край	0.570	0.804	0.737	0.044	0.746	0.779	0.769	52.70776
ЗАТО Циолковский	Амур. обл.	0.576	0.806	0.720	0.073	0.748	0.802	0.791	41.55804
Зейский р-н	Амур. обл.	0.180	0.734	0.495	0.108	0.500	0.639	0.600	37781.33
Ивановский МО	Амур. обл.	0.612	0.773	0.703	0.034	0.704	0.749	0.737	1353.17
Кавалеровский р-н	Прим. край	0.518	0.768	0.671	0.045	0.676	0.726	0.712	836.2289
Кировский р-н	Прим. край	0.471	0.804	0.668	0.062	0.661	0.765	0.723	709.5276
Комсомольский р-н	Хабар. край	0.198	0.738	0.511	0.090	0.509	0.637	0.595	3949.028
Константиновский р-н	Амур. обл.	0.576	0.721	0.665	0.033	0.666	0.709	0.696	597.0168
Корсаковский ГО	Сахал. обл.	0.408	0.680	0.540	0.066	0.540	0.639	0.597	57.77582
Красноармейский р-н	Прим. край	0.310	0.750	0.576	0.076	0.585	0.670	0.644	5506.948
Курильский ГО	Сахал. обл.	0.126	0.323	0.224	0.044	0.227	0.277	0.263	163.1913
Лазовский МО	Прим. край	0.488	0.781	0.648	0.056	0.651	0.720	0.695	415.5804
Ленинский р-н	Еврейс. АО	0.473	0.775	0.644	0.058	0.652	0.706	0.696	2044.453
Лесозаводский ГО	Прим. край	0.491	0.754	0.633	0.055	0.630	0.711	0.688	510.8599
Магдагачинский р-н	Амур. обл.	0.425	0.787	0.644	0.071	0.653	0.732	0.709	8903.558
Мазановский р-н	Амур. обл.	0.382	0.724	0.562	0.069	0.566	0.653	0.626	16282.64
Макаровский ГО	Сахал. обл.	0.444	0.678	0.561	0.058	0.557	0.630	0.612	63.85748
Михайловский р-н	Прим. край	0.551	0.835	0.720	0.065	0.726	0.804	0.784	1519.403
Михайловский р-н	Амур. обл.	0.555	0.786	0.671	0.051	0.669	0.741	0.716	1048.074
Надеждинский р-н	Прим. край	0.489	0.810	0.705	0.059	0.713	0.774	0.754	462.2065
Нанайский р-н	Хабар. край	0.187	0.743	0.478	0.088	0.469	0.598	0.560	4357.513
Находкинский ГО	Прим. край	0.591	0.823	0.709	0.053	0.723	0.768	0.742	59.80304
Невельский ГО	Сахал. обл.	0.266	0.562	0.423	0.071	0.423	0.508	0.482	84.1297
Николаевский р-н	Хабар. край	0.250	0.629	0.440	0.075	0.445	0.539	0.510	4696.059
Ногликский ГО	Сахал. обл.	0.324	0.653	0.498	0.056	0.499	0.573	0.551	3737.183
Облученский р-н	Еврейс. АО	0.330	0.785	0.613	0.061	0.611	0.695	0.666	4666.664
Октябрьский МО	Прим. край	0.523	0.827	0.690	0.065	0.693	0.776	0.750	1021.72

Октябрьский р-н	Еврейс. АО	0.401	0.687	0.550	0.065	0.544	0.643	0.617	1227.483
Октябрьский р-н	Амур. обл.	0.558	0.818	0.713	0.053	0.719	0.778	0.761	2810.743
Ольгинский р-н	Прим. край	0.447	0.743	0.627	0.057	0.627	0.703	0.679	900.0864
Охинский ГО	Сахал. обл.	0.274	0.579	0.401	0.042	0.401	0.451	0.432	5179.551
Охотский р-н	Хабар. край	0.150	0.453	0.328	0.048	0.332	0.391	0.370	26053.85
Партизанский ГО	Прим. край	0.537	0.836	0.717	0.053	0.719	0.780	0.764	229.076
Партизанский р-н	Прим. край	0.484	0.836	0.667	0.069	0.663	0.763	0.733	821.0248
Пограничный МО	Прим. край	0.418	0.747	0.582	0.058	0.582	0.659	0.635	1943.092
Пожарский р-н	Прим. край	0.368	0.762	0.556	0.078	0.547	0.668	0.626	5709.67
Поронайский ГО	Сахал. обл.	0.291	0.717	0.531	0.082	0.529	0.639	0.608	934.5492
р-н имени Лазо	Хабар. край	0.163	0.799	0.514	0.104	0.499	0.661	0.615	10239.5
р-н имени Полины Осипенко	Хабар. край	0.153	0.655	0.429	0.057	0.426	0.502	0.470	13852.01
Ромненский МО	Амур. обл.	0.301	0.814	0.528	0.114	0.494	0.709	0.643	6047.202
Свободненский р-н	Амур. обл.	0.493	0.814	0.664	0.056	0.660	0.739	0.711	3449.318
Селемджинский р-н	Амур. обл.	0.159	0.747	0.527	0.106	0.537	0.662	0.626	20869.23
Серышевский МО	Амур. обл.	0.523	0.819	0.679	0.064	0.678	0.766	0.742	2050.535
Сковородинский МО	Амур. обл.	0.385	0.748	0.633	0.056	0.640	0.702	0.684	10980.45
Смидовичский р-н	Еврейс. АО	0.529	0.797	0.699	0.047	0.704	0.757	0.739	1849.84
Смирныховский ГО	Сахал. обл.	0.301	0.687	0.527	0.083	0.537	0.628	0.604	1511.294
Советско-Гаванский р-н	Хабар. край	0.236	0.736	0.510	0.090	0.498	0.646	0.594	3886.184
Солнечный р-н	Хабар. край	0.187	0.740	0.521	0.090	0.516	0.646	0.610	11232.84
Спасский р-н	Прим. край	0.465	0.849	0.724	0.068	0.737	0.802	0.782	2478.278
Тамбовский МО	Амур. обл.	0.510	0.769	0.690	0.039	0.694	0.734	0.722	1502.171
Тернейский МО	Прим. край	0.199	0.728	0.502	0.068	0.503	0.584	0.555	4902.836
Томаринский ГО	Сахал. обл.	0.284	0.602	0.474	0.062	0.476	0.556	0.523	259.4844
Тугуро-Чумиканский р-н	Хабар. край	0.155	0.558	0.348	0.054	0.349	0.415	0.394	33878.93
Тымовский ГО	Сахал. обл.	0.347	0.685	0.569	0.053	0.574	0.638	0.615	1703.88
Тындинский МО	Амур. обл.	0.182	0.717	0.501	0.104	0.515	0.630	0.598	40896.16
Углегорский ГО	Сахал. обл.	0.314	0.615	0.492	0.059	0.486	0.572	0.548	131.7694

Ульчский р-н	Хабар. край	0.201	0.572	0.412	0.053	0.410	0.479	0.453	8421.079
Уссурийский ГО	Прим. край	0.523	0.842	0.700	0.072	0.702	0.798	0.769	1390.674
Хабаровский р-н	Хабар. край	0.150	0.750	0.536	0.094	0.538	0.657	0.626	9687.079
Ханкайский МО	Прим. край	0.454	0.714	0.599	0.055	0.602	0.673	0.652	1717.057
Хасанский р-н	Прим. край	0.506	0.764	0.683	0.051	0.694	0.736	0.724	402.4035
Холмский ГО	Сахал. обл.	0.377	0.637	0.525	0.056	0.531	0.592	0.573	155.0825
Хорольский МО	Прим. край	0.562	0.836	0.713	0.060	0.716	0.791	0.769	1344.048
Черниговский р-н	Прим. край	0.524	0.838	0.736	0.066	0.749	0.810	0.792	1021.72
Чугуевский МО	Прим. край	0.407	0.821	0.637	0.060	0.638	0.712	0.686	2891.832
Шимановский МО	Амур. обл.	0.501	0.813	0.679	0.060	0.681	0.760	0.736	6742.539
Шкотовский р-н	Прим. край	0.548	0.813	0.695	0.053	0.698	0.764	0.744	674.0512
Яковлевский р-н	Прим. край	0.515	0.828	0.681	0.067	0.690	0.765	0.740	933.5356

В итоговый массив попали только те АТЕ, в которых имеют положительные показатели потенциала. Вследствие чего, некоторые АТЕ не представлены в итоговой таблице, хотя и входят в состав исследуемых субъектов федерации.

Представленные сокращения:

- Мин.; Макс. – минимальные и максимальные значения выборки
- Сред. – среднее арифметическое
- Ст. отк. – стандартное отклонение
- 90й пр-ль.;80й пр-ль. – 90й и 80й процентиль

Таблица ПЗ.3. Статистические показатели потенциала территории к развитию солнечной энергетики (CSP) для исследуемых административно-территориальных единиц.

АТЕ*	Регион	Мин.	Макс.	Сред.	Ст.отк.	Медиана	90й пр-ль	80й пр-ль	Площадь
Александровск-Сахалинский р-н	Сахал. обл.	0.362	0.603	0.451	0.035	0.453	0.490	0.473	385.92
Амурский р-н	Хабар. край	0.475	0.760	0.655	0.052	0.654	0.724	0.703	4208
Анивский ГО	Сахал. обл.	0.278	0.637	0.502	0.095	0.515	0.597	0.587	57.6
Анучинский МО	Прим. край	0.456	0.706	0.623	0.055	0.627	0.685	0.678	330.24
Артёмовский ГО	Прим. край	0.483	0.659	0.571	0.063	0.565	0.654	0.646	11.52
Архаринский МО	Амур. обл.	0.485	0.815	0.688	0.090	0.713	0.788	0.774	1370.24
Аяно-Майский р-н	Хабар. край	0.268	0.560	0.451	0.045	0.456	0.503	0.489	16800
Белогорский МО	Амур. обл.	0.677	0.873	0.811	0.042	0.821	0.854	0.845	1691.52
Бикинский р-н	Хабар. край	0.481	0.693	0.615	0.048	0.612	0.683	0.663	58.88
Биробиджанский р-н	Еврейс. АО	0.597	0.804	0.724	0.042	0.725	0.776	0.765	1230.08
Благовещенский МО	Амур. обл.	0.771	0.799	0.787	0.008	0.787	0.797	0.796	19.84
Бурейский МО	Амур. обл.	0.510	0.826	0.757	0.046	0.766	0.803	0.787	357.12
Ванинский р-н	Хабар. край	0.292	0.820	0.578	0.109	0.572	0.740	0.688	1304.96
Верхнебуреинский р-н	Хабар. край	0.301	0.811	0.639	0.099	0.644	0.764	0.739	3811.2
Владивостокский ГО	Прим. край	0.573	0.618	0.595	0.022	0.594	0.617	0.616	2.56
Вяземский р-н	Хабар. край	0.423	0.711	0.600	0.056	0.613	0.665	0.650	639.36
ГО Белогорск	Амур. обл.	0.739	0.870	0.834	0.026	0.834	0.860	0.853	15.36
ГО Биробиджан	Еврейс. АО	0.607	0.715	0.651	0.039	0.646	0.695	0.676	3.84
ГО Райчихинск	Амур. обл.	0.748	0.843	0.808	0.021	0.806	0.842	0.823	19.84
ГО Спасск-Дальний	Прим. край	0.659	0.661	0.660	0.001	0.660	0.661	0.660	1.28
ГО Тында	Амур. обл.	0.635	0.669	0.649	0.014	0.646	0.665	0.662	2.56
ГО Шимановск	Амур. обл.	0.860	0.860	0.860	0.000	0.860	0.860	0.860	0.64
ГО Южно-Сахалинск	Сахал. обл.	0.455	0.620	0.525	0.049	0.507	0.579	0.577	7.68
Дальнегорский ГО	Прим. край	0.442	0.744	0.602	0.076	0.597	0.707	0.691	144.64
Дальнереченский р-н	Прим. край	0.385	0.676	0.561	0.048	0.551	0.640	0.600	683.52

Долинский ГО	Сахал. обл.	0.438	0.629	0.558	0.050	0.566	0.611	0.608	48.64
Завитинский МО	Амур. обл.	0.564	0.854	0.746	0.074	0.778	0.817	0.810	1117.44
ЗАТО Фокино	Прим. край	0.658	0.705	0.674	0.017	0.676	0.693	0.682	3.2
ЗАТО Циолковский	Амур. обл.	0.733	0.918	0.871	0.060	0.896	0.918	0.916	23.04
Зейский р-н	Амур. обл.	0.284	0.841	0.654	0.102	0.668	0.779	0.757	15096.32
Ивановский МО	Амур. обл.	0.725	0.820	0.772	0.020	0.775	0.795	0.789	1303.68
Кавалеровский р-н	Прим. край	0.505	0.724	0.640	0.050	0.650	0.697	0.686	104.96
Кировский р-н	Прим. край	0.433	0.688	0.604	0.056	0.579	0.674	0.669	284.8
Комсомольский р-н	Хабар. край	0.327	0.754	0.547	0.078	0.532	0.659	0.628	750.08
Константиновский р-н	Амур. обл.	0.664	0.751	0.720	0.019	0.726	0.740	0.738	477.44
Корсаковский ГО	Сахал. обл.	0.435	0.625	0.534	0.078	0.511	0.618	0.615	5.76
Красноармейский р-н	Прим. край	0.307	0.645	0.548	0.052	0.562	0.599	0.590	1732.48
Лазовский МО	Прим. край	0.488	0.671	0.574	0.049	0.570	0.647	0.632	53.12
Ленинский р-н	Еврейс. АО	0.526	0.762	0.670	0.041	0.676	0.722	0.696	1660.8
Лесозаводский ГО	Прим. край	0.471	0.639	0.587	0.038	0.588	0.632	0.626	122.24
Магдагачинский р-н	Амур. обл.	0.611	0.917	0.799	0.064	0.813	0.872	0.856	4197.12
Мазановский р-н	Амур. обл.	0.490	0.802	0.671	0.072	0.682	0.754	0.739	10432
Макаровский ГО	Сахал. обл.	0.486	0.709	0.605	0.063	0.603	0.697	0.660	18.56
Михайловский р-н	Прим. край	0.490	0.704	0.650	0.038	0.660	0.689	0.683	540.8
Михайловский р-н АО	Амур. обл.	0.652	0.802	0.717	0.040	0.713	0.775	0.754	741.76
Надеждинский р-н	Прим. край	0.496	0.688	0.642	0.043	0.652	0.681	0.674	106.88
Нанайский р-н	Хабар. край	0.289	0.724	0.528	0.070	0.529	0.622	0.590	1934.08
Находкинский ГО	Прим. край	0.506	0.709	0.619	0.064	0.613	0.707	0.699	11.52
Невельский ГО	Сахал. обл.	0.460	0.460	0.460	0.000	0.460	0.460	0.460	0.64
Николаевский р-н	Хабар. край	0.364	0.685	0.536	0.063	0.543	0.615	0.601	1271.68
Ногликский ГО	Сахал. обл.	0.382	0.694	0.548	0.055	0.543	0.620	0.606	1352.96
Облученский р-н	Еврейс. АО	0.499	0.808	0.659	0.057	0.651	0.743	0.716	1362.56
Октябрьский МО	Прим. край	0.499	0.697	0.623	0.053	0.639	0.678	0.671	275.2
Октябрьский р-н	Еврейс. АО	0.509	0.678	0.622	0.038	0.635	0.658	0.655	508.8
Октябрьский р-н АО	Амур. обл.	0.653	0.858	0.772	0.051	0.782	0.834	0.815	2049.28



Ольгинский р-н	Прим. край	0.464	0.707	0.598	0.058	0.604	0.675	0.661	133.76
Охинский ГО	Сахал. обл.	0.327	0.606	0.462	0.037	0.463	0.499	0.486	2816.64
Охотский р-н	Хабар. край	0.270	0.622	0.464	0.059	0.468	0.542	0.510	8574.72
Партизанский ГО	Прим. край	0.521	0.730	0.653	0.046	0.659	0.701	0.684	32.64
Партизанский р-н	Прим. край	0.483	0.718	0.631	0.058	0.637	0.709	0.697	86.4
Пограничный МО	Прим. край	0.413	0.628	0.519	0.038	0.508	0.572	0.560	407.68
Пожарский р-н	Прим. край	0.385	0.674	0.526	0.073	0.515	0.632	0.606	1701.12
Поронайский ГО	Сахал. обл.	0.382	0.743	0.591	0.069	0.589	0.683	0.658	693.12
р-н имени Лазо	Хабар. край	0.267	0.747	0.554	0.097	0.565	0.669	0.640	4188.16
р-н имени Полины Осипенко	Хабар. край	0.283	0.717	0.512	0.047	0.507	0.580	0.540	6325.76
Ромненский МО	Амур. обл.	0.397	0.857	0.618	0.108	0.590	0.783	0.728	3834.88
Свободненский р-н	Амур. обл.	0.685	0.916	0.790	0.052	0.785	0.877	0.831	1315.2
Селемджинский р-н	Амур. обл.	0.269	0.820	0.671	0.100	0.697	0.776	0.755	7112.32
Серышевский МО	Амур. обл.	0.649	0.871	0.770	0.052	0.762	0.841	0.826	1488
Сковородинский МО	Амур. обл.	0.565	0.886	0.785	0.054	0.801	0.843	0.829	2556.16
Смидовичский р-н	Еврейс. АО	0.581	0.806	0.722	0.040	0.728	0.765	0.752	1793.92
Смирныховский ГО	Сахал. обл.	0.388	0.691	0.622	0.060	0.639	0.674	0.666	645.12
Советско-Гаванский р-н	Хабар. край	0.316	0.799	0.587	0.100	0.578	0.740	0.687	686.08
Солнечный р-н	Хабар. край	0.283	0.786	0.583	0.084	0.561	0.704	0.677	4842.88
Спасский р-н	Прим. край	0.438	0.719	0.658	0.039	0.666	0.697	0.687	1331.84
Тамбовский МО	Амур. обл.	0.616	0.800	0.750	0.029	0.752	0.781	0.773	1404.16
Тернейский МО	Прим. край	0.281	0.728	0.551	0.066	0.561	0.615	0.605	952.96
Томаринский ГО	Сахал. обл.	0.370	0.547	0.474	0.034	0.477	0.512	0.489	41.6
Тугуро-Чумиканский р-н	Хабар. край	0.241	0.649	0.453	0.054	0.454	0.520	0.506	13655.68
Тымовский ГО	Сахал. обл.	0.480	0.676	0.607	0.039	0.615	0.651	0.641	570.88
Тындинский МО	Амур. обл.	0.286	0.838	0.650	0.110	0.674	0.779	0.751	6250.88
Углегорский ГО	Сахал. обл.	0.436	0.526	0.488	0.034	0.501	0.526	0.522	11.52
Ульчский р-н	Хабар. край	0.316	0.638	0.500	0.047	0.495	0.569	0.536	1998.72
Уссурийский ГО	Прим. край	0.504	0.706	0.656	0.046	0.672	0.698	0.693	341.76

Хабаровский р-н	Хабар. край	0.311	0.739	0.606	0.061	0.611	0.679	0.659	5189.12
Ханкайский МО	Прим. край	0.442	0.586	0.543	0.030	0.552	0.572	0.569	755.84
Хасанский р-н	Прим. край	0.488	0.666	0.605	0.031	0.610	0.638	0.626	73.6
Холмский ГО	Сахал. обл.	0.440	0.566	0.498	0.041	0.501	0.542	0.519	3.84
Хорольский МО	Прим. край	0.503	0.704	0.624	0.046	0.625	0.686	0.666	811.52
Черниговский р-н	Прим. край	0.465	0.704	0.667	0.039	0.680	0.694	0.692	445.44
Чугуевский МО	Прим. край	0.394	0.687	0.562	0.052	0.563	0.624	0.602	475.52
Шимановский МО	Амур. обл.	0.690	0.914	0.819	0.053	0.825	0.884	0.871	3643.52
Шкотовский р-н	Прим. край	0.476	0.704	0.634	0.046	0.634	0.685	0.673	76.16
Яковлевский р-н	Прим. край	0.477	0.709	0.596	0.059	0.597	0.675	0.656	224.64

В итоговый массив попали только те АТЕ, в которых имеют положительные показатели потенциала. Вследствие чего, некоторые АТЕ не представлены в итоговой таблице, хотя и входят в состав исследуемых субъектов федерации.

Представленные сокращения:

- Мин.; Макс. – минимальные и максимальные значения выборки
- Сред. – среднее арифметическое
- Ст. отк. – стандартное отклонение
- 90й пр-ль.;80й пр-ль. – 90й и 80й процентиль