

На правах рукописи

ДЕМИДИОНОВ Михаил Юрьевич

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

1.6.13. Экономическая, социальная,
политическая и рекреационная география

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург

2024

Работа выполнена на кафедре экономической географии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена»

**Научный
руководитель:**

ГЛАДКИЙ Юрий Никифорович

доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической географии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена»

**Официальные
оппоненты:**

ЛОПАТНИКОВ Димитрий Леонидович

доктор географических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории географии мирового развития Института географии РАН

ДЕГТЯРЕВ Кирилл Станиславович

кандидат географических наук, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета федерального государственного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова"»

**Ведущая
организация:**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»

Защита состоится «24» мая 2024 г. в 14:00 часов на заседании Совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 33.3.018.02, созданного на базе Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена, по адресу 191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48, корп. 12, ауд. № 21.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена по адресу: 191186, г. Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48, корп.5 и на сайте университета по адресу: https://disser.herzen.spb.ru/Preview/Karta/karta_000001009.html

Автореферат разослан «__» _____ 2024 года

Ученый секретарь
диссертационного совета

Ирина Евгеньевна Сазонова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 потребуются 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. Андрюхин, Г.Л. Багиев, В.Б. Вейнберг, В.З. Жук, М.И. Калинин, П.С. Каньгин, 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 – M. 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 энергетике в странах и регионах мира.

Основная цель исследования – выявление пространственных особенностей и закономерностей развития мировой альтернативной энергетике 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 энергетике мира и определение специфической роли пространственного моделирования в альтернативной энергетике;

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

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

Методы исследования. 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 энергетике 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 энергетике (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. Её 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». Полученные автором результаты были использованы АО «Газпром промгаз» в научно-исследовательском проекте «Разработка генеральной схемы газоснабжения и газификации Челябинской области».

Структура, содержание и объем диссертации определены поставленными задачами и целью исследования. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка, списка сокращений и приложения. Объем работы составляет 242 страницы, включая 8 таблиц, 57 рисунков и 21 приложение. Библиографический список включает 193 наименования, в том числе 153 на иностранном языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В *Главе I «Концептуальные основы нового энергоуклада: роль географических факторов»* внимание концентрируется на дискуссионных вопросах, связанных с использованием возобновляемых источников энергии, на географическом осмыслении наблюдающейся трансформации мировой энергетики, а также на обосновании специфической роли физико-географического потенциала территории при развитии альтернативной энергетики (в отличие от традиционной парадигмы развития энергоуклада, где данный фактор не играет ключевой роли).

В общественном сознании понятия «возобновляемая» и «альтернативная» энергетика уже давно слились в единое понятие. 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. И если последний фактор можно считать аксиомой, то граница, по которой происходит деление источников энергии на возобновляемые и не возобновляемые, продолжает быть предметом дискуссии.

Отмечается, что трансформация мировой энергетики происходит под знаком борьбы экологического и энергетического рационализма. По мнению многих экологов, едва ли не важнейшим фактором для выделения энергетики как альтернативной, является отсутствие негативного влияния на природу. На фоне традиционных источников энергии, солнечная и ветровая энергия действительно являются более экологичными, однако современные исследования показывают, что полное исключение их негативного воздействия на окружающую среду неправомерно.

Важнейшим критерием для выделения тех или иных видов энергоносителей как альтернативных служит тот факт, что на современном этапе развития как энергетики, так и экономики, они приобретают все большую *экономическую и экологическую* значимость.

Приводится обоснование специфической роли физико-географического потенциала территории при развитии альтернативной энергетики, что делает вклад географической науки в ее проектирование особенно важным.

Глава II «Диагностика развития альтернативной энергетики стран как средство их классификации» содержит изложение авторской концепции географической диагностики развития альтернативной энергетики; подходы к методике классификации стран в зависимости от многомерных критериев развития альтернативной энергетики, результаты региональной диагностики развития ветровой и солнечной энергетики.

Идея *региональной диагностики развития альтернативной энергетики* ассоциируется автором с сугубо *географическим* подходом к оценке стран и регионов с учетом, прежде всего, физико-географического (природного) потенциала территории – мощности солнечного излучения, скорости ветра, плотности воздуха, особенностей ландшафта и конкретного рельефа и т.д. Он позволяет получить реальное представление о предпосылках и возможностях развития различных видов альтернативной энергетики в странах и осуществить соответствующую *классификацию*.

В рамках исследования предпринята попытка разработки «*триединой*» методики классификации стран в зависимости от 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 (природный потенциал, доля выработки электроэнергии и суммарная выработка электроэнергии). Все показатели стран, 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). Каждому классу были присвоены собственные значения необходимые для последующей классификации стран. 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 (рис.1).

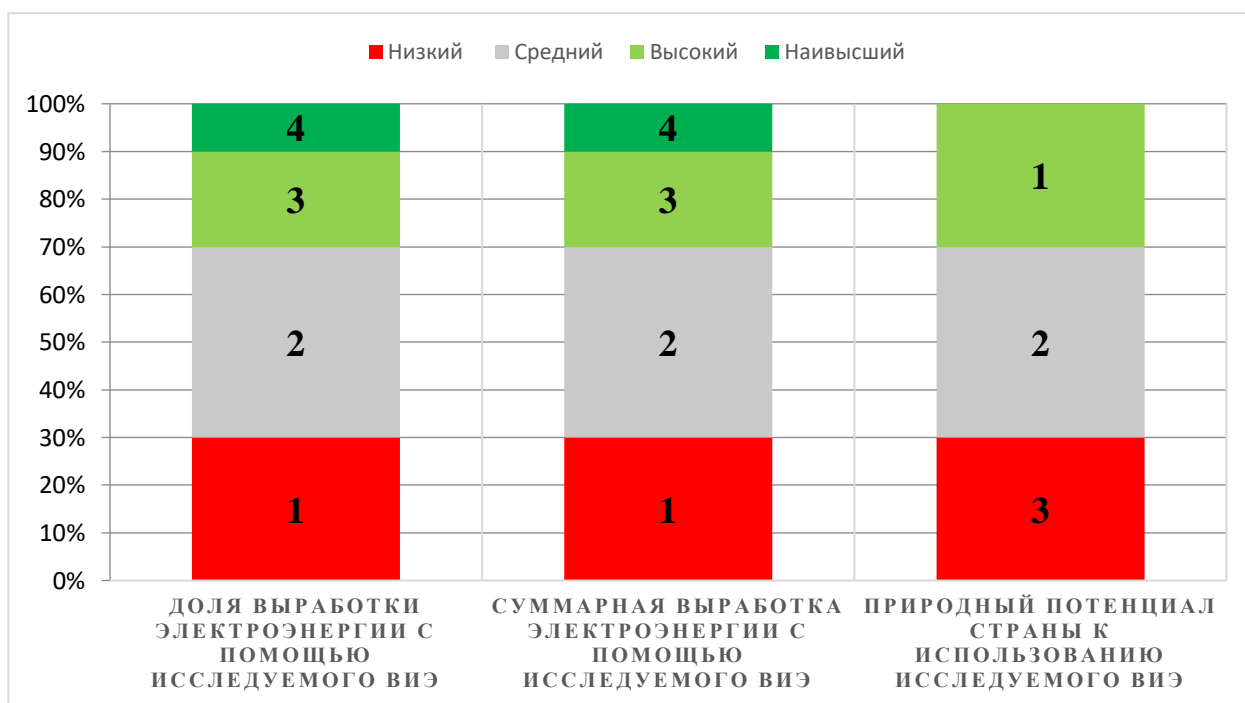


Рис.1. Систематизация стран по категориям с учётом многомерных критериев. Сост. авт.

В случае с оценкой *физико-географического потенциала* в расчёт берётся весь набор данных по странам. Для доли и выработки альтернативной 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 природного потенциала, составляют первые 30% от списка, а в средний класс попадают те, чьи показатели находятся в дельте 30-70%. Страны с высоким потенциалом принадлежат отрезку от 70 до 100%. В случае же с двумя другими показателями, к высоким значениям относятся 70-90%, а промежуток от 90 до 100% занимают страны с наивысшими показателями.

Итоговой структурой классификации, является деление стран по трем 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 (рис.2).

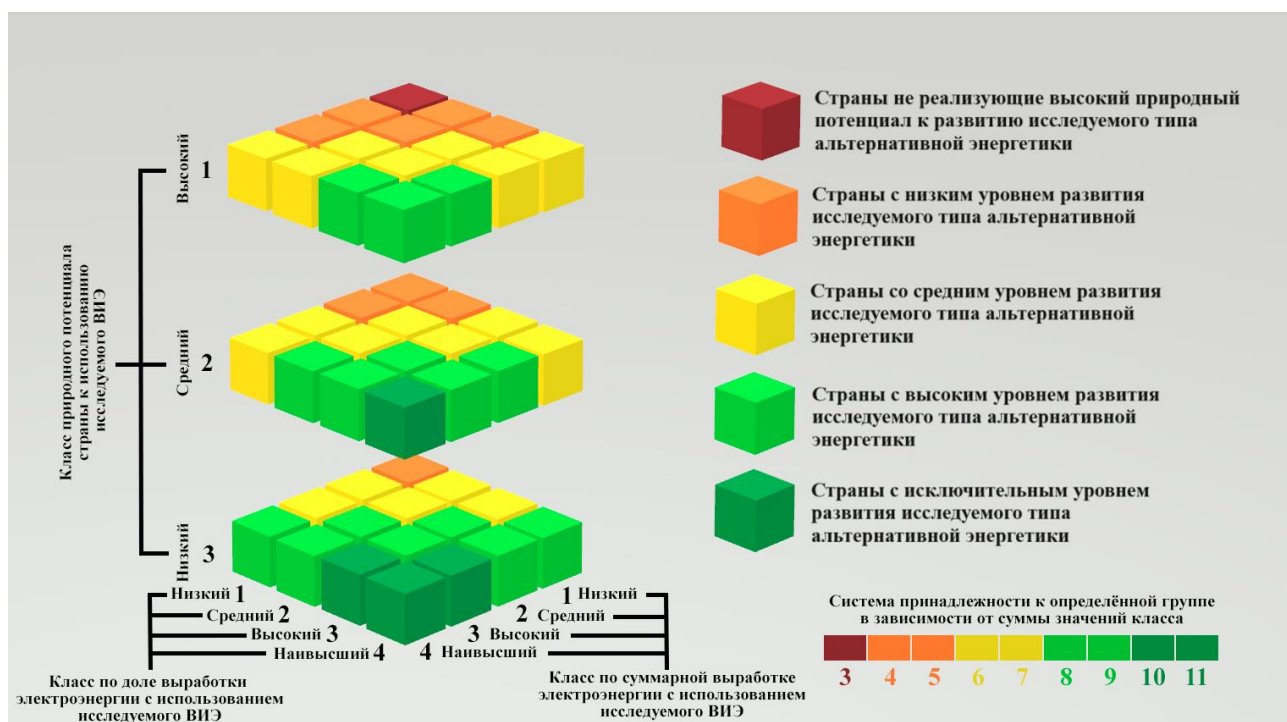


Рис.2. Система классификации стран по уровню развития различных видов альтернативной энергетики. Сост. авт.

На основе разработанной методики были получены массивы данных по уровню развития солнечной и ветровой энергетик в различных странах мира. Всего была проведена систематизация 213 стран за период времени с 2005 по 2021 гг. В качестве природного потенциала в случае с ветроэнергетикой был использован показатель плотности энергии ветра, а для солнечной энергетик – фотоэлектрический потенциал территории.

Несмотря на то, что изначально в структуре данной систематики географические особенности стран закладывались только в природный потенциал и картина мира, составленная на основе данной классификации могла иметь определённую степень хаотичности, по факту, в ней довольно ярко выражена именно региональная составляющая.

Главной причиной сложившейся структуры, является комплексность процессов, формирующих любую энергосистему. И если природный потенциал напрямую влияет на перспективу использования того или иного ВИЭ, что 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, и уровень экономического развития, экологические нормы и пр.

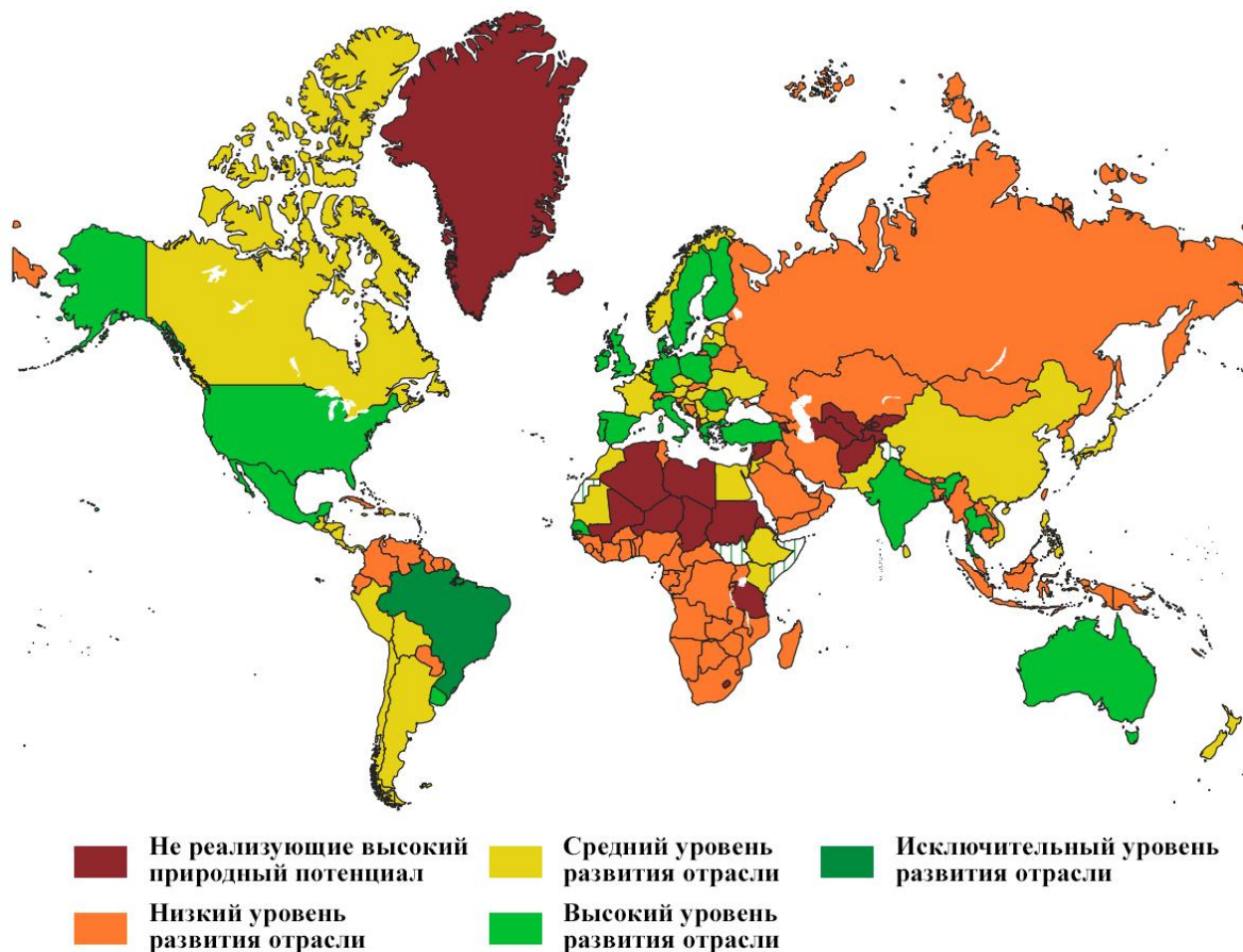


Рис.3. Классификация стран мира по уровню развития ветровой энергетики (на 2021 г.). Сост. авт.

В ряде выделенных с использованием представленных методов диагностики, регионах мира, заметно постепенное развитие исследуемых типов энергетики в течение исследуемого периода. В случае с ветроэнергетикой стоит выделить страны Северной и Западной Европы, страны юга Южной Америки, а также группу государств включающую в себя Мексику, Центральную Америку и Карибский бассейн (рис.3).

С позиции развития солнечной энергетики в позитивном ключе выделяются Австралия и Океания, группа Южно-Американских стран и группа Средиземноморских стран (рис.4). Заметно постепенное развитие данного направления в странах Юго-Западной Азии и Северной Африки.

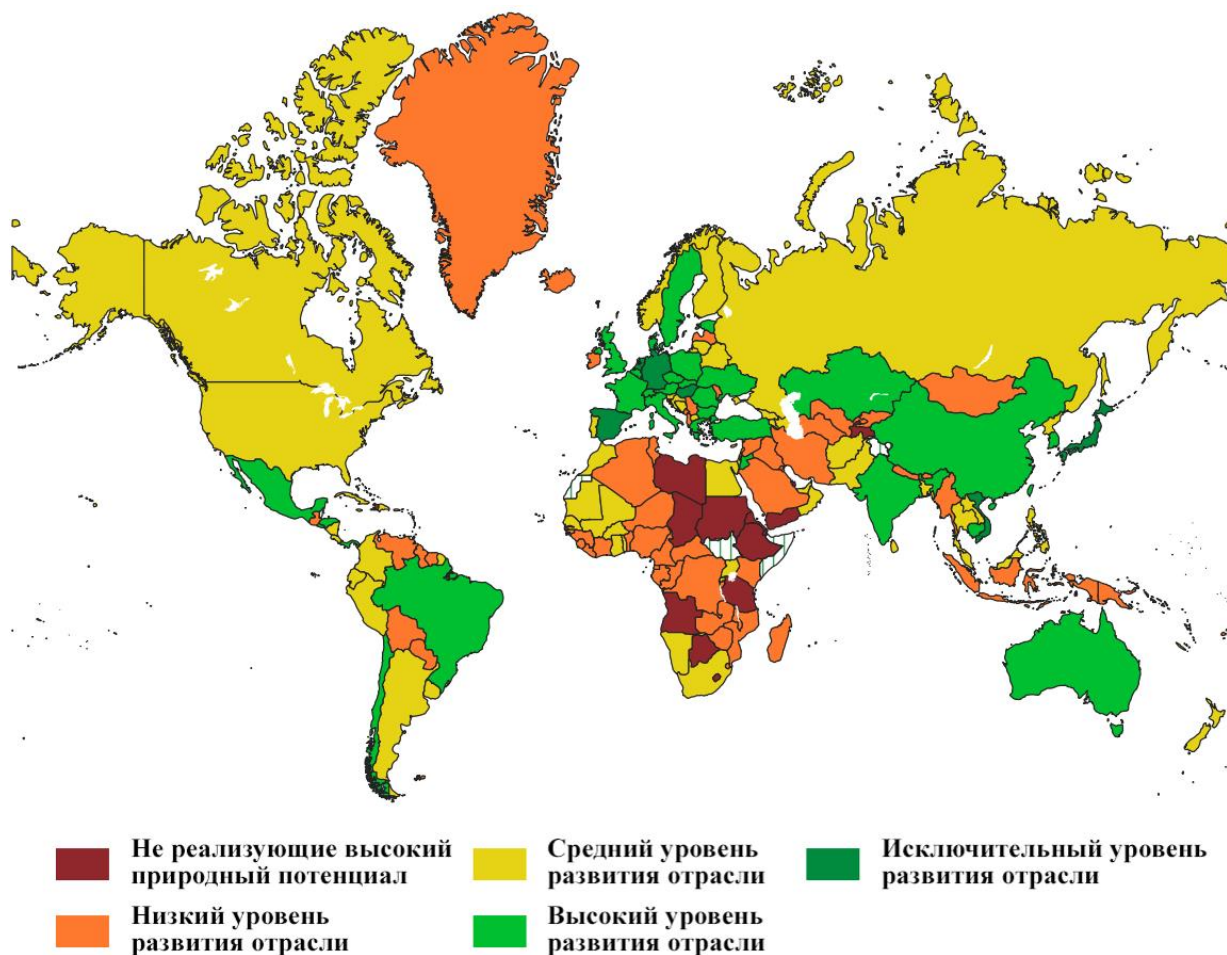


Рис.4. Классификация стран мира по уровню развития солнечной энергетики (на 2021 г.). Сост. авт.

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.

Возросшее значение пространственного моделирования в области альтернативной энергетики ассоциируется автором с особой ролью природно-географических факторов в ее развитии. Одним из основных аспектов применения геопространственных методов в планировании размещения предприятий альтернативной энергетики является возможность комплексного использования данных для определения наиболее подходящего местоположения для внедрения соответствующих технологий. Учитывая невысокие показатели по уровню развития российской ветровой и солнечной энергетики, рассчитанные согласно методике, представленной в Главе II, важно обратить особое внимание на данные сферы, в том числе и используя географический подход.

В Главе III «Пространственное моделирование при оценке потенциала территорий ДФО РФ к развитию некоторых типов альтернативной

энергетики через призму производства «зелёного» водорода» рассматриваются методологические основы пространственного моделирования потенциала территорий на предмет развития кластера ветровой и солнечной энергетик в возможности последующего производства «зеленого» водорода. В исследовании рассматриваются 2 типа солнечных электростанций (СЭС) – PV (фотоэлектрические панели) и CSP (системы концентрирующего типа).

Учитывая геополитический фактор, а также необходимость развития Дальнего Востока, среди объявленных проектов создания в РФ 3 основных кластеров по производству водорода (Северо-Западного, Восточного и Арктического), первостепенное внимание следует уделить Восточному. С позиции географической науки, особенный интерес в этой связи вызывает вопрос выделения и обоснования более точных местоположений кластеров по производству «зелёного» водорода.

В данном исследовании было принято решение оценить пространственный потенциал некоторых субъектов ДВФО. В качестве опытного полигона была использована совокупность территорий, представленных на (рис.5). Выбор был обусловлен тем, что 4 из 5 расположенных на исследуемой территории субъектов имеют границу с КНР, одним из основных торговых партнёров РФ, а также тем фактом, что в них находятся относительно крупные города, в которых может возникнуть необходимость потребления водорода.

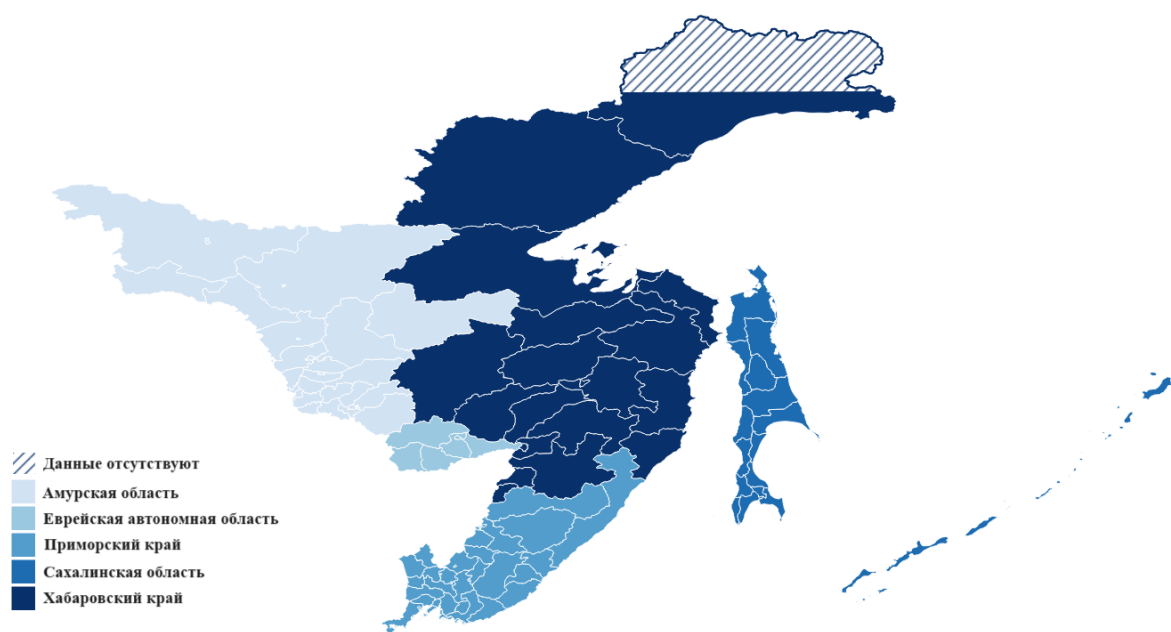


Рис.5. Территории ДФО РФ, выбранные для оценки их потенциала к развитию альтернативной энергетики. Сост. авт.

При оценке потенциала территории к развитию альтернативной энергетики было принято решение использовать метод анализа иерархий (АИР), что объясняется возможностью учета большего числа параметров, их попарного сравнения, оценки мнения экспертов.

Сам метод представляет собой подход к решению комплексных задач, в котором последняя раскладывается на критерии, которым впоследствии присваивается определённый вес, на основе матриц попарного сравнения критериев. Итоговые веса критериев представлены в (табл.1).

После получения значений веса критериев, были унифицированы их абсолютные показатели. В данном исследовании для выполнения поставленной задачи был применен инструментарий нечёткой логики. Для расчёта степени принадлежности значения критерия к нечёткому множеству, были использованы 6 различных функций. Использование нескольких функций, обусловлено пространственной дифференциацией факторов и тем фактом, что зачастую показатели их влияния на искомые итоговые значения потенциала, изменяются нелинейно.

Для расчёта принадлежности значений строго ограничивающих хозяйственную деятельность критериев применялась булева логика. В результате, территории были классифицированы на 2 типа – 1 (исследуемый тип хозяйственной деятельности разрешён на данной территории) и 0 (исследуемый тип хозяйственной деятельности запрещён на данной территории). В качестве последних были выбраны: ООПТ, населённые пункты, водные объекты, некоторые объекты с различными характеристиками землепользования, территории с неподходящими значениями уклона поверхности и прочее.

Табл.1. Веса критериев, функции и параметры унификации при расчёте итоговых значения потенциала ветровой и солнечной (PV и CSP) энергетики.

Ветроэнергетика			
Критерий	Вес	Функция унификации	Параметры
Плотность энергии ветра (Вт/м ²)	0.393	Сигмоидальная (VI)	a – 17, b – 1086
Уклон поверхности (°)	0.083	Линейная убывающая (II)	a – 2, b – 20
Расст. до аэропорта (м)	0.022	Линейная убывающая 2го типа (III)	a – 10000, b – 30000
Расст. до нас. пунктов (м)	0.092	Треугольная (IV)	a – 1200, b – 3300, c – 50000
Расст. до авт. дорог (м)	0.071	Треугольная (IV)	a – 500, b – 1200, c – 30000
Расст. до ЛЭП (м)	0.149	Трапецевидная (V)	a – 500, b – 1000, c – 15000, d – 60000
Расст. до ЖД (м)	0.071	Треугольная (IV)	a – 500, b – 1200, c – 25000
Расст. до ООПТ (м)	0.029	Линейная возрастающая (I)	a – 1000, b – 25000

Расст. до круп. водоёмов (м)	0.099	Трапецевидная (V)	a – 200, b – 1000, c – 20000, d – 25000
Солнечная энергетика (PV и CSP)			
Суммарная солнечная радиация (PV) (кВт/м ²)	0.383	Линейная возрастающая (I)	a – 1000, b – макс. значение массива
Прямая солнечная радиация (CSP) (кВт/м ²)			
t ⁰ возд.	0.104	Линейная убывающая (II)	a – мин. значение массива, b – макс. значение массива
Уклон поверхности (PV) (°)	0.093	Линейная убывающая (II)	a – 4, b – 10
Уклон поверхности (CSP) (°)			a – 2.1, b – 2.11
Экспозиция склона (PV) (°)	0.08	Трапецевидная (V)	a – 0, b – 135, c – 225, d – 360
Экспозиция склона (CSP) (°)		-	Всей выборке присвоено значение «1»
Расст. до нас. пунктов (м)	0.046	Линейная убывающая 2го типа (III)	a – 500, b – 50000
Расст. до авто. дорог (м)	0.069	Линейная убывающая 2го типа (III)	a – 500, b – 30000
Расст. до ЛЭП (м)	0.133	Трапецевидная (V)	a – 500, b – 1000, c – 15000, d – 60000
Расст. до ЖД (м)	0.069	Линейная убывающая 2го типа (III)	a – 500, b – 25000
Высота над уровнем моря (м)	0.022	Трапецевидная (V)	a – мин. значение массива, b – 1000, c – 2000, d – 3000

Для итогового расчёта данных был использован метод взвешенной линейной комбинации (WLC). Рассчитанные значения потенциала находятся в промежутке от 0 (отсутствие потенциала) до 1 (наивысший потенциал). Для оценки потенциала ветроэнергетики, дополнительно была введена температурная поправка, в связи с техническими особенностями турбины. Данные по среднемесячной температуре воздуха были рассчитаны на основе данных со 100 метеостанций, расположенных в пределах территории исследования.

По итогу, было получено 3 массива данных по искомым потенциалам исследуемой территории к размещению ВЭС и СЭС (PV и CSP технологии). По полученным массивам был произведён статистический анализ, для оценки и выявления территорий, обладающих наиболее высоким потенциалом.

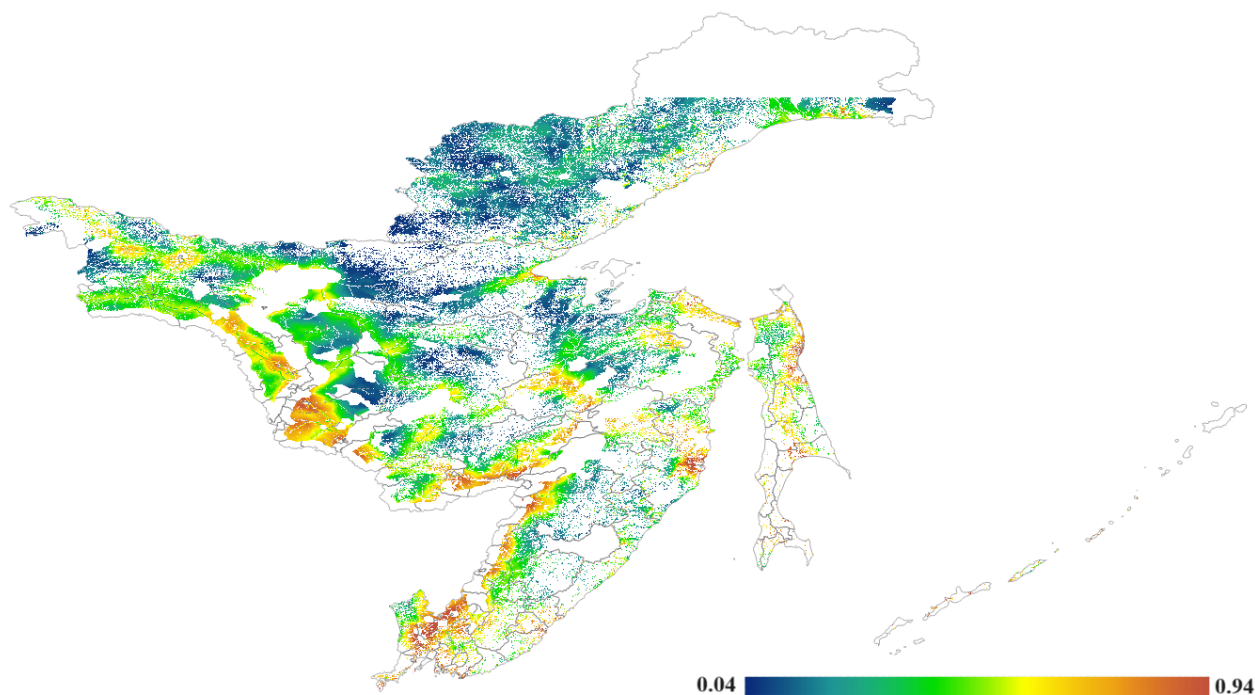


Рис.6. Потенциал территории ДФО РФ к размещению ВЭС с прицелом на производство «зелёного» водорода. Сост. авт.

В случае с потенциалом территории к развитию *ветроэнергетики* (рис.6), с первого взгляда, выделяются территории, расположенные вдоль границы с КНР, что обусловлено в том числе и существующими экономико-географическими реалиями. 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 г. Советская Гавань. Отдельные небольшие участки с высоким потенциалом, расположены на Курильских островах (в особенности Итуруп и Симушир), на юге Приморского края, на материковом побережье Сахалинского залива.

Для каждой более мелкой единицы деления субъектов федерации были рассчитаны следующие показатели относительно полученного потенциала: минимальное и максимальное значения, среднее значение, стандартное отклонение, размах, сумма, медиана, процентиль (90 и 80).

С позиции средних значений, особенно выделяются Владивостокский ГО (Приморский край) и Южно-Курильский ГО (Сахалинская обл.). Важно отметить, что все упомянутые территории обладают небольшой площадью, пригодной для установки комплекса ВЭС. К примеру, площадь подобных территорий в случае с Южно-Курильским ГО составляет около 26 км². Безусловно, даже столь низкий показатель является достаточным для крупного

ветропарка ВЭС. Однако бóльшая площадь повышает вариативность выбора внутри района. С этой стороны, стоит выделить Надеждинский и Спасский р-ны., Хорольский МО (все Приморский край) и Белогорский МО (Амурская обл.).

Более показательным критерием для оценки потенциала отдельного адм.образования, чем среднее арифметическое, является процентиль. В рамках данного исследования были рассчитаны 90-й и 80-й процентиля (рис.7). 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 более эффективные территории.

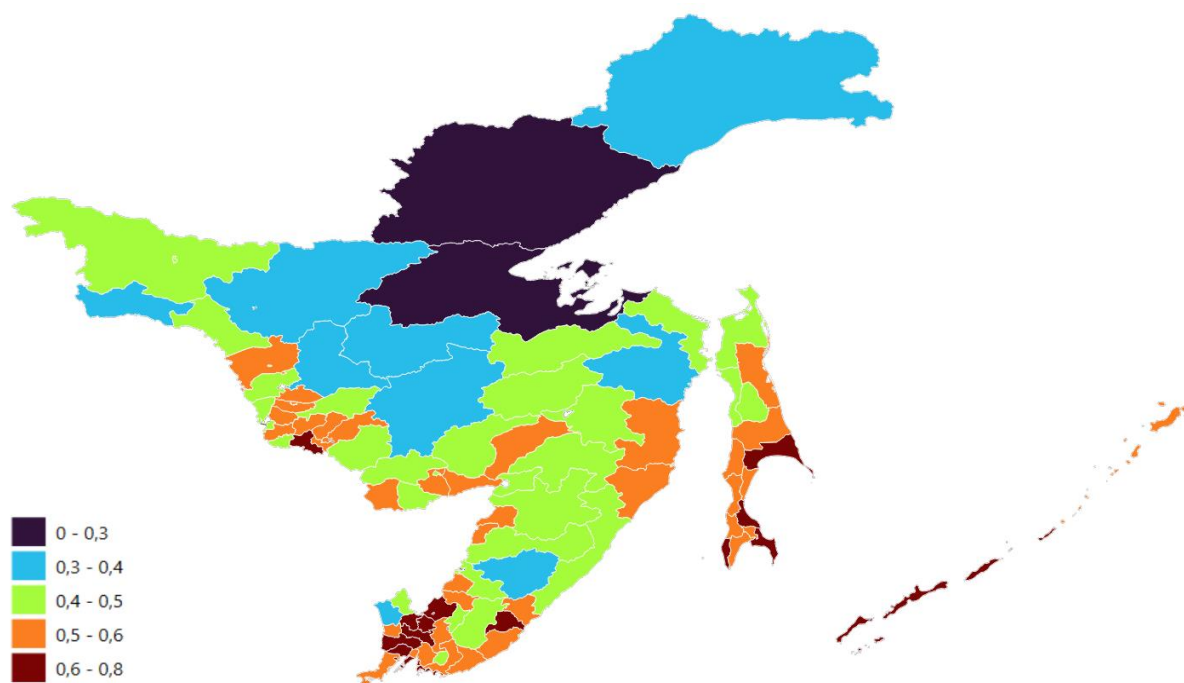


Рис.7. 90-й процентиль по массиву данных потенциала территории ДФО РФ к ветроэнергетике. Сост. авт.

Согласно полученным данным, подобные территории расположены во Владивостокском и Южно-Курильском ГО. Отдельно выделяется Хорольский МО, как высокими показателями, так и большими значениями площади, имеющей высокий потенциал. В случае с Южно-Курильским ГО стоит отметить небольшую площадь, которую занимают наиболее эффективные территории: - 2.6 км², хотя показатель процентиля (90-й) высок.

В целом можно утверждать, что в исследуемых субъектах ДВФО РФ есть территории, обладающие высоким потенциалом к ветроэнергетике и в том числе в связке с её использованием для производства «зелёного» водорода, так как все выделенные выше территории, обладающие высокими значениями потенциала, имеют и большие преимущества с точки зрения последующего экспорта.

Практически все из вышеупомянутых территорий имеют близкое к пограничному положение с КНР, а учитывая дороговизну транспортировки

упомянутого энергоресурса, близость к потенциальному импортёру, является одним из ключевых факторов размещения.

Особенно важно учитывать приморское положение многих территорий с высоким потенциалом, так как именно морские перевозки являются одним из наиболее выгодных методов транспортировки водорода на дальние расстояния. Это актуально, как для Сахалинской обл., так и для юга Приморского края.

Подводя итог, можно утверждать следующее:

1. С позиции развития ветроэнергетики на исследуемой территории есть зоны с высоким ветроэнергетическим потенциалом, в том числе и для производства «зелёного» водорода. Лидерами по рассчитанному потенциалу являются южные территории о. Сахалин и Приморского края.

2. О. Сахалин и Приморский край обладают портовой инфраструктурой, которая при необходимой модернизации может стать большим подспорьем для создания крупного узла международной торговли водородом. Приморский край обладает и возможностью экспорта водорода по трубам, также в нём более реален сценарий с внутренним потреблением упомянутого энергоресурса.

3. На данных территориях, имеется потенциал не только для развития ветроэнергетики, но и для её последующего использования в рамках производства «зелёного» водорода, что может стать ещё одним фактором развития дальневосточных территорий.

Наличие развитой инфраструктуры вдоль границы России и Китая, сыгравшее значимую роль в относительно высоких значениях потенциала к размещению ВЭС, сказалось и в случае с *СЭС (PV)* (рис.8). Это связано с тем, что помимо упомянутой инфраструктуры, там находится одна из зон, с наиболее высокими значениями суммарной солнечной радиации (GHI).

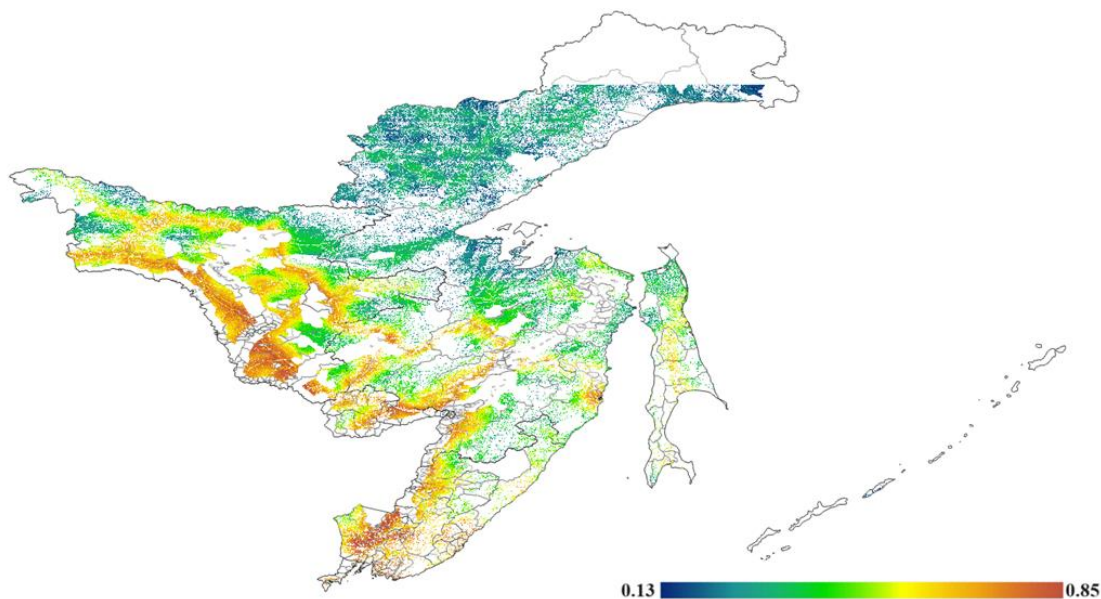


Рис.8. Потенциал территории ДФО РФ к размещению СЭС (PV). Сост. авт.

Особо стоит выделить юго-восток Амурской обл., 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 можно выделить полосу, протянувшуюся от юга Поронайского ГО до севера Тымовского района.

Так же, как и в случае с ВЭС, для более точного вычленения районов с наиболее высоким потенциалом, был произведён статистический анализ полученного массива данных.

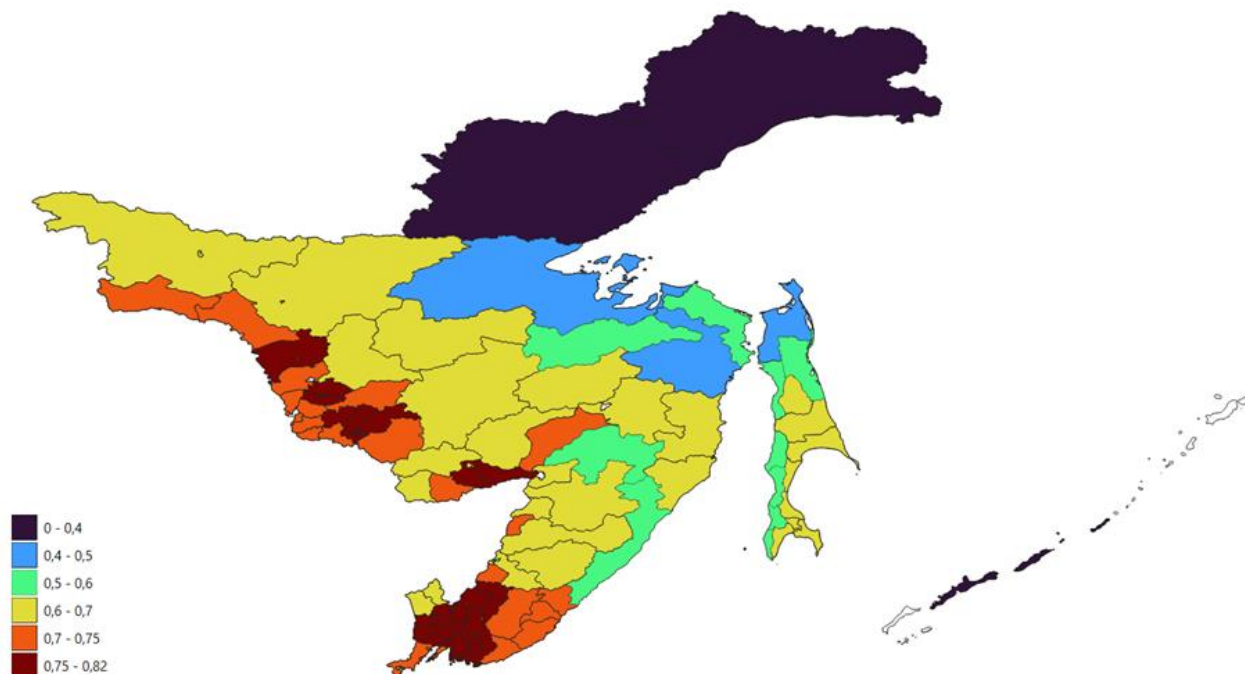


Рис.9. 90-й процентиль по массиву данных потенциала территории ДФО РФ к солнечной энергетике (PV). Сост. авт.

С позиции средних значений, особенно выделяются ГО Райчихинск и ГО Белогорск (оба Амурская обл.). Несмотря на относительно небольшую площадь пригодных территорий в данных АТЕ наблюдаются наиболее высокие средние показатели искомого потенциала. Отдельно можно выделить Белогорский МО (Амурская обл.) и Черниговский р-н (Приморский край).

Последний также выделяется и по высокому значению 90го процентилля (рис.9). Около 102 км² его площади обладают потенциалом 0.81, что делает данный район одним из наиболее подходящих для размещения СЭС (PV). Также стоит отметить и высокие показатели ранее не упомянутого Спасского р-на (Приморский край).

Говоря о возможном использовании СЭС (PV) для производства «зелёного» водорода, стоит упомянуть, что показатели GHI исследуемой территории не столь высоки. В целом, если изучать возможность производства водорода только за счёт электроэнергии полученной на СЭС, то в первую очередь стоит рассматривать либо юг Приморского края, либо юг Еврейской АО, а также некоторые районы Амурской области. На данных территориях есть участки, где показатели GHI превышают 1360 кВт/м², однако вопрос насколько при таких

значениях возможно экономически эффективное производство водорода является спорным.

Если рассматривать солнечную энергетику (PV), как вспомогательную, действующую в связке с ветровой, то можно выделить несколько территорий, обладающих высоким потенциалом относительно обеих исследуемых энергетик, а именно:

- в Амурской обл.: 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.

На основе всех рассчитанных данных и последующего их анализа, можно сделать следующие выводы:

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

2. Высоким потенциалом, обладают также некоторые АТЕ Амурской области и Еврейской АО, расположенные недалеко от границы с КНР.

3. На определённых территориях возможно использование СЭС (PV) для производства «зелёного» водорода, однако вопрос, насколько обосновано их применение, как единственного источника энергии для электролиза – дискуссионен. В случае внедрения системы ВЭС-СЭС (PV), география возможного размещения подобных предприятий расширяется и включает в себя некоторые АТЕ на территории Амурской области и юге Приморского края.

Несмотря на тот факт, что и для PV и для CSP были приняты одинаковые экономико-географические критерии и параметры, Приморский край в случае с CSP (рис.10) не отличается высокими показателями, особенно в сравнении с некоторыми регионами Амурской области. На данную дифференциацию повлияли следующие факторы:

1. Если некоторые территории в обозначенных выше субъектах федерации обладали примерно одинаковыми показателями GHI, то значения прямой солнечной радиации (DNI) на юге Амурской области намного выше (в среднем на 250 кВт/м²).
2. Приморский край обладает более крутым рельефом, что критически важно в случае с CSP. Пространственным выражением этого фактора стало то, что подавляющее большинство территории Приморского края с относительно высоким потенциалом локализованы в более равнинной юго-западной части.

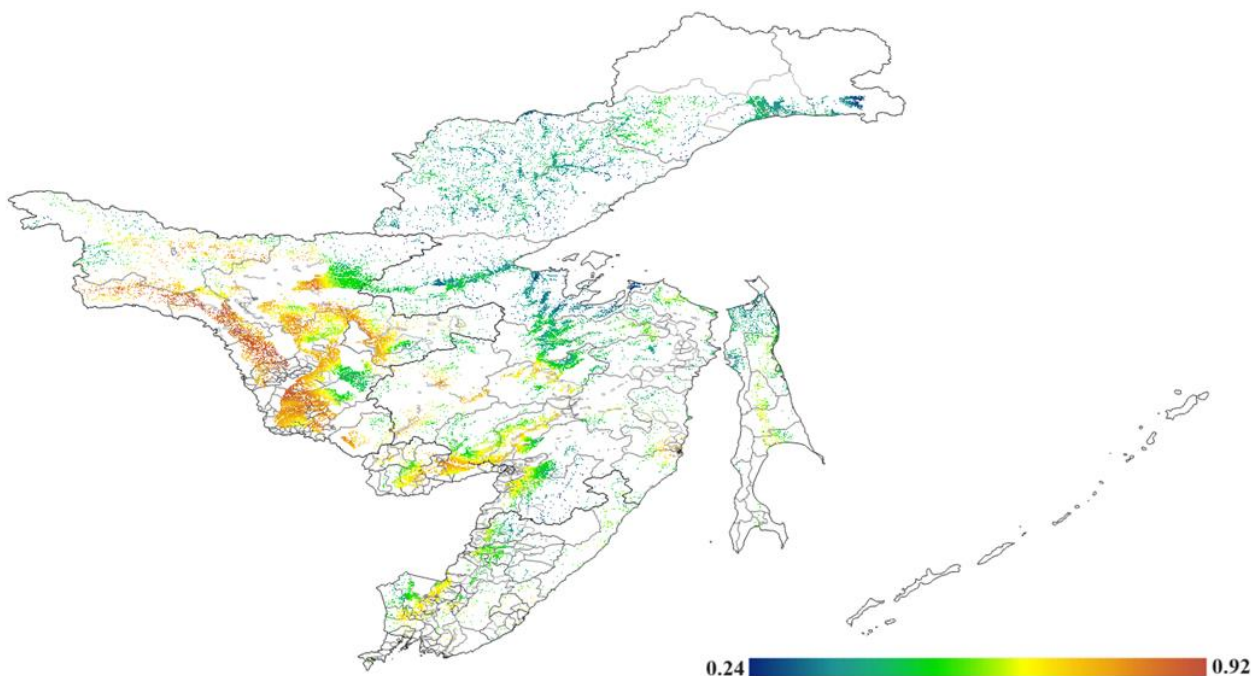


Рис.10. Потенциал территории ДФО РФ к размещению СЭС (CSP). Сост. авт.

Согласно средним значениям CSP выделяются ГО Шимановск и ГО Белогорск (оба Амурская обл.). 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 ($\approx 15 \text{ км}^2$), то в ГО Шимановск упомянутый показатель равняется всего 640 м^2 . Однако помимо ГО высокими значениями потенциала обладают и соответствующие им МО – Белогорский и Шимановский. Стоит отметить и западные АТЕ Амурской области – Магдагачинский р-н и Сковородинский МО.

В Приморском крае выделяются Партизанский р-н и Партизанский ГО, но по факту, там не наблюдается сгруппированных зон с высоким потенциалом, а скорее разбросанные небольшие участки. Серьёзно можно рассматривать приморские территории Советско-Гаванского и Ванинского рн-ов Хабаровского края, более того, значения DNI на упомянутых территориях, относительно высоки – в среднем около 1580 кВт/м^2 .

Основываясь на показателях 90го перцентиля (рис.11), помимо ранее выделенных АТЕ, стоит отметить Свободненский район. Помимо высокого показателя потенциала, там отмечается и большое значение площади, которую занимают 10% наиболее эффективных территорий района – около 263 км^2 .

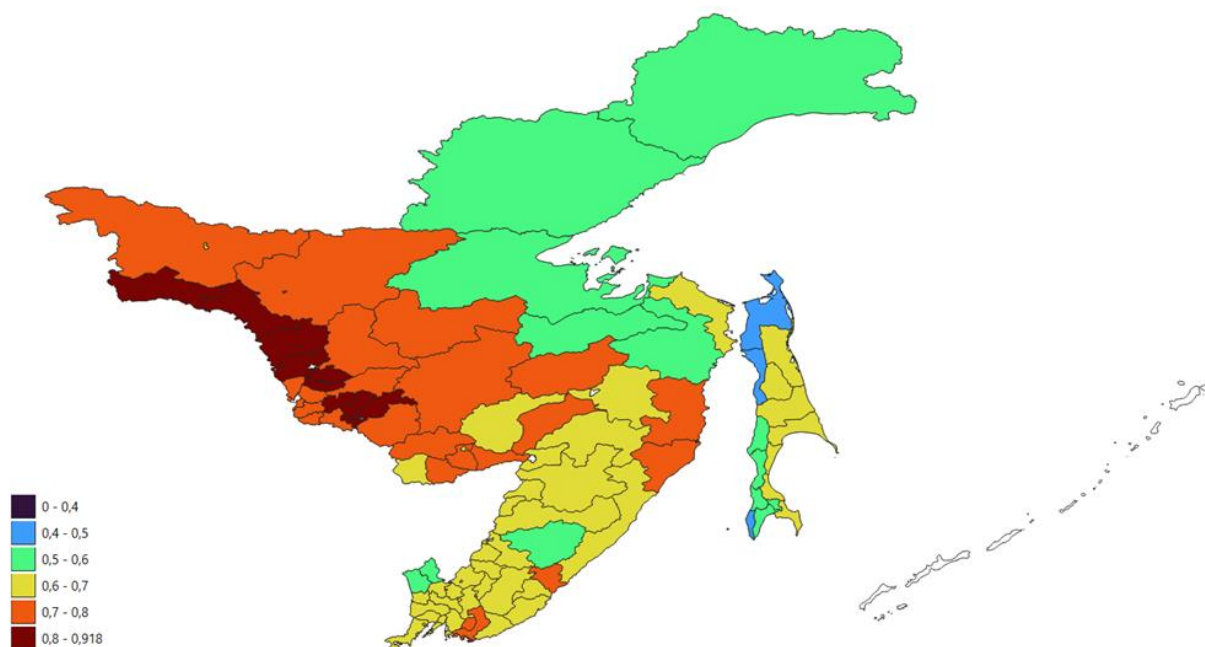


Рис.11. 90-й процентиль по массиву данных потенциала территории ДФО РФ к солнечной энергетике (CSP). Сост. авт.

Если рассматривать рассчитанные показатели применительно к производству «зелёного» водорода, то в целом картина схожа с тем, что было в случае с PV. Идея использования СЭС (CSP) в качестве единственного источника электроэнергии в исследуемом регионе достаточно спорна, так как показатели DNI практически на всей территории исследования не высоки (максимальное значение - 1763 кВт/м²).

С позиции потенциального использования комбинации ВЭС-СЭС (CSP) для максимизации эффективности последних логичнее присмотреться к некоторым АТЕ юга Амурской области, к примеру, Белогорский и Серышевский МО. Также можно отметить и Находкинский ГО (Приморский край), а также Ванинский и Советско-Гаванский районы.

Суммируя все полученные и проанализированные данные по трём 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.
2. В случае с ВЭС, наиболее перспективными территориями являются: юг Приморского края и Сахалинская область. Для размещения СЭС (PV) наиболее подходящими территориями являются юг Приморского края и некоторые южные АТЕ Амурской обл. и Еврейской АО. По показателям потенциала территории к размещению СЭС (CSP) лидирует Амурская область.
3. В парадигме производства «зелёного» водорода, наиболее перспективным выглядит использование ВЭС. Более того, некоторые из исследуемых территорий обладают потенциалом для последующего экспорта

данного энергоносителя в страны АТР. Возможно и использование комбинированной системы ВЭС-СЭС.

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).

Статьи в рецензированных научных журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ:

1. Демидионов, М.Ю. Альтернативная энергетика стран БРИКС: компаративный анализ / М.Ю. Демидионов // **Региональные геосистемы.** — 2023. — №47 (2). — С. 205-216. (0,8 п.л.).

2. Демидионов, М.Ю. Пространственное моделирование потенциала развития альтернативной энергетики на примере острова Сахалин / М.Ю. Демидионов // **Тихоокеанская география.** — 2023. — № 4. — С. 82-92. (0,7 п.л.).

Статьи в других научных изданиях:

3. Demidionov, M.Y. GIS Based Infrastructure Support for the Preservation and Transfer of Biomaterials / L.A. Soprun, V.K. Averyanov, A.A. Melezhik, M.Y. Demidionov, O.V. Mironenko, E.A. Fedorova // Ivanov, D., Panin, A., Sukhanova, I. (eds) Proceedings of ECSF 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022. — vol. 257. — P. 227-234. (0,5 п.л. / 0,2 п.л.).

4. Demidionov, M.Y. Estimating Suspended Sediment Fluxes from the Largest Glacial Lake in Svalbard to Fjord System Using Sentinel-2 Data: Trebrevatnet Case Study / J. Kavan, I. Wiczorek, G.D. Tallentire, M. Demidionov, J. Uher, M. C. Strzelecki // **Water (MDPI).** — 2022. — №14 (12). — P. 1-14. (0,9 п.л. / 0,4 п.л.).

5. Demidionov, M.Y. 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, M.C. Strzelecki // **Remote Sensing (MDPI).** — 2022. — №14 (354). — P. 1-16. (1 п.л./0,4 п.л.).