



2024  
№1(21)

# Окружающая среда и энерговедение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703  
(Online)

# Окружающая среда и энергосистемы

---

**Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)**

**2024 №1(21)**

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

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

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

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

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

---

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

С 12 февраля 2024 г. включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук ВАК Минобрнауки России по специальности 1.6.21. Геоэкология (географические науки).



## Главный редактор

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

## Зам. главного редактора

Дегтярев Кирилл Станиславович, к.геогр.н  
(МГУ им. М. В. Ломоносова)

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

## Ответственный секретарь

Соловьев Дмитрий Александрович, к.физ.-мат.н.  
(ИО РАН).

## Редакционная коллегия:

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

Березкин Михаил Юрьевич, к.геогр.н (МГУ им. М. В.  
Ломоносова).

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

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

Дегтярев Кирилл Станиславович, к.геогр.н (МГУ им. М. В.  
Ломоносова).

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

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

Залиханов Алим Михайлович, к.геогр.н, (МГУ им. М. В.  
Ломоносова).

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

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

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

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

Панченко Владимир Анатольевич, к.т.н., доцент (Российский  
университет транспорта (МИИТ))

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

Рафикова Юлия Юрьевна, к.геогр.н. (МГУ им. М.В.  
Ломоносова)

Соловьев Дмитрий Александрович, к.физ.-мат.н.,  
ответственный секретарь (ИО РАН).

Тихунов Владимир Сергеевич, д.геогр.н., профессор (МГУ им.  
М. В. Ломоносова).

## Адрес редакции:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, к. 19, НИЛ  
возобновляемых источников энергии географического  
факультета МГУ им. М.В.Ломоносова  
Тел./ факс +7 (499) 939-42-57  
e-mail: info@jeees.ru

Официальный сайт журнала <http://jeees.ru>

## Окружающая

## среда и энергосреда. 2024 №1(21)

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

Редактор К.С.Дегтярев

Корректор К.Г.Горошкин

Верстка М.Ю.Березкин

Перевод на английский язык

К.С.Дегтярев

Подписан в свет 28.03.2024.

## Издатель:

ООО "Глобализация и устойчивое развитие. Институт  
энергетической стратегии"

125009, г. Москва, Дегтярный переулок, д. 9, офис 011.

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

E-mail: guies@guies.ru.

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

Учредитель: Соловьев Д.А.

© Редакция журнала

«Окружающая среда и энергосреда», 2024

Государственный Рубрикатор НТИ России  
(ГРНТИ): 37; 39; 44; 45

## Содержание

Бутузов В.А., Рашидов Ю.К., Узаков Г.Н., Клычев Ш.И., Абдурахманов Б.М. Узбекистан: традиции и достижения возобновляемой энергетики .....	4
Бушуев В.В. Космос и человечество – фрактальный путь развития .....	21
Дегтярев К.С., Синюгин О.А. Территориальная организация возобновляемой электроэнергетики России.....	36
Камаев Р.А., Бессель В.В. Потенциал пеллетной энергетики для автономного энергоснабжения удаленных объектов нефтегазового комплекса .....	51
Махсумов И.Б. Оценка эффективности использования солнечной энергетики на территории Хатлонской области Республики Таджикистан .	62
Федоров В.М., Агафонова Е.А., Фролов Д.М. Экстремумы прецессионного цикла и глобальные климатические события в голоцене.....	75
Чекарев К.В., Залиханов А.М. Ветроэнергетическая установка наземного базирования с жесткими парусами.....	100

## Content

Butuzov V.A., Rashidov Yu.K., Uzakov G.N., Klychev Sh.I., Abdurakhmanov B.M. Uzbekistan: Traditions and Achievements in Renewable Energy .....	4
Bushuev V.V. Space and Humanity: A Fractal Path of Development.....	21
Degtyarev K.S., Sinyugin O.A. Territorial Design of Renewable Power Industry in Russia .....	36
Kamaev R.A., Bessel V.V. The Potential of Pellet Energy for Autonomous Power Supply to Remote Oil and Gas Facilities .....	51
Makhsumov I.B. Assessment of the Effectiveness of Using Solar Energy in the Khatlon Region of the Republic of Tajikistan .....	62
Fedorov V.M., Agafonova E.A., Frolov D.M. Application of Probability Distribution Assessment for Satellite Data on Total Cloud Cover for the World Ocean .....	75
Chekarev K.V., Zalikhanov A.M. Land-Based Wind Power Plant With Rigid Sails .....	100

УДК 39(575.1):620.9

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-1-4-20

EDN: YSAGQM

## Узбекистан: традиции и достижения возобновляемой энергетики

<sup>1,1</sup>Бутузов Виталий Анатольевич <sup>[0000-0003-2347-9715]</sup>,  
<sup>2,2</sup>Рашидов Юсуф Каримович <sup>[0000-0003-1398-4865]</sup>,  
<sup>3,3</sup>Узаков Гулом Норбаевич <sup>[0009-0005-7386-8075]</sup>,  
<sup>4,4</sup>Клычев Шавкат Исакович <sup>[0000-0001-8268-9515]</sup>,  
<sup>4,5</sup>Абдурахманов Борис Маликович <sup>[0009-0000-6034-6191]</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия,

<sup>2</sup>Ташкентский архитектурно – строительный университет, г Ташкент, Республика Узбекистан,

<sup>3</sup>Каршинский инженерно – экономический институт, г. Карши Республика Узбекистан,

<sup>4</sup>Институт ионно – плазменных и лазерных технологий им. У.А. Арифова, г Ташкент, республика Узбекистан,

E-mail: <sup>1</sup>ets@nextmail.ru, <sup>2</sup>rashidov\_yus@mail.ru, <sup>3</sup>uzoqov66@mail.ru, <sup>4</sup>klichevsh@list.ru, <sup>5</sup>bogarabdu@gmail.com

**Аннотация.** Приведены данные международного агентства IRENA и национальных организаций Республики Узбекистан по установленной мощности возобновляемой энергетики в 2022г. и 2023г. Отмечены успехи узбекских научных школ возобновляемой энергетики в советский период в гидроэнергетике и солнечной энергетике, в том числе сооружение Большой солнечной печи и исследование по фотоэнергетике. Представлены результаты реализации Указа 2022 г. и Постановления 2023 г. Президента Республики Узбекистан по масштабному развитию возобновляемой энергетики, нормативная база, госструктуры управления. Описаны достижения основных академических и вузовских научных школ по возобновляемой энергетике Узбекистана в XXI веке. Уникальны результаты работы научной школы по солнечной концентрации, созданию современной нормативной базы по фотоэлектрической и тепловой солнечной энергетике. Описаны работы научной школы солнечных теплиц, плодоовощехранилищ и гелиосушилок, биоэнергетических установок и тепловых насосов. Представлен обзор по подготовке кадров в 12 вузах Узбекистана и обучении аспирантов. Отмечено сотрудничество Минобрнауки РФ и Министерства высшего образования, науки и инновации РУз.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика (ВЭ), агентство IRENA, Республика Узбекистан (РУз), научные школы, статистика установленной мощности ВЭ 2022г., 2023г., фотоэнергетика, технический кремний, солнечные элементы, Большая солнечная печь (БСП), геотермальные и ветровые ресурсы, гидроэнергетика, СЭС, ВЭС, солнечная теплогенерация, солнечные теплицы, гелиосушилки, биоэнергетические установки, тепловые насосы, обучение специалистов и аспирантов.

## 1 Введение

Статистика установленной мощности возобновляемой электрогенерации Узбекистана по итогам 2022г. согласно данным международного агентства ВИЭ IRENA [1], членом которого является РУз, представлена на рис. 1. При суммарном значении установленной мощности 2300 МВт (100%) на долю гидроэнергетики приходилось 2048 МВт (89%), а солнечной энергетики – 252 МВт (10,9%). Уникальным объектом солнечной концентрации является Большая солнечная печь (БСП) расчетной мощностью 1 МВт. В последние годы в РУз создана законодательная база и госструктура для управления развитием ВИЭ. Указом Президента 2022г. и Постановлением Президента 2023г. утверждены меры по комплексному развитию ВИЭ. По итогам 2023г. на кровлях тысяч зданий были установлены фотоэлектрические преобразователи общей мощностью 381 МВт и тепловые гелиоустановки суммарной установленной мощностью 15,53 МВт (19300м<sup>2</sup>).

В основе развития ВИЭ РУз – достижения научных школ, прежде всего академических, а также вузовских организаций. С советских времен узбекские ученые занимали ведущие позиции по солнечной концентрации, теплогенерации, гелиотеплицам, сушилкам и т.д. Подготовкой кадров по возобновляемой энергетике занимаются 12 вузов, которые ежегодно выпускают около 400 специалистов. В г. Ташкенте с 1965г. издается международный журнал «Гелиотехника» (Applied Solar Energy), рецензируемый в базе данных Scopus.

Профессиональные научные контакты, соглашения между министерствами РФ и РУз способствуют восстановлению традиций сотрудничества и объединения усилий.

## 2 Возобновляемая энергетика Узбекистана в XX веке

Для Узбекистана основными направлениями развития возобновляемой энергетики в XX веке были гидроэнергетика, солнечное тепло – и электрогенерация. В тридцатых годах в Узбекистане работали основоположники советской **солнечной энергетики**. По фотоэнергетике академик А.Ф. Иоффе (1880-1960) в Самарканде организовал филиал Ленинградского Физико – технического института – Среднеазиатский гелиотехнический институт [2]. Основатель советской солнечной теплогенерации, член Международной солнечной ассоциации д.т.н., проф.

Б.П. Вейнберг (1871-1942) работал в Ташкенте более 10 лет над солнечными концентраторами, коллекторами и гелиоустановками. Термин «Гелиотехника» впервые был предложен проф. Р.Р. Циммерманом в 1928г. в книге, изданной в Ташкенте. В сороковые годы инженер К.Г. Трофимов исследовал в Ташкенте воздушные солнечные коллекторы, а к.т.н. Б.П. Петухов из Энергетического института им. Г.М. Кржижановского (ЭНИИ, Москва) на погранзаставах республик Средней Азии построил десятки гелиоустановок горячего водоснабжения. В 1949 г. на полигоне Ташкентского консервного комбината д.т.н. Ф. Молеро из ЭНИИ был испытан концентратор солнечного излучения для получения пара с температурой до 200°C. В шестидесятые годы в НПО «Солнце» (г. Ашхабад, Туркменистан) под руководством генерального директора д.т.н., проф. В. А. Баума (1904-1985), до этого работавшего заместителем академика Г.М. Кржижановского в ЭНИИ были подготовлены узбекские специалисты, в том числе основатели узбекской научной школы солнечной теплогенерации д.т.н., проф. Р.Р. Авезов (1942-2020), д.т.н., проф. А.Б. Вардияшвили и др. Р.Р. Авезовым была разработана конструкция жидкостного плоского солнечного коллектора, а в г. Бухаре было организовано их производство. К концу XX века общая площадь таких коллекторов оценивалась в 2000 м<sup>2</sup>. Под руководством д.т.н., проф. Ю.К. Рашидова в институте ТашЗНИИЭП было организовано проектирование и сооружение гелиоустановок общей площадью 26000 м<sup>2</sup>.

Наиболее масштабным объектом возобновляемой энергетики СССР является **Большая солнечная печь (БСП)**, построенная в 1987г. в Ташкентской области [3]. Она является второй по мощности в мире (1 МВт) и предназначалась для исследований в области солнечной энергетики и создания, и испытания материалов для космических аппаратов. Комплекс построен в горной местности на высоте 1050 м над уровнем моря на площади 24 га и включает 62 зеркальных гелиостата общей площадью около 3000 м<sup>2</sup>, солнечное излучение от которых направляется на концентратор площадью около 2000 м<sup>2</sup>. Каждый гелиостат оборудован электроприводами и датчиками, позволяющими менять азимутальные углы поворота ±60° и зенитный от 0 до 38°C. Степень концентрации солнечного излучения – 11000, площадь фокального пятна – 0,9 м<sup>2</sup>, а достигаемая температура в фокальной области (0.2x0.2м)3300°C.

Инициаторами создания БСП были Академии наук СССР и Узбекской ССР (Физико-технический институт, НПО «Физика-Солнце»). В разработке технических решений приняли участие академики С.А. Азимов (1914-1988), Г.Я. Умаров (1921-1988), Р.А. Захидов, Т.Т. Рискиев (1944-2014), д.т.н. И.И. Пирматов, к.т.н. С.Х. Сулейманов. Проект был разработан главным архитектором Минатома СССР В.В. Захаровым (1949-2021). Исходные данные для проектирования БСП были подготовлены научной школой Р.А. Захидова в составе А.А. Вайнера (1949-1986), А.Ш. Ходжаева (1946-2021); Ш.И. Клычева. Р.А. Захидов является учеником Д.И. Теплякова и Р.Р. Апарина из ЭНИИ, в котором он начинал научную деятельность. В дальнейшем Р.А. Захидов для разработки концентраторов и других оптических систем создал комплекс «Оптика», а совместно с д.т.н., проф.

В.В. Грилихесом (1938-2008) из ленинградского ФТИ разработал оптико-энергетических характеристик концентраторов различного типа, в том числе со вторичными концентраторами.

В последующие годы эксплуатацией и модернизацией БСП, юстировкой facets концентраторагелиостатов занимался д.т.н., проф. Абдурахманов А.А. (1946-220) [4] В Узбекистане в настоящее время сохранилась научная школа Захидова Р.А. по созданию солнечных концентраторов, а возможности БСП пока полностью не востребованы.

**Фотоэнергетика.** Как и во всем мире, фотоэнергетика Узбекистана базировалась на кремниевых СЭ (солнечных элементах), работы по которым в Узбекистане были начаты в ФТИ АН УзССР в конце 50-х годов. В начале 60-х было предложено организовать получение сверхчистого кремния с использованием тетраоксида кремния на Чирчикском электрохимкомбинате в Ташкентской области (ГЧЭХК). Там был создан опытный участок (ГЧЭХК + Гиредмет + ФТИ АН УзССР), а затем и опытно-промышленное производство сверхчистого кремния-сырца в составе ГЧЭХК. У истоков этих работ стояли, а затем активно их поддерживали академики С.В. Стародубцев, С.А. Азимов и начальник управления Химпром Средазсовнархоза И. И. Бурлаченко. Технический кремний (ТК) марки КрО впервые был получен в Узбекистане в 1998 г. д.ф.-м.н. К.П. Абдурахмановым, М.О.Костецким, Б.М. Абдурахмановым, Б.В. Гугушвили и др.[5], академиком М.С. Саидовым, д.т.н. В.В. Харченко, академиком Р.А. Муминовым, д.т.н. М.Т. Турсуновым, С.Р. Бойко [6]. В кооперации с тогдашними крупными производителями кремния СССР велись работы по использованию для изготовления СЭ отходов кремниевого производства в виде брака монокристаллического и поликристаллического кремния, а также автоэпитаксиальных структур в результате чего на предприятиях: ЗЧМ, г. Светловодск, Украина; ЛКРМ, пгт. Чойрух Дайрон, Таджикистан; КГМК пгт. Орловка – Быстровка, Киргизия, а также в ФТИ АН РУз, ЦПКТБ АН РУз и Институте электроники АН РУзг. Ташкент были созданы участки по выпуску СЭ и солнечных батарей (СБ) бытового назначения. По заданию ВНИИТ г. Москва СКТБ Института электроники АН РУз (СКТБ ИЭ).

В 1986 г. СКТБ Института электроники АН РУз (СКТБ ИЭ) по заданию института ВНИИТ (Москва) была создана автономная СФЭС с параболическими концентраторами и кремниевыми преобразователями расчетной мощностью 1 кВт. Технические решения данной СФЭС: опорно-поворотное устройство (ОПУ), охлаждение СЭ тепловыми трубами, заглубление р-п переходов СЭ под шинами контактов, макроскопические фронтальные контакты с люминесцентным покрытием, были применены в других разработках, и защищены авторскими свидетельствами [7]. На базе указанной СФЭС серийно изготавливались устройства типа «Гекол» мощностью 300-800 Вт; макетный образец концентраторной СФЭС мощностью 10 кВт с водоохлаждаемыми СЭ; концентраторные станции с параболическими и параболоцилиндрическими концентраторами с ОПУ на основе конверсионных комплектов лафетов артиллерийских орудий ЗУ-23; СЭ и СБ космических аппаратов, забракованных в процессе предполетных испытаний. В

те же годы по заданию института НИИТП (Москва) был создан высоковакуумный испытательный стенд с засветкой объектом испытаний солнечным излучением. Первыми испытуемыми объектами были фотоэлектрические модули с концентрацией излучения, которые встраивались в плоские солнечные панели космических аппаратов [7].

**Геотермальные ресурсы** исследовались в Узбекистане во второй половине XX века. Были разведаны 7 крупных геотермальных водяных месторождений с температурой до 65°C, однако практическое применение получили только геотермальные воды 10 бальнеологических курортов [8]. Вопросами использования геотермального тепла и аккумулирования солнечного тепла в водоносных горизонтах занимался к.т.н. Р.Т. Раббимов (1942-2021).

**Гидроэнергетика.** В Узбекистане гидроэнергетика по мощности на втором месте после топливных электростанций. По данным агентства IRENA в 2022г. суммарная установленная мощность ГЭС составляла 2048 МВт. Развитием и эксплуатацией гидроэнергетики в стране занимается АО «Узбекгидроэнерго». В 2023г. в Узбекистане эксплуатировались 50 ГЭС общей установленной мощностью 2245 МВт и строилось 9 станций общей мощностью 490 МВт. Перспективы развития гидроэнергетики РУз определены Указом и Постановлением Президента: проектирование и сооружение 200 МикроГЭС с суммарной установленной мощностью 56,6 МВт, двух малых ГЭС с общей мощностью 13,6 МВт; модернизация Туполангской ГЭС с увеличением мощности до 175 МВт, проектирование 65 малых ГЭС (МГЭС). В Узбекистане для производства оборудования ГЭС созданы совместные предприятия с Китаем и Южной Кореей). Разработками МикроГЭС, гидроаккумулирующих станций (ГАЭС) занимаются на кафедре «Гидроэнергетика и гидравлика» Ташкентского государственного технического университета под руководством д.т.н. проф. М.М. Мухаммадиева.

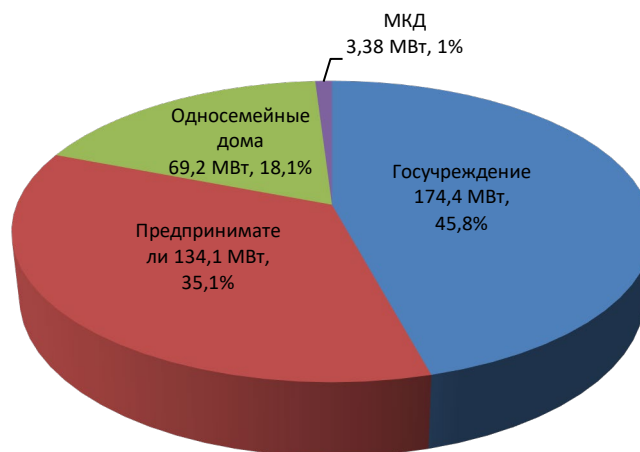
**Ветроэнергетика.** На основании данных измерений 90 метеостанций Узбекистана в 2015г. АО «Узбекэнерго» совместно с зарубежными организациями был создан Национальный атлас ветров. В 2010-2012 годах по проектам АО «Узбек Гидропроект» были построены две ВЭУ. Первая – вблизи Чарвакского водохранилища Ташкентской области с установленной мощностью 170,0 кВт с корейским ветроагрегатом и у пос. Юбилейного Ташкентской области мощностью 750 кВт с китайским ветроагрегатом. По данным Минэнерго РУз ([www.minenergo.uz](http://www.minenergo.uz)) в 2023г. велось строительство ВЭУ мощностью 500 МВт в Тамдымском районе Навоинской области, двух ВЭС по 500 МВт в Бухарской области и ВЭС мощностью 100 МВт в Караузекском районе Каракалпакии. В области ветроэнергетики продолжаются работы по определению ветровых ресурсов, их изменчивости и производительности ВЭУ в регионе (академик Захидов Р.А., к.т.н. Таджиев Уткур Аббасович). На основе обобщения данных по характеристикам ВЭУ Клычевым Ш.И. получена зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра при различных его проектных скоростях.



### 3 Возобновляемая энергетика в XXI веке

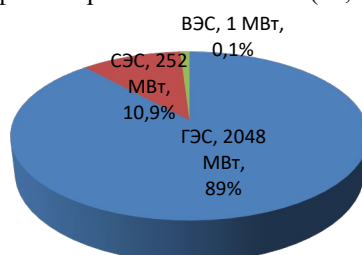
В Узбекистане создана **нормативная база и государственная структура** управления ВЭ. В 2019 г. принят закон «Об использовании возобновляемых источников энергии» (№ ЗРУ – 358 от 21.05.2019г). Органом управления ВЭ правительством определено Министерство энергетики. В 2022г. Указом и в 2023г. Постановлением Президента РУз намечены меры по развитию ВЭ, в том числе по проектированию и сооружению объектов фотоэнергетики и солнечной теплогенерации для госучреждений, жилых домов (Указ №-УП-220 от 09.09.2022г). Источником финансирования определен Внебюджетный межотраслевой фонд энергосбережения Минэнерго, а для частных владельцев предусмотрены налоговые преференции и компенсационные выплаты. Более масштабные меры по развитию системной солнечной и ветровой электрогенерации в 2023-2025 гг. (4300 МВт) предусмотрены Постановлением Президента РУз №-ПП-57 от 16.02.2023г. Вновь созданному предприятию «Яшил энергия» поручено установить на кровлях зданий 2650 МВт фотоэлектрических установок, а на крышах 765 многоквартирных домов (МКД) также и тепловые солнечные установки.

Солнечная энергетика в 2023г. включала в основном две системные СЭС мощностью по 100 МВт в Нурабадском районе Самаркандской и в Карманинском районе Навоинской областей. По данным д.т.н., проф. Ю.К. Рашидова, в 2023 г. развитие объектной фотоэнергетики характеризовались следующими показателями (рис.1): всего 381 МВт (100%), в том числе объекты социальной сферы и госучреждений – 174,4 МВт (45,8%); здания частной собственности – 134,1 МВт (35,1%), односемейные дома – 69,2 МВт (18,1%), МКД – 3,38 МВт (1%).

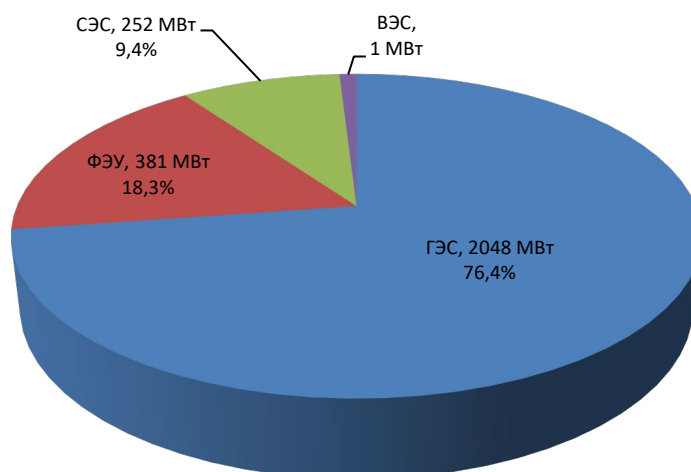


**Рис. 1.** Диаграмма распределение установленной мощности ФЭУ РУз по рассредоточенным объектам в 2023г, всего 381 МВт (100%)

Суммарная статистика системной и объектной ВЭ в 2023 г. представлена на рис. 3. При общей установленной мощности системной и объектной ВЭ – 2682 МВт (100%) мощность ГЭС составляла 2048 МВт (76,4%), системных СЭС – 252 МВт (9,4%), объектной фотоэнергетики – 381 МВт (18,3%).



**Рис. 2.** Диаграмма распределение видов ВЭ Узбекистана в 2022г., всего 2300 МВт (100%), агентство IRENA



**Рис. 1.** Диаграмма распределения установленных мощностей системной и рассредоточенной возобновляемой электрогенерации Узбекистана в 2023г.

В 2023 г. в РУз при монтаже СЭС устанавливались солнечные батареи, в основном, китайского производства, укомплектованные кремниевыми солнечными элементами (СЭ). В 2023г. в г. Янгиюле был построен завод по производству ФЭС (компания «Enter Solar Green Energy»), базирующийся на привозных кремниевых комплектующих. В тоже время в Узбекистане имеются сырье и научно – технические основы для организации собственного промышленного производства кремния и СЭ. Так инициативной группой под руководством академика

М.Х. Ашурова [9] по заданию Правительства РУз было разработано ТЭО и показана возможность выплавки ТК высших марок на местном сырье, что было положено в основу создания в стране промышленного производства ТК. Под руководством Председателя Госкомгеологии Турамуратова И.Б. дополнительно, кроме тех, что были использованы при первых выплавках ТК [5], были разведаны новые месторождения жильного кварца и кварцитов [10,11], затем совместно с Институтом ионно-плазменных и лазерных технологий (ИИПиЛТ) АН РУз доказана их пригодность для получения кремния для СЭ, в том числе, с минимальным содержанием примеси бора и в начале XXI века были построены предприятия по электродуговой выплавке ТК (СП «UZ – Kop Silicon», г. Навои и СП «UZ Shindong Silicon») в Ташкентской области.

Д.т.н. М.Ш. Курбановым и др. [11] при выплавке кремния в электродуговых рудотермических печах шахтного типа было предложено заменять импортруемый в РУз кокс местным природным газом, а также осуществлять брикетирование шахты, в том числе с использованием местных кварцевых песков ( $\text{SiO}_2$ ).

По этой тематике получено 8 патентов РУз. Под руководством д.т.н. Х.Б. Ашурова (ИИПиЛТ АН РУз) был проведен комплекс исследований и разработок по созданию и освоению в РУз производства моносилана ( $\text{SiH}_4$ ) из отечественного ТК по новой, оригинальной технологии [12, 44], защищенной более чем 20 отечественными и зарубежными патентами. В 2007 году академиком М.С. Саидовым, Б.М. Абдурахмановым и Л.О. Олимовым был экспериментально обнаружен тепловольтаический эффект, положенный в основу работ по новому научному направлению, касающемуся применения не монокристаллического кремния, с содержанием примесей, дающих глубокие энергетические уровни, включая его новую модификацию - гранулированный кремний и использования таких материалов для создания преобразователей тепловой составляющей солнечного излучения в электрическую энергию. По этому направлению в ИИПиЛТ АН РУз разработано 12 новых технических решений, защищенных патентами [13,14]. В Андижанском Госуниверситете академик С.З. Зайнабиддинов занимается металлоксидными пленками для СЭ, а д.ф.-м.н., профессор Р. Алиев решением задач по физике, технике и технологии СЭ 3-ого поколения (наноплазмоника, перовскитные СЭ, двух и многолицевые СЭ, гибридные фотоэлектрические-ветровые и микрогидро энергетические установки [15]. Здесь только за последние 3 года создано 20 новых технических решений и полезных моделей, защищенных патентами. Д.т.н. Ш.И. Клычевым и академиками С.А. Бахрамовым, Р.А. Захидовым, и д.т.н. В.В. Харченко (ВИМ (ВИЭСХ), г. Москва) экспериментально подтверждено увеличение яркости и плотности излучения при последовательном прохождении сред с различным показателем преломления, что позволяет увеличить КПД концентраторных СЭ, применяя жидкостное охлаждение фронтальной стороны [16], а также впервые объяснить наблюдавшиеся ранее результаты при применении различных теплоносителей [7,14].

По данным Ю.К. Рашидова по итогам 2023г. суммарная установленная мощность **солнечной теплогенерации** составила 15,53 МВт (19300 м<sup>2</sup>), в том числе односемейных домов – 4,37 МВт (35 тыс. домов) и МКД – 3,38 МВт (329 МКД). Изготовлением тепловых солнечных коллекторов (СК) в РУз занимались десятки

частных компаний. Самое опытное из них – ООО «MirSolar» (Ташкент) работает с 1999г. под руководством гендиректора к.т.н. А.М. Мирзабаева и изготавливает СК с медными и алюминиевыми абсорберами (3000 проектов). ООО «Solar Sity Plus» (Ташкент) за последние семь лет смонтировало 3 млн. м<sup>2</sup> СК. На Навоинском ГМК с 2022 производится до 6 тыс. м<sup>2</sup> плоских и вакуумных СК.

#### 4 Основные научные школы возобновляемой энергетики

Ведущими научными организациями в области ВЭ В РУЗ являются **академические**: Физико – технический институт (ФТИ), НПО «Физика – Солнце», Институт материаловедения (БСП), Институт энергетики и автоматики (ИЭиА), Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз (ИИПиЛТ АН РУз). В 2022г. в составе Минэнерго РУз на базе Международного института солнечной энергии АН РУз был создан Национальный НИИ возобновляемых источников энергии. Основными научными школами по возобновляемой энергетике являются коллаборации академических и вузовских учреждений по исследованиям солнечной теплогенерации; солнечных опреснителей; солнечных теплиц; плод-овощехранилищ; биоэнергетических установок, тепловых насосов; солнечных концентраторов. Ведущим научно – образовательным и **вузовскими** организациями являются Ташкентский государственный технический университет, Ташкентский архитектурно–строительный университет, Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Узбекско – корейский университет «КИМЁ» в Ташкенте, Бухарский госуниверситет, Бухарский инженерно – строительный институт. Ферганский госуниверситет, Ферганский политехнический институт, Каршинский инженерно – экономический институт, Каршинский госуниверситет и другие.

**Научная школа по солнечным концентраторам** была создана в восьмидесятые годы XX века академиком Р.А. Захидовым, 1937 г.р. [17]. В ее составе д.т.н. Клычев Ш.И. 1949г.р., д.т.н. А.А. Абдурахманов (1946-2020гг). Основные идеи специалистов по созданию солнечных концентраторов изложены Ш.И. Клычевым в [3,42]. 40-летний опыт эксплуатации и модернизации Большой солнечной печи А.А. Абдурахмановым представлен в [3] В настоящее время солнечными концентраторами занимается также д.т.н., проф. С.Ф. Эргашев из Ферганского политехнического института [18], и крупный специалист в этой области к.т.н. Р.Ю. Акбаров (Институт материаловедения АН РУз).

По проблемам **солнечной теплогенерации** ведут работы д.т.н. Ю.К. Рашидов (эффективность теплосъема и оптимизация конструкций коллекторов, нормативная база), д.т.н. Е.С. Аббасов (воздухонагреватели); д.т.н., Н.Р. Аvezова (нормативная база гелиотехники, коллектора, общие проблемы ВИЭ); д.т.н., Ж.С. Ахатов (опреснители, теплоносители в коллекторах), д.т.н. архитектор М.М. Захидов (проектирование энергоэффективных домов с солнечным отоплением); к.т.н. М.М. Кенесарин по аккумулярованию тепла в фазовых переходах (более 2000 цитирований одной работы); Ш.И. Клычев (разработка нестационарных математических моделей плоских коллекторов, воздухонагревателей, опреснителей

(совместно с Ж.С. Ахатовым), домов с солнечным отоплением (совместно с М.М. Захидовым), тепловые модели теплиц (совместно с к.т.н. Б.С. Рахмоджановым).

Важные результаты по энергетически оптимальным селективным характеристикам тепловых приемников солнечного излучения при нагреве и охлаждении были получены А.А. Абдурахмановым и Ш.И. Клычевым. А.А. Абдурахмановым было показано, что с повышением температуры тела параметр селективности приемников солнечного излучения (отношение поглощательной способности к излучательной) возрастает.

Д.т.н., Ю.К. Рашидов (1954г.р.), профессор Ташкентского архитектурно – строительного университета, еще в советское время в институте «ТашЗНИИЭП» организовал проектирование и сооружение гелиоустановок жилых домов, солнечно – топливных котельных и учреждений отдыха [4]. Под его руководством были разработаны основные действующие нормативные документы РУз, в том числе Нормы проектирования гелиоустановок ГВС [19], Пособие по применению Норм проектирования гелиоустановок [20], ГОСТ на солнечные коллекторы [21]. Основные научные идеи Ю.К. Рашидова были изложены в диссертации [22] и монографии [23].

Из молодых ученых со специализацией солнечной теплогенерации выделяются д.т.н., с.н.с. Н.Р. Авезова (1973г.р.), генеральный директор ООО «Solar Designs» (г. Ташкент) и д.т.н., с.н.с. Ж.С. Ахатов (1979г.р.), НПО «Физика-Солнце» ФТИ АН РУз (г.Ташкент). Н.Р. Авезова продолжает научные традиции основателя узбекской солнечной теплогенерации д.т.н., проф. Р.Р. Авезова [26]. Основным научным направлением работ Ж.С. Ахатова является исследование солнечных опреснителей, результаты которых были опубликованы в диссертации [27] и в монографии [28]. Особенностью конструкции его солнечных опреснителей является применение многоступенчатых испарительно – конденсационных камер ( теоретический расчет проведен совместно с Клычевым Ш.И.) в сочетании с очисткой конденсата методом обратного осмоса с электропитанием от фотоэлектрических панелей [29].

Научная школа **солнечных теплиц, плодовоовощехранилищ и гелиосушилок, биоэнергетических установок и тепловых насосов** созданная Вардиашвили А.Б. развивается в Каршинском инженерно экономическом институте д.т.н., проф. Г.Н. Узаковым; в Каршинском госуниверситете д.т.н., проф. Б.Э. Хайридиновым и, в Каршинском госуниверситете д.т.н.; проф. Ш. М. Мирзаевым в Бухарском госуниверситете.

Вопросам аккумулирования тепловой энергии совместно с учеными из Киргизии занимается Клычев Ш.И., а применением для солнечных теплиц - Ферганский политехнический институт [36]. В Национальном исследовательском университете «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» на кафедре электроснабжения и ВИЭ ведутся работы по насосам с приводом от ФЭП

**Научные школы по фотоэнергетике** представлены в Узбекистане учениками, последователями и коллегами академиков М.С. Саидова (1930-2020), М.К. Бахадырханова (1941-2021), С.З. Зайнабиддинова, Р.А. Муминова, А.Т. Мамада-

лимова, М.Х. Ашурова, а сфера их интересов простирается от физико – химических технологий получения и модификации полупроводниковых материалов, используемых в СЭ, до изучения электрофизических свойств этих материалов и преобразователей энергии на их основе, а также разработки и внедрения конкретных фото-термоэлектрических изделий наземного (д.т.н. Турсунов М.Н.) и космического назначения (Абдурахманов Б.М.). Особо необходимо отметить научные труды академика К.Р. Аллаева посвященные идеологии применения фотоэлектричества в большой энергетике и его оптимального сочетания с другими источниками, как альтернативной, так и традиционной энергетике в Узбекистане [37,43]

Минобрнауки РФ и Министерство высшего образования, науки и инноваций РУз в 2023 году согласовали план сотрудничества до 2025г с проведением совместных исследований, созданием специальной лаборатории по испытанию и производству фотоэлектрических преобразователей (ФЭП); по разработке дорожной карты подготовки инженерно – технических кадров; взаимодействию по приему узбекских граждан в российские вузы.

## 5 Выводы

1. В РУз созданы условия (законы, финансирование, госорганы управление) для ускоренного развития возобновляемой энергетики.
2. Современные научные школы развивают технологии советского периода, в том числе и уникальные: солнечные концентраторы, технологии изготовления солнечных элементов, солнечной теплогенерации.
3. Коллаборацией академических и вузовских научных школ РУз достигнуты определенные успехи в фотоэнергетике, солнечных концентраторах, опреснителях, солнечной теплогенерации.
4. Обучение бакалавров и магистров по специальности «Альтернативные источники энергии» в 12 вузах и успешная деятельность аспирантур обеспечивает кадрами развитие научных школ.

## 6 Литература

1. IRENA Renewable Energy Capacity statistics 2023 mo – cd 8320d4 – 36ab – 40ac – 83cc – 3389 – cdn – endpoint.azureedge. het// media/ Files / IRENA/ Agency/ Publication/2023/Mar/ IRENA\_RE\_Capacity – Statistice\_2023.pdf
2. Бутузов В.А. Советское и российское солнечное теплоснабжение – научные и инженерные школы // СОК (Сантехника, отопление, кондиционирование). 2018. №8. С. 83-93.
3. Клычев Ш.И. Концентраторы солнечного излучения. Моделирование и расчет Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Deutschland. 2016.
4. Абдурахманов А.А., Абдурахманова М.А. Зеркально – концентрирующие системы для солнечных установок и их эффективность. Монография. Ташкент. Университет. 2022. 374 с.

5. Абдурахманов К.П., Костецкий М.О., Гутушвили и др. Опытное производство технического кремния и возможности расширения разработок солнечных элементов в Узбекистане. // Гелиотехника. 2003, №2, с.21-28.
6. М.Н. Турсунов, М.М., Мирзабаев, А.М. Мирзабаев и др. Научные и технологические аспекты разработки фототеплопреобразователя для эффективной работы в условиях жаркого климата. // Гелиотехника. 2006. № 4. С. 7-12.
7. Абдурахманов Б.М, Байдаков С.Г, Соловейчик В.И., Чирва В.П. «Модули и элементы солнечных фотоэлектрических станций с концентрацией излучения», Монография, Из-во «Фан», Ташкент 1993, 300 с.
8. Гребенщиков Т.Б., Куликов Г.В., Сафаева Л.Х. Геотермальные ресурсы Узбекистана // Изучение и использование глубинного тепла Земли. М., Наука. С. 187-194.
9. Абдурахманов Б.М., Ашуров М.Х., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш., и др. «Проблемы и перспективы кремниевого производства в Центральной Азии // Монография, Из-во «НуриМарифат», Худжанд, 2016, 447 с.
10. Турамуратов И.Б., Ашуров Х.Б., Панченкова Л.А. и др. Сырьевая база кремниевой солнечной энергетики и микроэлектроники в Республике Узбекистан. Геология и минеральные ресурсы, 2014, № 4, с. 3-12.
11. Миркамалов Р.Х., Федоров Е.Г., Курбанов М.Ш. Минерально-сырьевая база кварцевого сырья Узбекистана для новейших технологий // Геология и минеральные ресурсы, 2017, №5, С. 77-83
12. Абдурахманов Б.М., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш. «Химико-металлургический передел кремнезема в моносилановое сырье для солнечной энергетики и нанозлектроники», Монография, Из-во «Navroz» 2018, 505 с.
13. Абдурахманов Б.М., Адилов М.М., Ашуров М.Х., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш. и др. «Модернизация технологии получения и новые аспекты применения технического кремния и мультикремния» ,Монография, Из-во « Нуримаръифат», Худжанд-2022, 336 с.
14. «Advances in ArtificialIntelligence Energy Systems and Energy Autonomy» Editors: Mukhdeep Singh Manshahia, ValeriyKharchenko, Gerhard –Wilhelm Weber, Pandian-Vasant. EAI/ Springer Innovations in Cjmmunication and Computing, ISSN 2522-8595, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-26496-2>, Switzerland , 2023, p. 285( коллективная монография) (Scopus)
15. J.J.G'ulomov, R.Aliev, N.A.Mirzaalimov et al. Suns-Voc Characteristics of Silicon Solar Cell: Experimental and Simulation Study. // journal of nano- and electronic physics, 2023, Volume 15, Issue 2, (20191-20195 pp.), DOI: 10.21272/jnep.15(2).02019 (Scopus)
16. Клычев Ш.И., Бахрамов С.А., Харченко В.В., Клычев З.Ш. Оптические среды - как способ повышения эффективности концентраторных солнечных фотоэлектрических установок. Гелиотехника, 2012, №2 с.71-73.
17. Захидов Р.А. «Зеркальные системы концентрации лучистой энергии. Ташкент. ФАН. 1986.
18. Эргашев С.Ф., Нигматов У.Ж. Солнечные параболоцилиндрические установки, конструктивные особенности и расчет параметров // Universum: технические науки: электронный научный журнал. 2020. № 11 (80).
19. 19.. Нормы проектирования РУз. КМК 2.04.16-18. Установки солнечного горячего водоснабжения. Ташкент. 2018.
20. Пособие по проектированию новых энергоэффективных решений для установок солнечного горячего водоснабжения к КМК 2.04.16-18. Ташкент. 2018.
21. РСТ Уз. 744-96. Коллекторы солнечные. Общие технические условия.

22. Рашидов Ю.К. Повышение эффективности и надежности систем солнечного теплоснабжения на основе применения саморегулирующих активных элементов / Автореферат (ДSc) диссертации .Ташкент. 2020.
23. Рашидов Ю.К. Инновационный подход повышение эффективности и надежности систем солнечного теплоснабжения на основе применения саморегулируемых активных элементов. Монография. Tashkent. Изд. Iqtisod – Mobyua. 2019.
24. Аббасов Е.С. Роль солнечных воздухонагревателей в теплоэнергетической отрасли и перспективы их развития в Республике Узбекистан // Общество и инновации. 2020. Т. 1 (1) С. 1-13.
25. Абдукаримов Б.А., Аббасов Е.С., Усмонова Н.У. Исследование рабочих параметров солнечных воздухонагревателей. Способы повышения их эффективности //Матрица научного познания. 2019. С. 37-42.
26. Авезова Н.Р., Рахимов Э.Ю., Далмурадова Н.Н. и др. Выбор и обоснование рациональных технических решений для систем электроснабжения, основанных на солнечной энергии // Applied Solar Energy. Т. 58. 2022. С. 121-126.
27. Ахатов Ж.С. Опреснение соленых вод в системах питьевого водоснабжения с помощью теплового и фотоэлектрического преобразования солнечной энергии // Диссер. д.т.н. (DSc), Ташкент. 2021.
28. Ахатов Ж.С. Опреснение соленых вод с помощью тепловых и фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. LambertAcademic Publishing. 2018. Саар – Брюкен. Германия.
29. Ж.С. Ахатов Опреснение соленой воды с использованием ВИЭ: спрос, текущее состояние, тенденции развития, прогнозы на будущее (обзор) // Apply Solan Energy. 2019. с. 133-148. ФТИ НПО – Солнце.
30. Узаков Г.Н., Захидов Р.А., Сафаров А.С., Давланов Х.А. Ветровая энергетика. Учебник. Карши. ИНТЕЛЛЕКТ. 2023. 252 с.
31. Узаков Г.Н., Захидов Р.А., Давланов Х.А., Тошмаматов Б.М. Введение в специальность. Альтернативные источники энергии. Учебник. Карши. ИНТЕЛЛЕКТ. 2024.
32. Узаков Г.Н. Эффективные системы теплохладоснабжение плодоовощехранилищ. Lambert Academic Publishing. Саар – Брюкен. Германия. 2013. 214 с.
33. Ким В.Д., Хайридинов Б.Э., Холлиев Б.У. Естественно – конвективная сушка плодов в солнечных сушильных установках: Практика и теория. Ташкент. ФАН. 1999.
34. Хайридинов Б.Э., Ким В.Д., Холмирзаев Н.С. Моделирование тепломассообменных процессов в гелиосушилке с подпочвенным аккумулятором тепла // Гелиотехника. 2006. № 2. с. 41-45.
35. Мирзаев Ш.М., Кадыров Дж. Р. Установки и технологии процесса сушки абрикосов на гелиосушилках // Проблемы информатики и энергетики. 2021. №2. с. 84-93.
36. Расходжаев Б.С., Кучкаров А.А., Бобоева М.О. и др. Исследования процесса аккумуляирования солнечной энергии в теплицах // Научно – технический журнал. ФерПИ. 2022. Т. 26. Спец.вып. №10. с. 188-191.
37. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. Из-во «Моллия».Ташкент, 2007, 388 с.
38. Орлов А.Ю., Авезов Р.Р. Солнечные системы отоплений и горячего водоснабжения. Ташкент. ФАН. 1988.
39. Клычев Ш.И., Мухаммадиев М.М., Авезов Р.Р., «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». Ташкент ФАН. 2010.
40. Уришев Б.У. Малые гидравлические станции. Учебник для вузов. Ташкент. Tafakkur avlodi. 2020.



41. Муххамадиев М., Уришев Б., Мамадлеров Э., Джураев К.С. Энергетические установки малой мощности на базе возобновляемых источников энергии. Монография. Ташкент. ТашДТУ. 2019.
42. Захидов Р. А., Абдурахманов А.А., Клычев Ш. И. Оценка эффективности использования селективных поверхностей в тепловых гелиоприемниках. Гелиотехника, 1981, №1, с 61-63.
43. Аллаев К. Р. Современная энергетика и перспективы ее развития: Монография / - Ташкент, Изво «Fan vatexnologiyalamashriyot-matbaau» i, 2021. - 952 с.
44. Ashurov Kh, Kim Yong II, Salikhov Sh., et al. Патент США US9.156.861 B2 .A method for preparing monosilane by using trialkoxysilane Pub. Date: Sept. 10, 2015.

## References

1. IRENA Renewable Energy Capacity Statistics 2023. Retrieved from [link]
2. Klychev, Sh.I. (2016). Concentrators of solar radiation. Modeling and calculation. Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Germany.
3. Abdurakhmanov, A.A., Abdurakhmanova, M.A. (2022). Mirror-concentrating systems for solar installations and their efficiency. Monograph. Tashkent University.
4. Butuzov, V.A. (2018). Soviet and Russian solar heating - scientific and engineering schools. Sanitation, Heating, Air Conditioning, No. 8, pp. 83-93.
5. Abdurakhmanov, K.P., Kostetsky, M.O., Gugushvili, et al. (2003). Experimental production of technical silicon and possibilities of expanding developments of solar elements in Uzbekistan. Heliotechnics, No. 2, pp. 21-28.
6. Tursunov, M.N., Mirzabaev, M.M., Mirzabaev, A.M., et al. (2006). Scientific and technological aspects of developing a photothermal converter for efficient operation in hot climate conditions. Heliotechnics, No. 4, pp. 7-12.
7. Abdurakhmanov, B.M., Baydakov, S.G., Soloveychik, V.I., Chirva, V.P. (1993). "Modules and elements of solar photovoltaic stations with radiation concentration". Monograph, Fan Publishing House, Tashkent, 300 p.
8. Grebenshchikov, T.B., Kulikov, G.V., Safaeva, L.Kh. (Year). Geothermal resources of Uzbekistan. In "Study and Use of Earth's Deep Heat". Moscow, Science, pp. 187-194.
9. Abdurakhmanov, B.M., Ashurov, M.Kh., Ashurov, Kh.B., Kurbanov, M.Sh., et al. (2016). "Problems and prospects of silicon production in Central Asia". Monograph, NuriMarifat Publishing House, Khujand, 447 p.
10. Turamuratov, I.B., Ashurov, Kh.B., Panchenkova, L.A., et al. (2014). Raw material base of silicon solar energy and microelectronics in the Republic of Uzbekistan. Geology and Mineral Resources, No. 4, pp. 3-12.
11. Mirkamalov, R.Kh., Fedorov, E.G., Kupbanov, M.Sh. (2017). Mineral resource base of quartz raw materials in Uzbekistan for advanced technologies. Geology and Mineral Resources, No. 5, pp. 77-83.
12. Abdurakhmanov, B.M., Ashurov, Kh.B., Kurbanov, M.Sh. (2018). "Chemical-metallurgical conversion of quartz into monosilane raw material for solar energy and nanoelectronics". Monograph, Navroz Publishing House, 505 p.
13. Abdurakhmanov, B.M., Adilov, M.M., Ashurov, M.Kh., Ashurov, Kh.B., Kurbanov, M.Sh., et al. (2022). "Modernization of silicon and multicrystalline silicon production technology

- and new aspects of their application". Monograph, NuriMarifat Publishing House, Khujand, 336 p.
14. "Advances in Artificial Intelligence Energy Systems and Energy Autonomy". (2023). Editors: Mukhdeep Singh Manshahia, Valeriy Kharchenko, Gerhard-Wilhelm Weber, Pandian-Vasant. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, Switzerland, p. 285 (collective monograph) (Scopus).
  15. Gulomov, J.J., Aliev, R., Mirzaalimov, N.A., et al. (2023). Suns-Voc Characteristics of Silicon Solar Cell: Experimental and Simulation Study. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, Volume 15, Issue 2, pp. 20191-20195. DOI: 10.21272/jnep.15(2).02019 (Scopus).
  16. Klychev, Sh.I., Bakhramov, S.A., Kharchenko, V.V., Klychev, Z.Sh. (2012). Optical media as a way to increase the efficiency of concentrator solar photovoltaic installations. *Helioelectronics*, No. 2, pp. 71-73.
  17. Zakhidov, R.A. (1986). "Mirror systems for concentrating radiant energy". Tashkent, Fan.
  18. Ergashev, S.F., Nigmatov, U.Zh. (2020). Solar parabolic-cylindrical installations, design features and calculation of parameters. *Universum: Technical Sciences: Electronic Scientific Journal*, No. 11 (80).
  19. Design standards of the Republic of Uzbekistan. KMK 2.04.16-18. Solar hot water supply systems. Tashkent, 2018.
  20. Guide to designing new energy-efficient solutions for solar hot water supply installations to KMK 2.04.16-18. Tashkent, 2018.
  21. RST Uz. 744-96. Solar collectors. General technical conditions.
  22. Rashidov, Yu.K. (2020). Increasing the efficiency and reliability of solar heating systems based on the use of self-regulating active elements. Author's abstract (DSc) dissertation. Tashkent.
  23. Rashidov, Yu.K. (2019). Innovative approach to increasing the efficiency and reliability of solar heating systems based on the use of self-regulating active elements. Monograph. Tashkent, Iqtisod-Mobiya Publishing House.
  24. Abbasov, E.S. (2020). The role of solar air heaters in the heat and power industry and prospects for their development in the Republic of Uzbekistan. *Society and Innovations*, Vol. 1(1), pp. 1-13.
  25. Abdakarimov, B.A., Abbasov, E.S., Usmonova, N.U. (2019). Study of the operating parameters of solar air heaters. Ways to improve their efficiency. *Matrix of Scientific Knowledge*, pp. 37-42.
  26. Avezova, N.R., Rakhimov, E.Yu., Dalmuradova, N.N., et al. (2022). Selection and justification of rational technical solutions for solar energy-based power supply systems. *Applied Solar Energy*, Vol. 58, pp. 121-126.
  27. Akhatov, Zh.S. (2021). Desalination of saline water in drinking water supply systems using thermal and photovoltaic solar energy conversion. DSc thesis. Tashkent.
  28. Akhatov, Zh.S. (2018). Desalination of saline water using thermal and photovoltaic solar energy converters. Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Germany.
  29. Akhatov, Zh.S. (2019). Desalination of saline water using renewable energy sources: demand, current state, development trends, future forecasts (review). *Applied Solar Energy*, pp. 133-148. FTI NPO-Solntse.
  30. Uzakov G.N., Zakhidov R.A., Safarov A.S., Davlanov Kh.A. (2023) Wind energy. Textbook. Karshi. INTELLIGENCE. 252 p.
  31. Uzakov, G.N., Zakhidov, R.A., Davlanov, Kh.A., Toshmamatov, B.M. (2024). Introduction to the specialty. Alternative energy sources. Textbook. Karshi, INTELLECT.
  32. Uzakov, G.N. (2013). Efficient heat and cold supply systems for fruit and vegetable storage facilities. Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Germany.

33. Kim, V.D., Khayriddinov, B.E., Kholliyev, B.U. (1999). Natural convection drying of fruits in solar drying installations: Practice and theory. Tashkent, Fan.
34. Khayriddinov, B.E., Kim, V.D., Kholmiraev, N.S. (2006). Modeling of heat and mass exchange processes in a helios dryer with a subsurface heat accumulator. *Heliotechnics*, No. 2, pp. 41-45.
35. Mirzaev, Sh.M., Kadyrov, D.R. (2021). Installations and technologies of apricot drying process in helio dryers. *Problems of Informatics and Energy*, No. 2, pp. 84-93.
36. Raskhodzhaev, B.S., Kuchkarov, A.A., Boboeva, M.O., et al. (2022). Studies of the solar energy accumulation process in greenhouses. *Scientific and Technical Journal. FerPI*, Vol. 26, Special Issue No. 10, pp. 188-191.
37. Allaev, K.R. (2007). *World and Uzbekistan's Energy*. Moliya Publishing House. Tashkent, 388 p.
38. Orlov, A.Yu., Avezov, R.R. (1988). *Solar heating and hot water systems*. Tashkent, Fan.
39. Klychev, Sh.I., Mukhammadiyev, M.M., Avezov, R.R. (2010). "Non-traditional and renewable energy sources". Tashkent, Fan.
40. Urishov, B.U. (2020). *Small hydraulic power stations. Textbook for universities*. Tashkent, Tafakkur avlodi.
41. Mukhammadiyev, M., Urishov, B., Mamadlerov, E., Djuraev, K.S. (2019). *Power plants of small capacity based on renewable energy sources. Monograph*. Tashkent, TashDTU.
42. Zakhidov, R.A., Abdurakhmanov, A.A., Klychev, Sh.I. (1981). Assessment of the efficiency of using selective surfaces in solar heat receivers. *Heliotechnics*, No. 1, pp. 61-63.
43. Allaev, K.R. (2021). *Modern energy and prospects for its development: Monograph*. Tashkent, Fan vateknologiyalamashriyot-matbaauy, 952 p.
44. Ashurov, Kh., Kim Yong II, Salikhov Sh., et al. (2015). US Patent US9,156,861 B2. A method for preparing monosilane by using trialkoxysilane. Pub. Date: Sept. 10, 2015.

## **Uzbekistan: Traditions and Achievements in Renewable Energy**

<sup>1,1</sup>Vitaliy Butuzov

<sup>2,2</sup>Yusuf Rashidov

<sup>3,3</sup>Gulom Uzakov

<sup>4,4</sup>Shavkat Klychev

<sup>4,5</sup>Boris Abdurakhmanov

<sup>1</sup> Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia,

<sup>2</sup> Tashkent Architectural and Construction Institute, Tashkent, Republic of Uzbekistan,

<sup>3</sup> Karshi Engineering and Economics Institute, Republic of Uzbekistan,

<sup>4</sup> U.A. Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent,  
Republic of Uzbekistan

E-mail: <sup>1</sup>ets@nextmail.ru, <sup>2</sup>rashidov\_yus@mail.ru, <sup>3</sup>uzoqov66@mail.ru,  
<sup>4</sup>klichevsh@list.ru, <sup>5</sup>bogarabdu@gmail.com

**Abstract.** The article presents data from the International Renewable Energy Agency (IRENA) and national organizations of the Republic of Uzbekistan (RUz) on the installed capacity of renewable energy in 2022 and 2023. The successes of Uzbek scientific schools in the Soviet period in hydro and solar energy are noted, including the construction of the Large Solar Furnace (LSF) and research in photoenergetics. The results of the implementation of the Decree of 2022 and the Resolution of 2023 of the President of the RUz on the extensive development of renewable energy, regulatory framework, and government structures management are presented. The achievements of the main academic and university scientific schools in renewable energy of the RUz in the XXI century are described. Unique results of the work of the solar concentration scientific school, creation of a modern regulatory framework for photovoltaic and solar thermal energy are presented. The work of the scientific school of solar greenhouses, fruit and vegetable storage facilities, helio dryers, bioenergy installations, and heat pumps is described. An overview of personnel training in 12 universities of the RUz and training of graduate students is presented. Cooperation between the Ministry of Education and Science of the Russian Federation and the Ministry of Higher and Secondary Special Education, Science, and Innovation of the RUz is noted.

**Keywords:** renewable energy (RE), IRENA agency, Republic of Uzbekistan (RUz), scientific schools, statistics of installed RE capacity in 2022, 2023, photoenergetics, technical silicon, solar cells, Large Solar Furnace (LSF), geothermal and wind resources, hydroenergy, solar power plants (SPP), wind power plants (WPP), solar heat generation, solar greenhouses, helio dryers, bioenergy installations, heat pumps, training of specialists and graduate students.

УДК 001.18:629.78

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-1-21-35

EDN: BBNFCK

## Космос и человечество – фрактальный путь развития

Бушуев Виталий Васильевич <sup>[0000-0001-9288-4699]</sup>Институт энергетической стратегии (ИЭС)  
г. Москва, Россия

E-mail: vital@guies.ru

**Аннотация.** Статья затрагивает фундаментальные вопросы взаимосвязи космоса и человечества через призму фрактальности. Исследование основано на гипотезе о фрактальной природе Вселенной, где галактики соединены в единую космическую сеть, формируя бесконечную иерархию структур от микромира к макромиру. Проведен анализ взаимодействия материи и энергии, подчеркивая роль информации в эволюции космических систем. Рассматривается концепция жизни как энергокосмического процесса, преодолевающая традиционные представления о биосфере и ноосфере и предлагая новый взгляд на космопланетарное развитие человечества. Статья стремится объединить философские, научные и экологические аспекты в поисках гармонии между человеком и космосом, акцентируя на важности системного подхода к устойчивому развитию и космопланетарной цивилизации.

**Ключевые слова:** Фрактальность Вселенной, Энергокосмизм, Биосфера и ноосфера, Космопланетарное развитие, Системный подход к экологии

### 1 Космопланетарная фрактальность

Мир – это открытая безграничная система, не имеющая ни начала, ни конца, но находящаяся в вечном самодвижении, как по отношению к внешней среде, так и внутри себя. Никто не заводил «часы Вселенной» - они работают по принципу вечного двигателя - «перпетуум мобиле», не зная никакого «Большого взрыва», ни «тепловой смерти». Внутри миро-система представляет собой иерархически организованный набор галактик (рис.1), в меньшую из которых входит солнечная система, которую иногда называют Ближний Космос, с точки зрения его физической достижимости, а наибольшая из галактик смыкается с замкнутой «Вселенной», которую часто отождествляют с Космосом (Дальним), недоступным для

любых физических контактов. А вот за пределами «Вселенной» находится разомкнутая миро-система, и между ними, как утверждает наука, происходит энерго-материальный обмен, обеспечивающий негэнтропийное развитие мира. Материальные частицы и кванты полевой энергии, периодически переходя друг в друга, определяют турбулентный (вихреобразный вращательный) характер взаимодействия галактик и других небесных тел.

Ученые установили, что, галактики распределены во Вселенной не случайным образом, изолированно друг от друга, а как бы связаны между собой галактическими нитями. Они соединяют окружающие галактики и скопления галактик по всей Вселенной, образуя так называемую космическую сеть (рис.2). Глядя с земли на эту небесную панораму сложных движений, мы представляем ее в виде плоской картины цикличности внутреннего самодвижения галактик, планет и других небесных тел.

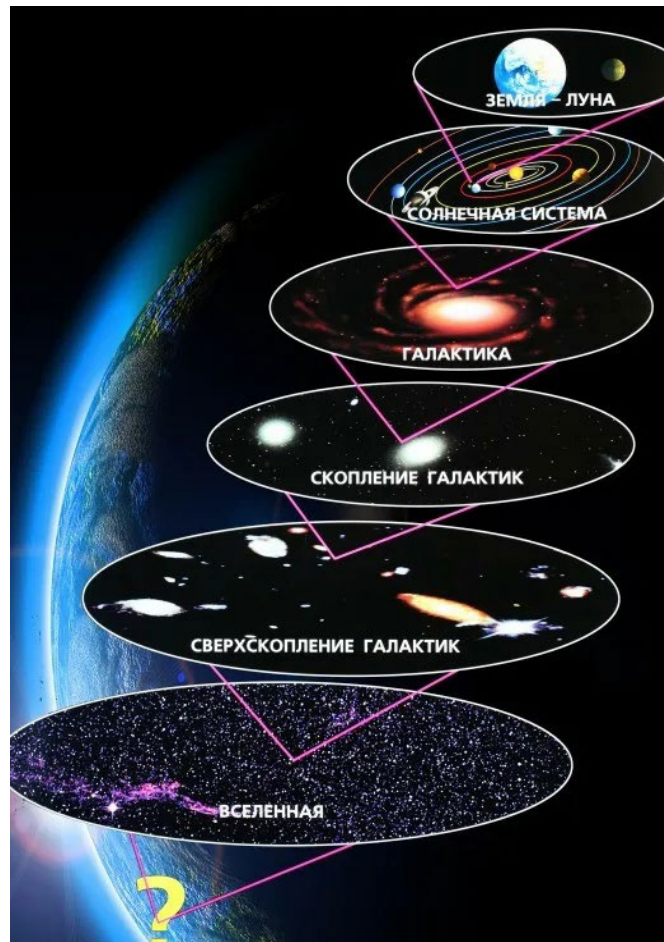
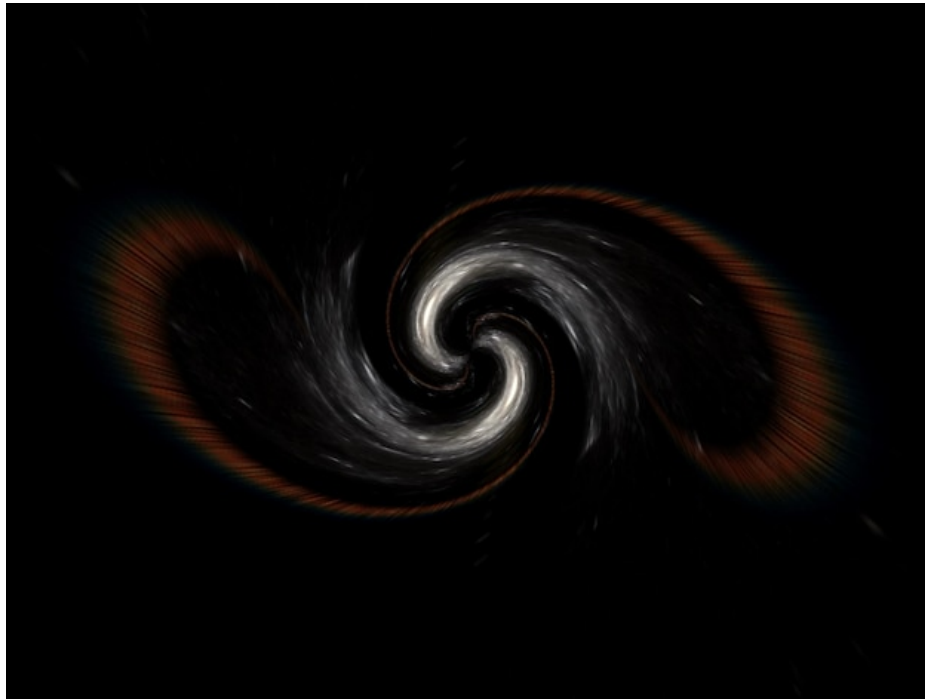


Рис. 1. Иерархическое строение Вселенной



**Рис. 2.** Элемент смыкания галактик и образования их космической сети

Мы не пытаемся в этой статье дать какие-либо обоснованные версии всеобщей турбулентности космоса, проявляющейся в виде вращательного движения небесных тел. Для нас важно то, что они дают не только кажущуюся с земли спиральную (плоскую) структуру, но и объемную геометрическую и физическую вихреподобную динамику всех космических тел, в том числе и нашей планеты Земля. Тем самым подтверждается общая гипотеза физической и геометрической фрактальности (подобия) всех космических тел.

Но на повестке дня – обсуждение фрактальности не только материального мира на Земле и в Космосе, в структурном и функциональном виде, но и подобия динамики нематериальных объектов, в том числе составляющих энергетических, информационных, социальных, биологических и прочих несводимых друг к другу, но и не существующих по отдельности систем.

Если еще недавно основной вопрос (абстрактной) философии сводился к тому, что первично, а что вторично в процессе миропредставления (миропонимания и миротворения) – материя или божественный дух. И это делило людей (и не только философов, но и биологов, технологов, социологов, экономистов и политиков) на два непримиримых лагеря – материалистов и идеалистов. Но сегодня этот дуализм уже потерял свою воинствующую бесспорность. С введением в науку и практику системного подхода, когда прямые и обратные связи любой

замкнутой системы придают ей свойства динамичности и способности к самостоятельному (не косному, а мобильному) существованию и развитию. А это означает, что в мире нет отдельно неживых (материальных систем, обладающих массой покоя) и живых саморазвивающихся систем. Материальные объекты немислимы без их энергетического наполнения и проявления. Также как и энергия не существует без ее материальных носителей. Полевые кванты и материальные частицы не есть различные несводимые друг к другу образования, а только различные формы единой энергоматериальной сущности. И известная формула (появившаяся задолго до А. Эйнштейна, а именно  $E=mc^2$ ) не означает трансформацию массы в энергию и наоборот, как это якобы происходит в т.н. «черных (космических) дырах, а только означает формальный эквивалент материи и энергии при их взаимном существовании. Недаром еще Аристотель в своей метафизике писал, что энергия есть всякая форма действия (движения, работы, развития и, наконец, самой жизни), в то время как материя есть лишь набор тех потенциальных ресурсов, с которыми эти действия осуществляются, и каковые они приводят к т.н. «энтелехии» - новому искусственному потенциалу, который выступает уже в форме обновленной организационной структуры развития системы. Благодаря такому системному кругообороту (вращательной самоорганизации миросистемы) информация заменяет энтропию – хаос., который был бы неизбежен при линейном развитии миросистемы. При этом вихревая форма организации движения исключает необходимость в «Большом Взрыве», якобы запустившим процесс в миросистеме, а на самом деле лишь развернувшим эволюцию в противоположном направлении. При этом вихреобразная структура аккумулирует в себе энергетический потенциал развития и предотвращает «тепловую смерть» Вселенной. Космос как «антихаос» - это структурно – информационное и материально – энергетическое единство мировой сущности, проявляемой в виде триады «материя – энергия – информация», которая является основой существования и развития всех составляющих миросистемы и ее составных частей, включая нашу «живую Землю».

Солнечная система (Рис.3), ядром которой является наша Звезда, не является термоядерным генератором энергии, как это иногда представлено в наших учебниках. Ее внутренняя масса давно бы уже выгорела за счет термоядерных реакций. Как представлено в нашей совместной с проф. И.П. Копыловым работе [2], Солнце есть модель - аналог электрической машины, преобразующей поток энергии, приходящий из галактики, в электромагнитный набор излучений, достигающий поверхности нашей планеты. А наша планета как конденсатор накапливает эту энергию и по мере переполнения его емкости взрывается вихреобразными структурными аномалиями (а на самом деле ее естественными энерго – материальными флуктуациями).

Вселенная, галактики, солнечная система и наша планета – это иерархия космических образований, подобных по своему строению и по функционированию. Среди этого подобия особенно значима их пространственно-временная фрактальность, а также их турбулентность (вихревой характер, цикличность) как идентичный процесс, свойственный всем космическим телам и системам.



Восточная философия и древнее греко-египетское миропонимание («все течет – все меняется», «что наверху, то и внизу», «что было, то и будет») принимали эту цикличность как закономерность, обусловленную колебательными процессами на земле и в небе [3].

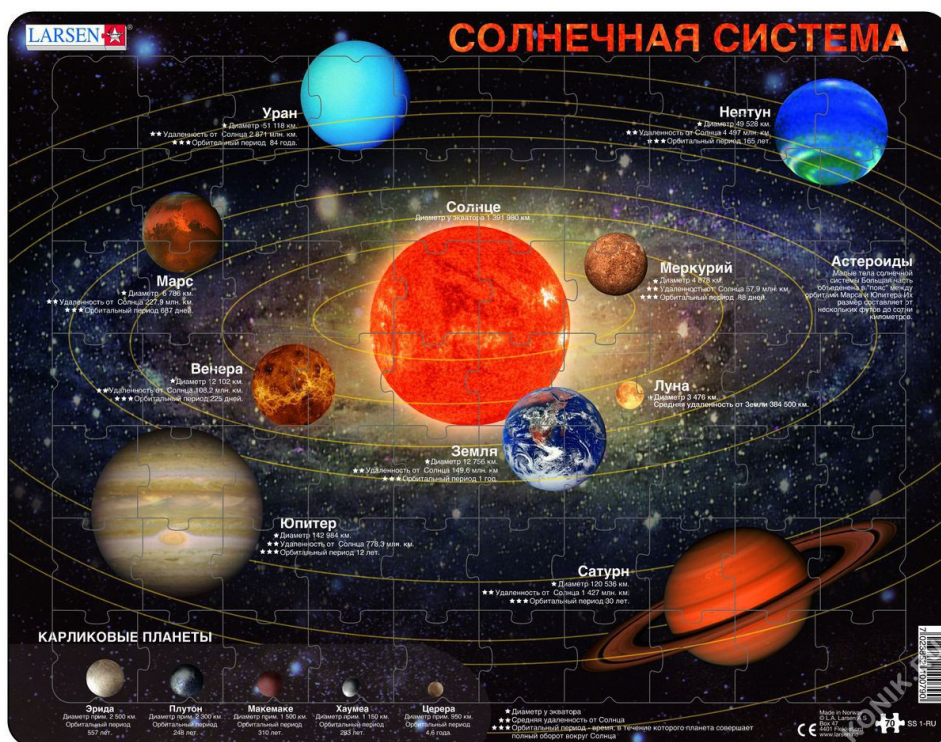


Рис. 3. Солнечная Система

В повседневной жизни это соответствовало смене дня и ночи, временам года и режимам хозяйствования. В человеческом сознании это отражалось и в смене астрологических эпох, и в галактических циклах, определяющих периодичность «всемирных потопов», и в смене тысячелетних циклов развития человеческой цивилизации.

В современных научных представлениях (и в микрофизике и в космогонии) возрождается принцип «дельфийских мудрецов»: «познай себя – познаешь Вселенную», говорящий о фрактальности (пространственно-временном подобии) человека и космического мира. И главным отличительным моментом этого подобия является всеобщая цикличность, проявляемая не в виде замкнутых кругов, а в виде «спиральной, а точнее винтовой динамики» [4].

## 2 Замена биосферных и ноосферных понятий для открытых космических систем

Сегодня это подобие Космоса и Земли рассматривается как синкретическое единство миро – системы, включающее в себя и энерго-материальное единство и всеобщую организации жизни, по крайней мере, в Ближнем Космосе, доступном для всех живых существ. В одном случае, отождествляя жизнь с формой существования всех биологических объектов и субъектов ( всех живых существ, включая самого человека), мы говорим о единой биосфере. А во втором, умпостигаемым путем мы развиваем идею ноосферы как «сферы разума», охватывающей физико-химические, социально-ментальные, интеллектуально - когнитивные процессы метафизического характера, в т.ч. и для Дальнего Космоса. Промежуточным вариантом ноосферы выступает и социосфера, охватывающей интеграцию человечества в рамках отдельных и глобальной цивилизации на Земле и в Космосе, а также техносфера и особенно ее виртуальная общность, связанная с информационным вербальным отображением в нашем сознании модели внешнего мира.

На наш взгляд, широко распространенные понятия – и биосфера и ноосфера, некорректны как с точки зрения своей сферической формы, так и реального состава. Сфера – это замкнутая структура, ограниченная какой-то поверхностью, тогда как космос – это система открытая. Единственный объект, подпадающий под понятие «сфера» - это геосфера (земной шар), ограниченный его поверхностью. Правда, и поверхность Земли – это не какое-то листовое покрытие, а сложное многослойное образование, включающее в себя и биопленку живого вещества, и водную поверхность, и атмосферу и другие слои околоземного пространства, переходящего в межпланетную среду, ближайший и отдаленный космос. Но все эти слои содержат в своем составе биомассу, составляющую общую жизненную среду и саму жизнь. До тех пор, пока мы рассматриваем биосферу как планетарное явление, ограниченное внутренней и окружающей сферой Земли, понятие биосфера как система живого вещества на планете имеет полное право на существование. Но как только мы пытаемся распространить систему живого вещества на открытый космос, то понятие «биосфера», приемлемое для замкнутого объема, на весь космос распространять некорректно. Поскольку выше упоминалось, что жизнь может существовать и в космосе, и не только в виде биоты, а и в других формах, логичнее было бы использовать в космогонии и космологии вместо понятия «биосферы» термин «вита-зона», где «вита» – жизнь (не обязательно в биологической белково-нуклеиновой форме), а «зона» по аналогии с информатикой – неограниченная область. Также и ноосфера – это не «сфера разума», а метафизическое понятие – «зона сознания», включая мысль и чувства, духовность и культуру как вид человеческой деятельности. Но пока не будем категоричны в терминологии, и будем использовать и привычные понятия: «биосферу» и «ноосферу» и предлагаемые нами «вита-зона» и «зона сознания» применительно к открытому космосу.

В начале 3-го тысячелетия человечество переживает перелом тенденций своего долгосрочного развития. Это – переход от доминанты материального (промышленного) развития (от века пара, моторов и силовой электроэнергетики) к т.н. ноосферной самоорганизации человеческого сообщества в рамках его единства с космическим миром. И здесь определение «зона сознания», как нам кажется, более предпочтительно, чем расхожее «ноосфера», так как позволяет понять, что не сфера разума является средоточием всех представлений о едином пространственно-временном мире.

На заре своего общественного развития и миропонимания это единство было выражено в основном в виде мифопоэтического и религиозного представления о «высшем существе», который «за семь дней творения» создал сам мир и вдохнул жизнь в человека. Затем это единство стало темой философского обобщения процессов миропонимания и мирообустройства земли и космоса как единого целого.

Сегодня космическое единство неба и человека воспринимается через достижения естественных наук, основанных не только на логике и знаниях, но и на интуиции и вере, вербальном «умопостигаемом» видении многогранного мира, включающем как физические реалии, так и метафизические представления о его структуре и функциональных связях. Реальный мир - это земная ойкумена – территория, занятая проживающим на планете населением, вместе с природным окружением, освоенный человеком Ближний Космос.

Космизм как единое мировоззрение и общая практика мировой жизни сегодня – это новое не только научно-философское мировоззрение. Это – и новая практика мирообустройства нашей земной цивилизации на волне единых космопланетарных законов развития. Наконец, это – новая форма глобального миропорядка, наш космопланетарный Дом - Экос, в котором будут реализованы общие космические правила общежития – гармония материальных, энергетических и информационных условий жизни и правил.

Экос – это и эко-логия как наука о своем месте в жизни планеты, и эко-номика, эрго – как индивидуальный и коллективный труд человека на планете и в Космосе.

### **3 Жизнь как энергокосмический процесс**

Вечное самодвижение означает и внутренне присущую миросистеме жизнь как ее энергетическое «начало».

Движение – это энергетический процесс, включающий в себя всякое действие, в т.ч. работу, труд, развитие и саму жизнь. «Жизнь есть явление космическое, а не специально земное... Жизнь вечна постольку, поскольку вечен Космос» [5].

Несмотря на то, что все биологи исповедуют принцип биогенеза Реди («Все живое рождается от живого»), жизнь не сводится только к белково-нуклеиновой форме существования и трансформации вещества. И сам В. Вернадский и писатель – фантаст Айзек Азимов, и новосибирский биофизик В.Казначеев говорят о возможном множестве иных вариантов жизни. При других по отношению к земле

условиях может развиваться и кремний-металлическая, фтористая, аммиачная и иные формы жизни. А все, что «мыслимо», то рано или поздно осуществляется.

В середине семидесятых годов 20 века академик Казначеев высказал гипотезу о множественности взаимодействующих форм живого вещества, в том числе, о малоизученных полевых формах жизни, о том, как малоизвестные нам потоки полевой информации сгущаются и реализуются в клеточных структурах.

Доказанный в работах ИКЭМ СО АМН СССР феномен дистанционных межклеточных взаимодействий является одним из важнейших приоритетов российской космогеобифизики [6]. Ученый обозначил новые парадигмы в естествознании — живого космического пространства и голографической Вселенной.

Более того, в определении В. П. Казначеева «интеллект человека является полевой формой жизни (живого космического вещества)». Принципиально неразличимы живые и неживые вещества (существа). Жизнь человека – от рождения до смерти – это симбиоз как физического наращивания и сжатия тела, так и его духовного самосовершенствования и интеллектуального развития. Переход в другой мир означает распад реального структурного состояния человека, трансформацию физического состава тела в биомассу. Но его накопленные за время жизни духовная и интеллектуальная волновые составляющие не исчезают, а пополняют земной «тезаурус» - набор мыслей и идей, творений и замыслов, которые не располагаются на полках вербальной библиотеки, а формируют сферу разума планеты Земля, которая по принципу сообщающихся сосудов соединена с общей космической ноосферой. Человек – это живая клетка объемной космической матрицы, которая на планетарной плоскости формирует человеческое сообщество, а в пространственно-временном объеме – ячейку мира. Космическая матрица – это фрактальное отражение земного человека на космический план вечного бытия. Человек черпает из этой матричной библиотеки необходимые ему по жизни духовные блага и возвращает в эту общую информационную кладовую свои еще нереализованные ценности. Так реализуется, по мнению космистов, основная фрактальная связь земной и космической жизни: особь как земная единица; матрица – как единение этих вербальных особей в космосе, откуда люди приходят на землю посредством матери – роженицы. Очень хорошо сказал об этом В.П.Казначеев:

*Родится жизнь от солнца и земли,  
а Человек – рождается от Любимой!».*

Недаром К.Э. Циолковский, говоря о слиянии человечества с космосом, говорил: «В будущем человечество превратится в лучистую энергию и отправится осваивать новые космические пространства» [7]. И произойдет это сперва в виде проникновения человеческого в космическое сознание, а затем, возможно, и в виде голографического представления. А может быть, вновь вернется на нашу землю. Так аннигиляция живого существа в волновую форму с последующей его инкарнацией создаст эффект распространения человечества в космосе. При этом отдельная жизнь, меняя форму своего конкретного существования, сохраняется в общих рамках «биосферы» как важнейшей составной части живого космоса.

Безначалие и вечность жизни В.И. Вернадский обосновывает и через принцип Рихтера, согласно которому «эволюционный процесс есть проявление одного и того же субстрата – единой жизни в течение геологического времени» [5, стр.109].

#### **4 Биосфера (вита-зона) как системная интеграция всего живого**

Единство земной и космической жизни проявляется путем интеграции всего живого в общую биосферу – «лик Земли», если смотреть на нее из просторов Космоса. Биофизикой на грани фантастики стало направление деятельности известного новосибирского ученого В.П. Казначеева по поиску особых биоинформационных сигналов, позволивших устанавливать взаимодействие клеточных структур, изолированных друг от друга. Воздействуя физико-химическим образом на один набор клеток, в опытах обнаруживалась адекватная реакция на другой совокупности клеток. Тем самым была установлена полевая связь биообъектов с помощью нового неизвестного науке энергоинформационного поля.

Была обнаружена полевая связь и у субъектов, находящихся на расстоянии нескольких тысяч километров друг от друга. Дистантные сигналы, выявленные опытами школы Казначеева, могли свидетельствовать о том, что коды жизни занесены на землю не в виде физических частиц, а с помощью нового вида полевого электромагнитного взаимодействия между всеми живыми существами на земле и в космосе. Тем самым было зафиксировано открытие, что «живое вещество планеты есть полевая форма жизни» [6].

Тогда же В.П. Казначеев взял на вооружение идеи ленинградского астрофизика Н. Козырева о том, что в космосе есть пока неизвестные науке некие информационные поля, осуществляющие взаимодействие между всеми живыми существами. Эти поля позволяли передавать на расстояние и мысли и озарения со скоростью, превышающей скорость света.

Созданное В.П. Казначеевым в рамках общей теории космического всеединства и новой биофизики учение о геокосмической антропоэкологии и представление о жизни как непрерывной космической сущности создает основу новой биофизической космогонии и социогуманитарного феномена человека как космопланетарного явления [6]. Он развил учение о жизни как комплексное полевое, а не только белково-нуклеиновое явление, поднял комплексное учение о человеке на уровень мировой науки и политики, наполнил конкретным содержанием идеи эко-социогуманизма в России как идеологии общественного развития.

Идеи космического всеединства материальной, энергетической и информационной сущности мира определяют дальнейшие направления понимания и научного исследования связи приземной биосферы нашей солнечной системы и вита-зоны Вселенной.

Достаточно, на мой взгляд, отметить три момента этого всеединства, такие как:

1. Развитие идеи о том, что жизнь существует не только в белково-нуклеиновом виде, а и в иных биофизических полевых формах.. С помощью этих полей формируются не только материально-энергетические потоки из Космоса на Землю, но и информационные потоки в прямом и обратном направлении.

Биосфера является своеобразной «пленкой жизни» на поверхности планеты, что, в том числе, допускает проникновение космических плазмодных существ (а биоплазму В. Казначеев называет четвертой формой вещества) в земную Арктиду. Здесь происходит их преобразование в живых человекоподобных существ и распространение *Homo erectus* и *Homo sapiens* по телу планеты.

2. В.П. Казначеев активно развивает идеи Н. Козырева о том, что не энергия и информация изменяется со временем, а время само является источником этих изменений. Время не как атрибут пассивного существования мира, а как деятельная форма влияния на все процессы мировой эволюции подобно разновидности энергоинформационных потоков, циркулирующих в Мегавселенной и допускающих квантовую телепатию и телепортацию – виртуальное дальнее действие в бесконечном мире вселенных. С использованием сконструированных В.П.Казначеевым «зеркал Козырева» возникает возможность виртуального освоения «голографического пространства Козырева – Казначеева» и подтверждения их идей, что прошлое и будущее содержится в настоящем. Тем самым опыты Казначеева позволяют установить связь между людьми, находящимися на разных континентах, а также между событиями далекого прошлого и отдаленного будущего, событиями на земле и в космосе.

3. Исследование Человека как космопланетарного феномена - фрактального подобия микрокосма и макрокосма мира в его вечном эволюционном развитии.

В. Казначеев творчески развил идею художника, писателя и мыслителя Н. Рериха, что «Человек – прежде всего обитатель (и творец – разрядка моя – ВВ) Космоса, и только потом – житель планеты Земля».

Еще одно новое направление научных исследований вытекает из анализа биологических и небιологических форм жизни. Это – мир бактерий – вирусов, которые можно представить не только как биоматериальные частицы, но и как распределенные полуволновые структуры. Недаром прошедшая вирусологическая атака на нашу землю в виде Covid-19 показала наше недостаточное понимание этого явления с точки зрения его сущности, ареала и условий распространения в биосфере (или вита-зоне?)

## 5 Ноосфера как замкнутая космопланетарная зона разума

Необходимо отметить, что если в области биосферы уже достигнуты значимые практические результаты в части ее единства с Ближним Космосом, то о ноосфере пока говорится больше в философском, а не научно-техническом и социальном плане всеединства Космоса и земной цивилизации.

Хотя В. Вернадский был первым, кто утверждал, что геосфера Земли является частью общей биосферы, но она же является и пересечением ойкумены с космическим продолжением солнечной системы и далеких галактик. И понятия

о условиях формирования геосфер дает не геология, а космогония. Идеи В. Вернадского, содержащиеся в его лекциях по геохимии в 20-е годы прошлого века, вызвали глубокий интерес у французских исследователей даже теологической направленности, которые внесли в общественный лексикон даже новое понятие «ноосфера» как сфера не просто жизнеобеспечения, а «сфера разума». Правда, автор самого термина «ноосфера» Э. Леруа понимал под ним «духовный пласт жизни», выходя за рамки биологической жизни, но оставаясь в плену идеологических представлений о духовных первоначалах жизни. Человек – существо не только биосоциальное, но и разумное (*Homo Sapiens*), и его космический код определяется не только потребностью в создании автотрофных продуктов – пищевых цепочек, но и намерением соответствовать общим законам космоса, направленным на укрепление единства системы жизнеобеспечения и разумного обеспечения материально-энергетического (геологического) единства и творческого начала всей космопланетарной общности. Понимая, что геологическая основа Космоса не может охватить все сферы его материальной структуры, большую часть космоса как вместительности В. Вернадский отводил нематериальной среде, заполняемой информацией как некоей модернизации иной формы энергии, поступающей из глубины миро-системы и трансформирующейся в особые виды энергии, свойственные отдельным галактикам и системам. А эту энергоинформационную сущность Вселенной он и рассматривал не только как замкнутую сферу конкретных знаний, но и как зону осознания миро-системы в целом. Выше уже говорилось о ноосфере как «библиотеке знаний», наполняемых человечеством в процессе своей жизнедеятельности, и черпаемых оттуда людьми, посвященными в таинства их восприятия. Причем эта почерпнутость знаний совершается не путем последовательного как в книге их просмотра и перехода от одних информационных блоков к другим. Вряд ли современных исследователей удовлетворит последовательность раскрытия материала – от космогенеза – к геогенезу, выделяя биогенез, в котором рождается психогенез, а уже оттуда – ноогенез [8].

Эти знания группируются по мере накопления материала, но выдаются целиком – по мере востребованности в общем понимании ноосферы.

Сегодня ноосферная проблематика затрагивает не только материально-энергетические, геологические, частично биологические, технологические и другие сферы разума, но и вынуждает рассматривать миро-систему как общую зону осознания, в которой присутствуют и естественно-научные и социальные и общецивилизационные проблемы.

Одним из актуальных направлений исследования зон осознания этих проблем является проблема ноосферы как единой системы «человечество – эволюция – космос» по аналогии с земным домом – экосом «материя – энергия – информация». Между земным и космическим миром всегда существует фрактальность и паттернализм (подобие в пространственно-временном и функциональном виде).

## 6 Вихревая структура космоса как накопитель энергии

С точки зрения структурного подобия (фрактальности) и подобия (повторяемости) функциональных процессов (энергетических паттернов во всех звеньях космического мира, в том числе для Земли и человеческого сообщества), важно отметить, что основным видом вращательного движения, в том числе и цикличности динамики всех тел и систем является их вихревая структура как местный накопитель - дополнительный источник энергии. Энергия вихрей идет из верхних слоев Вселенной и достигает Земли в виде атмосферных вихрей, волновых приливов и отливов, землетрясений и извержений вулканов. Земные вихри есть отражение космических вращательных движений. Поэтому структурно-функциональная модель любых объектов миро-системы, в том числе и природных и техногенных, фрактальна и паттерналистична (подобна) друг другу.

Ключевым для обеспечения этого подобия является энергетический фактор, придающий системе свойства эволюционировать и развиваться как единая жизнеобеспечивающая и жизнеутверждающая система. Поэтому материальные, жизненные и космические энергии, пронизывающие мир и человека являются не только сгустком знаний в ноосферном «тезаурусе», а раскрывают эти знания в процессе их трансформации и использования. Энергия, а не живые существа, как выразился В.И. Вернадский, являются потенциалом и движущей силой эволюции мира. А энергетические процессы в силу своей турбулентности то закручивают вихри в одну сторону, то вызывают процессы в обратном направлении, и этим самым создают эффект неисчерпаемости и развития.

При этом необходимо учитывать, что энергия характеризуется не только ее качеством и количеством, но в третьих, ее интенсивностью и негэнтропийностью.

Последнее выражается в том, что в космическом мире существует единое человечество, а его земное отражение в виде отдельных цивилизаций лишь подчеркивает известный принцип « в разнообразии – сила».

## 7 Информационные связи галактик

Помимо энергетических связей в единой «зоне осознания» важным фактором единства и взаимодействия отдельных частей этой зоны являются информационные связи, которые скрепляют эти части в единую информационную общность. Наряду с интеграцией отдельных галактик, планет и систем, имеющих замкнутую поверхность, трудно доступную для проникновения сквозь нее не только энергоматериальных, но и информационно насыщенных сигналов, в миро-системе существует и открытая зона, охватывающая большинство галактик, где информация не накапливается внутри каждой системы, а свободно циркулирует между ними. При этом на границе систем информация, которая является иной формой энергетических действий, а именно, действий, обеспечивающих негэнтропийное развитие систем, на границе перехода от одной системы к другой реализует свою структурно-организующую функцию, т.е. трансформирует уже саму



структуру системы к большей адекватности новым задачам. Тем самым обеспечивается синхронность развития материально-энергетических, структурно-информационных и жизненно-функциональных задач единого био-ноосферного (вита-зоны и зоны осознания) мира.

Единство этого космопланетарного мира (человеческой цивилизации, био- и геосферы планеты и соседних галактик) требует поиска средств коммуникации между ними. Когда-то на заре поиска внеземных цивилизаций утверждалось, что они рано или поздно выйдут навстречу друг другу, ориентируясь на цифровые сигналы, в которых должна быть закодирована необходимая для контактов информация. Но...этого не случилось. Потому что информация – столь же разнообразна, как и сами сигналы. Тем не менее сегодня появилась еще одна версия межгалактических контактов – с помощью «планетарных вычислений» [9]. При этом «вычислениям» приписываются некие общие универсальные свойства, тогда как они отражают только количественную (численную) сторону информационного качества. А ведь история рода человечества наполнена огромного рода объемом и видом информации, более адекватной для восприятия другими субъектами и объектами. Китайские иероглифы и арабские цифры, славянские резы, латинское письмо, – все способы решали одну единственную задачу: найти адекватные способы передачи данных для приобщения иных посетителей к общей задаче общения и производства к заранее заданным результатам. Язык этого общения не может не быть универсальным, но и не должен быть «панaceей» от всех бед, подстерегающих нас на ходу. Скорее всего, эта библиотека должна открываться особым способом, исходя из резонансного созвучия трех сигнальных параметров общения субъектов и систем: частотной идентичности сигналов, их гармонии и синкопической ударной силы при доминировании передаваемых сообщений.

Информационное взаимодействие частей единого космопланетарного и живого сообщества является наиболее значимым вопросом диалектики и трилектики миро-системы.

## Литература

1. Кузнецов А. Г. Туманности нейросетей: «черные ящики» технологий и наглядные уроки непрозрачности алгоритмов // Социология власти. – 2020. – Т. 32. – №. 2. – С. 157-182.
2. Бушуев В.В., Копылов И.П. Земля и Космос- М.: ИАЦ «Энергия», 2005- 193 с.
3. На пути к космопланетарной цивилизации (под ред. Бушуева В.В., Клепача А.Н.) – М.: ИД «Энергия», 2023 – 687 с.
4. Дон Бок и Крис Кован. Спиральная динамика – BestBusinessBooks, 2010 – 420 с.
5. Вернадский В. Начало и вечность жизни.- М.: Советская Россия, -1989, с.102-103).
6. Казначеев В.П. Спириин Е.А. Космопланетарный феномен человека. – Новосибирск, «Наука», -1991, - 304 с
7. Циолковский К.Э. Космическая философия // Strelbytskyy Multimedia Publishing, 2020.
8. Казначеев В.П. Учение Вернадского В.И. о биосфере и ноосфере. – М.:Ленанд, 2022 – 248 с.

9. A New Philosophy Of Planetary Computation // <https://www.noemamag.com/a-new-philosophy-of-planetary-computation/>

### References

1. Kuznetsov, A.G. Nebulae of Neural Networks: "Black Boxes" of Technologies and Visual Lessons of Algorithm Opacity. *Sociology of Power*. 2020, Vol. 32, No. 2, pp. 157-182.
2. Bushev, V.V., Kopylov, I.P. *Earth and Space*. Moscow: IAC "Energy", 2005. 193 p.
3. *Towards a Cosmoplanetary Civilization* (edited by Bushev, V.V., Klepach, A.N.). Moscow: Publishing House "Energy", 2023. 687 p.
4. Don Beck and Chris Cowan. *Spiral Dynamics*. BestBusinessBooks, 2010. 420 p.
5. Vernadsky, V.I. *The Beginning and Eternity of Life*. Moscow: Soviet Russia, 1989, pp. 102-103.
6. Kaznacheev, V.P., Spirin, E.A. *The Cosmoplanetary Phenomenon of Man*. Novosibirsk: "Science", 1991. 304 p.
7. Tsiolkovsky, K.E. *Cosmic Philosophy*. Strelbytskyy Multimedia Publishing, 2020.
8. Kaznacheev, V.P. *Vernadsky V.I.'s Doctrine on the Biosphere and Noosphere*. Moscow: Lenand, 2022. 248 p.
9. A New Philosophy Of Planetary Computation // <https://www.noemamag.com/a-new-philosophy-of-planetary-computation/>

## Space and Humanity: A Fractal Path of Development

Vitaly Bushev

Institute of Energy Strategy (IES), Moscow, Russia

E-mail: vital@guies.ru

**Abstract.** The article addresses fundamental questions of the interconnection between space and humanity through the prism of fractality. The research is based on the hypothesis of the Universe's fractal nature, where galaxies are interconnected into a single cosmic web, forming an infinite hierarchy of structures from the microcosm to the macrocosm. An analysis of the interaction between matter and energy is conducted, emphasizing the role of information in the evolution of cosmic systems. The concept of life as an energocosmic process is considered, overcoming traditional views of the biosphere and noosphere and proposing a new perspective on cosmoplanetary development of humanity. The article aims to unite philosophical, scientific, and ecological aspects in the search for harmony between man and space, highlighting the importance of a systematic approach to sustainable development and cosmoplanetary civilization.

**Keywords:** Fractality of the Universe, Energocosmism, Biosphere and Noosphere, Cosmoplanetary Development, Systemic Approach to Ecology

УДК 911.3:33

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-1-36-50

EDN: IQOBLC

## Территориальная организация возобновляемой электроэнергетики России

<sup>1,2</sup>Дегтярев Кирилл Станиславович [0000-0002-1738-6320]<sup>1,3</sup>Синюгин Олег Анатольевич [0000-0001-5874-4342]<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, РоссияE-mail: <sup>2</sup>kir11111@rambler.ru, <sup>3</sup>sinyugin.oleg@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрен производственный комплекс возобновляемой электроэнергетики в России, включающий гидроэнергетику, ветровую и солнечную энергетику. Выделены основные зоны и центры развития возобновляемой электроэнергетики в стране, включая производство оборудования для возобновляемой энергетики и строительство электростанций. Обозначен территориальный разрыв между строительством электростанций в зонах с более высоким природно-ресурсным потенциалом ВИЭ, и производством оборудования, связанным, в большей степени, со старопромышленными районами.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, территориальная организация, Россия, электроэнергетика

### 1 Введение

Обзор территориальной организации проводится применительно к гидроэнергетике, ветровой и солнечной энергетике. Геотермальная электроэнергетика выводится за пределы рассмотрения в данной работе в силу небольших объемов установленных мощностей и производства, а также узкой зоны использования – в настоящее время ГеоЭС работают только на Камчатке и Курильских островах, притом, что в России существует ряд территорий, перспективных для развития геотермальной энергетики [1, 2]. Биоэнергетика также не рассматривается в работе в силу своей специфики – в частности, её использования преимущественно для извлечения тепловой энергии. Выработка электроэнергии на основе биотоплива также пока не получила широкого распространения в России.

Цель работы – выявить закономерности развития и размещения возобновляемой энергетики на территории России. Актуальность связана с отсутствием на данный момент регулярных экономико-географических обзоров объекта исследования, притом, что энергетика на основе ВИЭ сложилась в России как отдельная отрасль, имеет свои особенности и отличается высоким динамизмом.

## **2 Производство оборудования для возобновляемой энергетики**

Производство оборудования для возобновляемой энергетики в России имеет давнюю историю [3, 4; 5-6], однако с 1960-х гг. наблюдается замедление темпов развития, перешедшее в стагнацию в 1990-е и 2000-е годы. Как следствие, в России по ситуации на конец XX – начало XXI века практически отсутствовали современные серийные производства ветрогенераторов и солнечных модулей, в отличие от гидроэнергетического оборудования, где у отечественных предприятий сохранялись достаточно сильные позиции.

В 2009-2014 гг. была разработана нормативная база поддержки и развития возобновляемой энергетики, включавшая, в том числе, требования к локализации производства оборудования [7], что послужило стимулом к их созданию на территории России, преимущественно крупными российскими корпорациями в сотрудничестве с западными или китайскими партнёрами.

В частности, так появились производства башен для ветрогенераторов в Таганроге «Башни ВРС» (51% акций компании принадлежали испанской компании Windar Renovables, остальные акции - компаниям «Роснано» и ПАО «Северсталь»), производство лопастей ветрогенераторов в Ульяновске при сотрудничестве Роснано и Vestas (Дания), предприятие по производству солнечного кремния и сборке модулей в Подольске (ООО «Солар Системс»), учреждённой китайской компанией Amur Sirius Power Equipment, и ряд других.

После геополитического обострения в феврале 2022 года и введения санкций со стороны западных стран в отношении России [8, 9] ряд европейских компаний, работавших на российском рынке возобновляемой энергетики (Vestas, Fortum), объявили об уходе с российского рынка, а работа предприятий, работавших с их участием (в частности, заводы в Таганроге и Ульяновске), была остановлена. В настоящее время идёт восстановление и открытие новых производств силами, главным образом, российских компаний.

В производстве задействован ряд имеющихся предприятий металлургической, машиностроительной, электротехнической промышленности и других отраслей, обеспечивающий поставку материалов и комплектующих для возобновляемой энергетики. Производство налаживается в рамках вертикально и горизонтально интегрированных холдингов; один из примеров – группа компаний, включающая «Северсталь», «Силовые машины», «Калужский турбинный завод», «Красные котельщик».

В целом, производства оборудования и комплектующих для возобновляемой энергетики, концентрируются, главным образом, в старопромышленных зонах: Центральном, Северо-Западном, Волго-Вятском, Поволжском, Уральском экономических районах (табл. 1, рис. 1). В большей степени их размещение ориентировано на уже имеющуюся металлургическую и машиностроительную базу, сохранившуюся с советских времён, чем на районы наиболее активного строительства ветровых (ВЭС) и солнечных (СЭС) электростанций.

В свою очередь, построенный в Калининградской области в 2021-2024 гг. завод «ЭнКОР» по производству компонентов для СЭС – на данный момент, крупнейший в стране, первоначально был сориентирован на экспорт в западноевропейские страны и, вероятно, в настоящее время стоит задача переориентации его продукции на внутренний рынок.

**Таблица 1.** Ведущие предприятия по производству оборудования для ВИЭ\*

Предприятие	Специализация	Размещение производства
<b>ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА</b>		
ООО «РК Энергомаш»	Энергетическое основное и вспомогательное тепломеханическое, электротехническое, емкостное оборудование.	г. Людиново, Калужская обл.
ООО «ВиндарСеверсталь» («ООО Башни ВРС»)	Производство башен ветроэнергетических установок.	г. Таганрог, Ростовская обл.
АО «Новавинд» (Росатом)	Производство узлов и агрегатов ВЭС, строительство ВЭС	г. Волгодонск, Ростовская обл., г. Ульяновск
Vestas Manufacturing Rus, УК Роснано	Производство гондол для ветрогенераторов	г. Дзержинск Нижегородской обл.
АО «Силовые машины»	Производство ветрогенераторов большой мощности и комплектующих (планируется)	Алабуга, Татарстан
ООО НПК «АЛЬТЕРРА»	Производство ветрогенераторов малой и средней мощности.	Омск
RKraft	Ветрогенераторы малой и средней мощности	Москва
Ветер-сила, Ветрострой	Ветрогенераторы малой мощности	г.Сафоново, Смоленская обл.
Деалан Энерго	Ветрогенераторы малой мощности	Ижевск
НИЦ ВИНДЭК	Производство электрогенераторов для ВЭС и мини-ГЭС	Москва
ЗАО «Агрегат-Привод	Ветрогенераторы и ВЭУ малой мощности	Москва
ЗАО «Технопривод»	Электрогенераторы для ВЭУ	Псков

Предприятие	Специализация	Размещение производства
<b>СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**</b>		
<b>Завод ХЕВЕЛ (Ренова и Роснано)</b>	Солнечные батареи и модули, строительство СЭС	г. Новочебоксарск, Чувашия
<b>Завод «ЭнКОР»</b>	Кремниевые пластины, солнечные модули	г. Черняховск, Калининградская обл.
<b>Солар Кремниевые технологии</b>	Производство кремния, сборка солнечных модулей, строительство СЭС	г. Подольск Московской обл.
<b>ХЕЛИОС-Ресурс</b>	Кремниевые пластины	Саранск
<b>ОАО НПП «Квант»</b>	Изготовление солнечных батарей космического и наземного базирования	Москва
<b>ЗАО «Телеком-СТВ»</b>	Производство автономных солнечных модулей малой мощности	Зеленоград, Москва
<b>РЗМКП</b>	Производство автономных солнечных модулей малой мощности	Рязань
<b>Сатурн</b>	Выращивание кристаллов кремния, производство солнечных батарей	Краснодар
<b>ООО «Витасвет»</b>	Производство солнечных модулей	Москва
<b>Термотрон</b>	Системы наружного освещения на основе солнечной энергии	Брянск
<b>ГИДРОЭНЕРГЕТИКА</b>		
<b>ПАО РусГидро</b>	Строительство ГЭС	Москва (головной офис)
<b>АО «Силовые машины»</b>	Гидротурбины и другое оборудование для ГЭС	Санкт-Петербург
<b>ООО «ПромГидроЭнергоМаш»</b>	Гидромеханическое оборудование	Москва (головной офис)
<b>Завод «Тяжмаш»</b>	Гидротурбины, гидромеханическое оборудование	г. Сызрань (Самарская обл.)
<b>НПО «Электромаш»</b>	Оборудование для ГЭС, строительство МГЭС	Екатеринбург
<b>Завод «Уралгидромаш»</b>	Гидротурбины	г. Сысерть (Свердловская обл.), Екатеринбург
<b>АО МНТО Инсэт</b>	Гидротурбины, строительство МГЭС	Санкт-Петербург

\*использованы материалы ресурсов rawi.ru, energybase.ru, <https://fabricators.ru>, <https://производитель.рф/>, <https://www.cdu.ru/>, <https://rreda.ru/>, [checko.ru](https://checko.ru/), другие отраслевые ресурсы и сайты энергетических компаний, информация деловых СМИ.

\*\* см. также [4].

Исключения составляют солнечно- и ветроэнергетические предприятия Юга России (в Краснодарском крае, Волгоградской и Ростовской областях), приближенные к наиболее крупным на данный момент зонам строительства ВЭС и СЭС. В случае с югом европейской части страны (Северо-Кавказский ЭР и южная часть Поволжского ЭР) можно говорить о начале формирования промышленно-энергетического кластера возобновляемой энергетики, или реального энергопроизводственного цикла [10, 11] с высокой возобновляемой электроэнергетической составляющей, включающего основную часть технологической цепочки от производства оборудования до поставки электроэнергии местным потребителям и в соседние регионы.



**Рис. 1.** Размещение центров производства оборудования для возобновляемой электроэнергетики

Приведённая в таблице 1 и на рис.1 информация о предприятиях не является полной, что связано, с одной стороны, с динамично меняющейся ситуацией, с другой – с трудностями в сборе данных, отсутствием интегральной базы по предприятиям, работающим в сфере возобновляемой электроэнергетики, проблемами с разделением существующих де-юре и фактически работающих предприятий, что заставляет пользоваться фрагментарной информацией из разных источников.



Следует добавить, что во многих случаях производство оборудования и комплектующих для возобновляемой энергетики является не основным профилем предприятия, а дополнительным направлением развития – в том числе, имеющим на данный момент экспериментальный характер. Также вне зоны рассмотрения остались предприятия и научно-исследовательские организации, специализирующиеся на НИОКР (этот аспект отражён, в частности, в [12-14]) и мелкосерийном или единичном производстве оборудования.

### 3 Электростанции на основе ВИЭ и региональные особенности их размещения

Наиболее длительная история развития возобновляемой энергетики в России связана с гидроэлектростанциями, и в настоящее время на них приходится более 90% всех электроэнергетических мощностей, работающих на ВИЭ. Россия отличалась развитой гидроэнергетикой ещё в советский период. Если середины XX века большую роль играли малые ГЭС (мощностью до десятков МВт), обеспечивавшие потребности в электроэнергии в локальном масштабе – на уровне отдельных районов и населённых пунктов, которых к 1950-м гг. насчитывалось несколько тысяч [3], то далее была сделана ставка, главным образом, на крупные гидроэлектростанции. В середине и второй половине XX века была построена основная часть Волжско-Камского каскада и крупнейшие ГЭС в Сибири и на Дальнем Востоке – Саяно-Шушенская, Красноярская, Братская, Усть-Илимская. При этом, число действующих малых ГЭС резко сократилось – до нескольких десятков, однако с начала XXI века наблюдается некоторая активизация их строительства.

По ситуации на конец 2023 года в России насчитывается около 200 действующих ГЭС общей мощностью около 50 000 МВт, из них 14 – мощностью 1 000 МВт и более (на Енисее, Ангаре, Волге, Каме, Зее, Буре, Сулаке), на которые в совокупности приходится 38 500 МВт.

Из них с 2000 года было введено в эксплуатацию 40 ГЭС общей мощностью 8 000 МВт, из которых 5 000 МВт пришлось на 2 крупнейшие – Богучанскую (р. Ангара, Красноярский край) и Бурейскую (р. Бурей, Амурская область). При этом с 2000 года было построено 25 малых ГЭС (мощностью до 30 МВт) общей мощностью 140 МВт; ГЭС мощностью до 100 МВт с 2000 года было построено чуть больше 30, а их общая мощность составила около 600 МВт.

Можно выделить три основных ареала развития гидроэнергетики в России с начала XXI века (табл. 1, рис. 2):

1. Восточная Сибирь и Дальний Восток – с наибольшими установленными мощностями, представленными крупными электростанциями – от сотен МВт до ГВт;
2. Северный Кавказ – с наибольшим количеством ГЭС, преимущественно малых и средних – от первых МВт до десятков, в отдельных случаях – сотен МВт;

3. Северо-запад – существенно меньшего размера, представленный малыми ГЭС, построенными и строящимися в Карелии.

Эти регионы можно рассматривать и как наиболее перспективные для дальнейшего развития гидроэнергетики; имеющиеся планы строительства ГЭС также привязаны, в основном, к данным территориям.

Ситуация с солнечными и ветровыми станциями принципиально иная. На середину 2010 гг. общая мощность СЭС и ВЭС в России измерялась десятками МВт; исключение составляла Республика Крым, где основные солнечные и ветровые мощности – несколько сотен МВт в совокупности, были построены до 2014 года.

Примерно с 2017-2018 гг. темпы строительства СЭС и ВЭС увеличиваются, а их суммарная установленная мощность увеличивается практически с нуля до величины более 4 ГВт к концу 2023 года (табл.1). Строительство идёт с использованием, большей частью, российского оборудования, произведённого в России, и под управлением крупных российских корпораций, таких, как РусГидро, Росатом (ветроэнергетическое подразделение НоваВинд), Ренова (завод «Хевел»).

В отличие от гидроэнергетики, где Россия занимает одно из ведущих мест в мире, установленные мощности в ветровой и солнечной энергетике – 2,5 ГВт ВЭС и 1,8 ГВт СЭС, остаётся на порядок ниже, чем в ведущих странах; для сравнения, установленная мощность ВЭС и СЭС в 2022 году составила соответственно: в Китае – 366 и 393 ГВт, в США – 141 и 113 ГВт, в Японии – 5 и 79 ГВт, в Германии – 66 и 67 ГВт, в Канаде – 15 и 4 ГВт [15]. В мировой структуре установленных мощностей ВЭС на Россию приходится менее 0,3%, СЭС – менее 0,2%.

**Таблица 2.** Установленные мощности электростанций на ВИЭ по регионам России, конец 2023 г.\*

Регионы	Мощности, МВт	Станции
<b>Гидроэлектростанции</b>		
<b>Северо-западный регион</b>		
Карелия	55	Белопорожская, Ляскеля
<b>Северный Кавказ</b>		
Дагестан	564	Ирганайская, Гочатлинская, Гельбахская, Гунибская, Магинская, Амсарская
Северная Осетия	363	Зарамагская ГЭС-1, Головная, Фаснальская
Карачаево-Черкесия	359	Зеленчукская, Красногорские, Усть-Джегутинская, Большой Зеленчук, Новокарачаевская, Учкуланская
Кабардино-Балкария	169	Кашхатау, Аушигерская, Зарагужская, Верхнебалкарская, МГЭС-3
Ставропольский край	26	Егорлыкская-2, Просянская, Барсучковская
Краснодарский край	2	М. Краснополянская

Регионы	Мощности, МВт	Станции
Чечня	1	Кокадой
<b><i>Восточная Сибирь и Дальний Восток</i></b>		
Красноярский край	2 997	Богучанская
Амурская обл.	2 330	Бурейская, Нижне-Бурейская
Магаданская обл.	570	Усть-Среднеканская
Якутия	278	Светлинская
Камчатский край	43	Толмачёвская-2, Толмачёвская-3
Сахалинская обл.	1	МГЭС-1
<b><i>Другие регионы (Южный Урал, Волго-Вятский район и Среднее Поволжье)</i></b>		
Башкортостан	45	Юмагузинская
Кировская обл.	1	Белохолуницкая
Ульяновская обл.	1	Ульяновская МГЭС-1
Томская	1	Томская мини-ГЭС-1
<b>ВСЕГО ГЭС</b>	<b>7 806</b>	
<b>Ветроэлектростанции</b>		
<b><i>Северо-западный регион</i></b>		
Мурманская область	202	Кольская
Калининградская область	5	Ушаковская
<b><i>Юг России, Нижнее и Среднее Поволжье, южный Урал</i></b>		
Ставропольский край	670	Кочубеевская, Кузьминская, Бондаревская, Берестовская, Кармалиновская, Медвеженская
Ростовская обл.	610	Марченковская, Сулинская, Казачья, Каменская, Гуковская, Азовская
Астраханская обл.	339	Холмская, Излучная, Манланская, Старицкая, Черноярская
Калмыкия	200	Целинская, Салынская
Адыгея	150	Адыгейская
Волгоградская обл.	88	Котовская
Крым	86	Останинская, Сакская, Тарханкутская, Пресноводненская, Донузлавская, Сакская, Восточно-Крымская

Регионы	Мощности, МВт	Станции
Ульяновская обл.	85	Ульяновские ВЭС-1 и ВЭС-2
Оренбургская обл.	3	Тамар-Уткуль
Башкортостан	2	Тюпкильды
<i>Дальний Восток</i>		
Камчатский край	4	ВЭС п. Октябрьский, ВЭС п. Усть-Камчатск
Чукотка	3	Анадырская
Якутия	1	ВЭС п. Тикси
<b>ВСЕГО ВЭС</b>	<b>2 448</b>	
<b>Солнечные электростанции</b>		
<i>Юг России, Нижнее Поволжье и Южный Урал</i>		
Оренбургская обл.	370	Сорочинская, Новосергиевская (Нептун), Орская, Чкаловская, Соль-Илецкая, Елшанская, Домбаровская, Грачёвская, Григорьевская, Плешановская, Переволоцкая, Светлинская
Астраханская обл.	210	Фунтовская, Ахтубинская, Лиманская, Нива, "Промстройматериалы", Заводская,
Крым	297	Перово, Охотниково, Николаевка, Митяево, Родниковое
Калмыкия	164	Аршанская, Яшкульская, Малодербетовская,
Ставропольский край	100	Старомарьевская
Башкортостан	79	Бурибаевская, Бугульчанская, Бурзянская, Исянгуловская, Стерлибашевская
Самарская обл.	75	Самарская
Волгоградская обл.	70	Волгоградская
Саратовская обл.	70	Дергачёвская, Орлов-Гайская, Новоузенская, Пугачёвская
Дагестан	16	Южно-Сухокумская, Каспийское
Адыгея	9	Шовгеновская
Чечня	5	Наурская
<i>Юг Сибири и Дальнего Востока</i>		
Бурятия	150	Торейская, БВС, Кабанская, Тарбагатай, Хоринская, Бичурская, Окино-Ключи, Гусиноозёрская
Республика Алтай	120	Усть-Коксинская, Ининская, Майминская, Кош-Агачская, Чемальская, Усть-Канская, Онгудайская
Омская область	60	Нововаршавская, Русско-Полянская

Регионы	Мощности, МВт	Станции
Забайкальский край	30	Балей, Орловский ГОК
Хакасия	5	Абаканская
Хабаровский край	1	СЭС на месторождении "Светлое"
Амурская область	1	СЭС на Нижне-Бурейской ГЭС
Якутия	1	Малые автономные СЭС в более, чем 10 населённых пунктах
<b>ВСЕГО СЭС</b>	<b>1 833</b>	

\*Использованы материалы ресурсов energybase.ru, hydropower.ru, rushydro.ru/, <https://novawind.ru/>, rawi.ru.

Основной ареал строительства ВЭС – юг Европейской части России (табл. 2, рис. 2), его степная и предгорная зона, ареал, ограниченный средним и нижним течением Волги с востока, нижним Доном и Азовским морем с запада и Кавказом с юга. Там сосредоточено на данный момент более 90% всех ветроэнергетических мощностей. Исключение составляют Мурманская область, где в 2023 году введена в эксплуатацию ВЭС мощностью 200 МВт, и Калининградская область, где функционирует ВЭС мощностью 5 МВт. В целом, северо-западный регион, прилегающий к Балтийскому и Баренцеву морям и обладающий благоприятным ветровым режимом [16], можно также рассматривать как имеющий ресурсные предпосылки для развития ветроэнергетики. Также отдельные ВЭС небольшой мощности работают в настоящее время на Дальнем Востоке – значительный ветроэнергетический потенциал данного региона остаётся неиспользованным.

В отличие от гидро- и ветроэнергетики, солнечная энергетика имеет в большей степени линейную территориальную конфигурацию, представляя собой в настоящее время пояс в южной части страны от Крыма до Забайкалья. Хотя на данный момент на Европейскую часть страны и Северный Кавказ приходится 80% всех установленных мощностей СЭС, существует перспектива дальнейшего роста солнечной энергетика на счёт юга Сибири и Дальнего Востока, обладающих максимальным ресурсным потенциалом [16, 17].

Отдельно следует отметить малые автономные солнечные и солнечно-дизельные станции в населённых пунктах Якутии. Общая мощность установленных солнечных модулей там составляет 1-2 МВт, и существует потенциал дальнейшего расширения сети автономных СЭС во внутриконтинентальных районах Центральной и Восточной Сибири и Дальнего Востока.

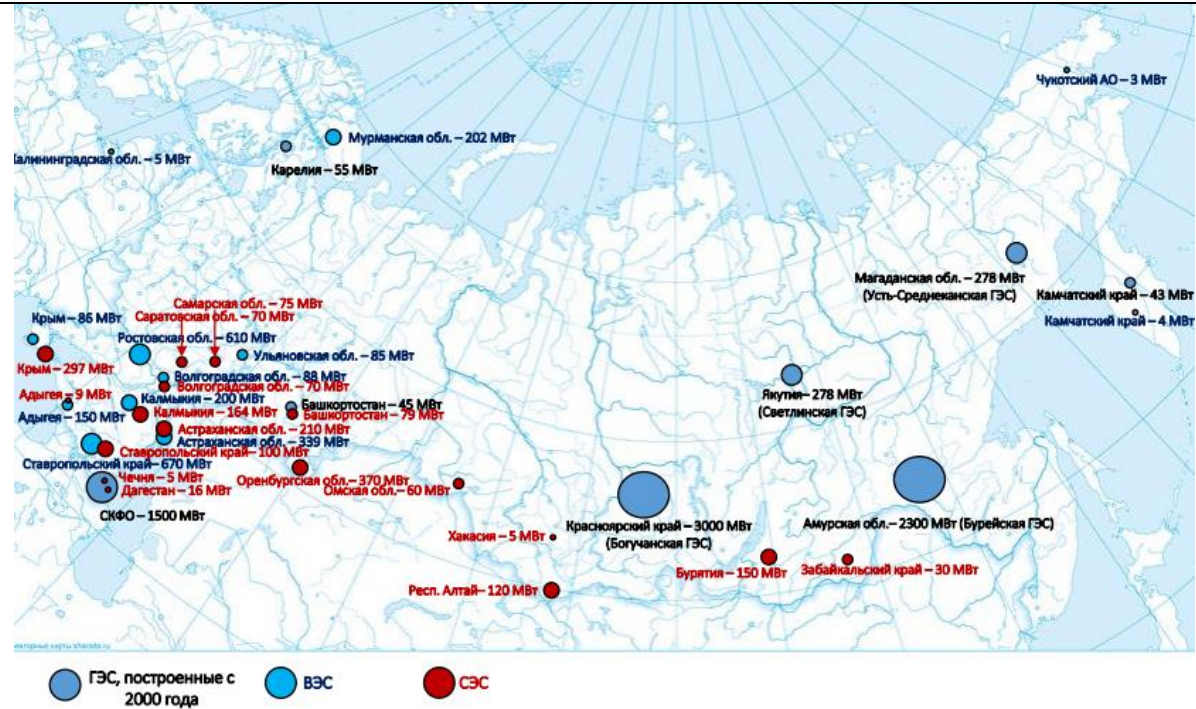


Рис.2. Установленные мощности ГЭС (введённых в эксплуатацию с 2000 г.), ВЭС и СЭС по регионам России на конец 2023 года

В целом, размещение электростанций, работающих на основе ВИЭ, привязано к территориям с высоким природно-ресурсным потенциалом соответствующего источника энергии и в целом соответствует схеме районирования территории России с точки зрения предпосылок развития возобновляемой энергетики, представленной ранее в [8]. В отличие от Западной Европы, где уровень экономического развития страны выявляется в качестве одного из стимулирующих факторов строительства солнечных и ветровых электростанций [18], в России на региональном уровне это не просматривается. Более того, Южный и Северо-Кавказский федеральные округа, на которые приходится основная часть построенных к настоящему времени СЭС и ВЭС и существенная часть ГЭС, отличаются существенно меньшими значениями душевого ВРП относительно среднего по России показателя: 305 тыс. руб. в СКФО и 588 тыс. руб. в ЮФО при 959 тыс. руб. для России в среднем (данные за 2022 год на основе [19]). Скорее, возведение генерирующих мощностей на основе ВИЭ в данных регионах можно рассматривать как один из возможных стимулов общего экономического роста.

Также следует добавить, что за пределами рассмотрения находятся уже довольно многочисленные на данный момент автономные солнечно- и ветроэнергетические установки малой мощности (как импортные, так и отечественного производства), в том числе, обеспечивающие электроэнергией отдельные домохозяйства. Их общая мощность может представлять существенную величину, но сбор информации в данном случае также затруднён.

#### 4 Выводы

В настоящее время строительство ветровых и солнечных электростанций в России находится в начальной стадии и носит преимущественно очаговый характер.

Центры нового строительства ГЭС – главным образом, Дальний Восток и Северный Кавказ; ВЭС – юг Европейской части России; СЭС – южный пояс России от Крыма до Забайкалья и Амурской области.

В наибольшей степени освоены территории юга Европейской части России, где, наряду с электростанциями, присутствуют и предприятия по производству оборудования для ветровой и солнечной энергетики и можно говорить о начальной стадии формирования производственного кластера возобновляемой энергетики с элементами вертикальной интеграции.

В то же время, потенциал солнечной, ветровой и малой гидроэнергетики остаётся неосвоенным даже на данной территории; в ряде субъектов южного региона СЭС и ВЭС на данный момент отсутствуют, хотя существуют планы их строительства. В последние несколько лет обозначилась территориальная экспансия в регионы к востоку от Урала. Актуальными задачами являются создание и развитие производственной базы в зонах строительства электростанций, более полное освоение потенциала юга Европейской части России и более активная экспансия в Сибирь и на Дальнем Востоке, обладающими максимальным потенциалом ВИЭ.

---

## Литература

1. Лукашов А.А. Перспективные геотермальные зоны на территории России // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2022. - №3. – с. 25-38.
2. Бутузов В.А. История и проблемы развития геотермальной энергетики в России // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2019. - №4. – с. 4-19.
3. План ГОЭЛРО и возобновляемые источники энергии / К. С. Дегтярев, А. М. Залиханов, А. А. Соловьев, Д. А. Соловьев // Энергетическая политика. — 2016. — № 3. — С. 55–64.
4. К.С. Дегтярев. Состояние и территориальная организация фотовольтаической солнечной энергетики в России // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2019. - №1. – с. 23-38.
5. В.А. Бутузов, П.П. Безруких, С.В. Грибков Сто лет развития ветроэнергетики в России. Часть 1. // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2021. - №3. – с. 8-24.
6. В.А. Бутузов, П.П. Безруких, С.В. Грибков Сто лет развития ветроэнергетики в России. Часть 2. // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2021. - №4. – с. 18-34.
7. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 11 августа 2014 г. № 1556 “Об утверждении Порядка определения степени локализации в отношении генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии”. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70664088/>. Дата обращения 26.03.2024.
8. Дегтярев К. С., Соловьев Д. А. Проблемы и перспективы развития возобновляемой энергетики России в новых условиях // Энергетическая политика. — 2022. — № 6. — С. 56–69.
9. Prospects of Low-Carbon Development in Russia: the Role of Renewable Energy and Challenges of Sanctions / L. Nefedova, D. Solovyev, M. Berezkin, K. Degtyarev // E3S Web of Conferences. — 2023. — Vol. 461. — P. 01049.
10. Колосовский Н.Н. Производственно-территориальное сочетание (комплекс) в советской экономической географии // Вопросы географии. – 1947. - №6. – с. 133-168.
11. Колосовский Н.Н. Теория экономического районирования. — М., Мысль, 1969. — 336 с.
12. В.А. Бутузов Российская солнечная электроэнергетика // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2020. - №2. – с. 10-25
13. В.А. Бутузов Современное состояние развития возобновляемой энергетики России. // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2022. - №1. – с. 18-31.
14. В.А.Бутузов, Д.А.Будников Научные кадры высшей квалификации по возобновляемой энергетике в 2000-2021 гг.: аспирантуры, диссертационные советы, руководители. // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2022. - №2. – с. 18-28.
15. 2023 Statistical Review of World Energy. URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review>. Дата обращения: 26.03.2024.
16. NASA Power Data Access Viewer. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Дата обращения: 26.03.2024.
17. ГИС Возобновляемые источники энергии России. URL: <https://gisre.ru/>. Дата обращения: 26.03.2024.
18. О.А. Синюгин, К.С. Дегтярев Зональные факторы развития возобновляемой энергетики на примере Западной Европы // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2023. - №1. – с. 28-43.



19. Регионы России. Социально-экономические показатели. Росстат URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>. Дата обращения: 26.03.2024.

## References

1. A.A. Lukashov. Promising Geothermal Zones in the Territory of Russia // *Journal of Energy Earth and Environmental Study*. 2022; 3; 25-38.
2. V.A. Butuzov History and development problems of geothermal power industry in Russia // *Journal of Energy Earth and Environmental Study*. 2019; 4; 4-19.
3. The plan of GOELRO and renewable energy sources. K. Degtyarev, A. Zalikhhanov, A. Solovyev, D. Solovyev // *Energy Policy*. – 2016; 3; 55-64.
4. K.S. Degtyarev. Development and location of solar photovoltaic power industry in Russia // *Journal of Energy Earth and Environmental Study*. 2019; 1; 23-28.
5. V.A. Butuzov, P.P. Bezrukikh, S.V. Gribkov The Hundred Years of Wind Industry Development in Russia. Part 1. // *Journal of Environmental Earth and Energy Study*. - 2021; 3; 8-24.
6. V. Butuzov, P. Bezrukikh, S. Gribkov The hundred years of wind industry development in Russia. Part 2// *Journal of Environmental Earth and Energy Study*. - 2021; 4; 18-34.
7. Prikaz Ministerstva promyshlennosti i trgovli RF ot 11 avgusta 2014 g. № 1556 “Ob utverzhdenii Poryadka opredeleniya stepeni lokalizatsii v otnoshenii generiruyushchego ob"ekta, funkcioniruyushchego na osnove ispol'zovaniya vozobnovlyaemyh istochnikov energii” (Order No. 1556 of the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation dated August 11, 2014 “On Approval of the Procedure for Determining the Degree of Localization in relation to a Generating facility operating on the basis of Renewable Energy Sources.”). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70664088/>. Access 26.03.2024.
8. K. Degtyarev, D. Solovyev. Problems and Outlook of Renewable Energy Development in Russia in the New Conditions // *Energy Policy*. – 2022; 6; 56-69.
9. Prospects of Low-Carbon Development in Russia: the Role of Renewable Energy and Challenges of Sanctions / L. Nefedova, D. Solovyev, M. Berezkin, K. Degtyarev // *E3S Web of Conferences*. — 2023. — Vol. 461. — P. 01049.
10. Kolosovskij N.N. Proizvodstvenno-territorial'noe sochetanie (kompleks) v sovetskoj ekonomicheskoy geografii // *Voprosy geografii*. – 1947. - №6. – s. 133-168.
11. Kolosovskij H.H. Teoriya ekonomicheskogo rajonirovaniya. — M., Mysl', 1969. —336 s.
12. V.A. Butuzov Russian Photovoltaic // *Journal of Environmental Earth and Energy Study/* - 2020; 2; 10-25.
13. V. Butuzov Modern State of Renewable Energy Development in Russia// *Journal of Environmental Earth and Energy Study*. - 2022; 1; 18-31.
14. V. Butuzov, D. Budnikov Highly qualified scientific personnel in renewable energy in 2000-2021: postgraduate studies, dissertation councils, scientific supervisors // *Journal of Environmental Earth and Energy Study*. - 2022; 2; 18-28.
15. 2023 Statistical Review of World Energy. URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review>. Access: 26.03.2024.
16. NASA Power Data Access Viewer. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Access: 26.03.2024.
17. GIS Renewable Energy Sources in Russia. URL: <https://gisre.ru/en/main/>. Access: 26.03.2024.
18. O.A. Sinyugin, K.S. Degtyarev Zonal Drivers of Renewable Energy on the Example of Western Europe // *Journal of Environmental Earth and Energy Study*. - 2023; 1; 28-43.

19. Federal State Statistics Service of Russian Federation. Main Economic and Social Indicators. URL: <https://eng.rosstat.gov.ru/folder/75924>. Access: 26.03.2024.

## Territorial Design of Renewable Power Industry in Russia

<sup>1,2</sup>Kirill Degtyarev, <sup>1,3</sup>Oleg Sinyugin,

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: <sup>3</sup>kir1111@rambler.ru, <sup>2</sup>sinyugin.oleg@yandex.ru

**Аннотация.** The article considers production complex of renewable electric power in Russia, including hydropower, wind and solar energy. The main zones and centers for renewable electricity in the country have been identified, including the production of equipment for renewable energy and the construction of power plants. The study identifies a territorial gap between the construction of power plants in areas with higher natural resource potential of renewable energy sources, and the production of equipment associated, to a greater extent, with old industrial areas.

**Keywords:** renewable energy sources, territorial design, Russia, electricity production

УДК 620.952

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-1-51-61

EDN: LTTHJR

## Потенциал пеллетной энергетики для автономного энергоснабжения удаленных объектов нефтегазового комплекса

<sup>1,2</sup> Камаев Ринат Азатович [0009-0008-4936-9171],  
<sup>1,3</sup> Бессель Валерий Владимирович [0009-0008-4936-9171]

<sup>1</sup> РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

E-mail: <sup>2</sup> rinatkamay@yandex.ru, <sup>3</sup> vbessel@nt-serv.com

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность обеспечения автономного энергоснабжения объектов нефтегазового комплекса на изолированных и труднодоступных территориях Российской Федерации с использованием древесных пеллет. Проанализированы субъекты РФ с ресурсами углеводородов, где имеется высокий потенциал пеллетной энергетики для создания системы пеллетного энергоснабжения.

**Ключевые слова:** пеллетная энергетика, объекты нефтегазового комплекса, изолированные и труднодоступные территории, энергоснабжение.

Согласно докладу Аналитического центра при Правительстве РФ по объектам генерации в изолированных и труднодоступных территориях России [1] в 23 субъектах РФ из 89 имеются изолированные и труднодоступные территории (далее – ИТТ), что составляет около 70% площади страны. По Программе развития Единой энергетической системы России на 2022-2028 год, утвержденной Минэнерго РФ от 28 февраля 2022 года №146, [2] до 2028 года не ожидается подключение к централизованной энергетической системе большинства ИТТ.

Большинство крупных месторождений углеводородного сырья находятся в ИТТ. Несмотря на существующие темпы добычи углеводородов, на территории Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока и северной части Европейской России остаются огромные ресурсы углеводородов категории D [3]. Распределение подготовленных ресурсов и перспективных и прогнозируемых ресурсов нефти, конденсата и свободного газа представлено в таблице 1.

**Таблица 1.** Распределение подготовленных ресурсов  $D_0$  и перспективных и прогнозируемых ресурсов  $D_1+D_2$  нефти (млрд т) и свободного газа (трлн  $m^3$ ) в субъектах Российской Федерации с ИТТ

Федеральный округ	Субъект с ИТТ	Ресурсы кат. $D_0$		Ресурсы кат. $D_1+D_2$		Отношение $(D_1+D_2)/D_0$	
		нефть	газ	нефть	газ	нефть	газ
Северо-Западный	Респ. Коми	0,70	0,20	0,40	0,90	0,6	4,5
	Ненецкий АО	0,70	0,006	1,00	0,60	1,4	100,0
Приволжский	Пермский край	-	0,01	-	0,50	-	50,0
Уральский	Ханты-Мансийский АО	0,90	0,0002	10,00	3,80	11,1	>100
	Ямало-Ненецкий АО	2,30	13,30	5,00	25,10	2,2	1,9
	Тюменская обл.	0,40	-	0,40	-	1,0	-
Сибирский	Красноярский край	1,50	3,00	7,20	23,50	4,8	7,8
	Иркутская обл.	0,20	2,70	1,10	5,10	5,5	1,9
	Томская обл.	0,40	0,02	0,40	0,30	1,0	15,0
Дальне-восточный	Респ. Саха (Якутия)	0,30	0,40	2,10	10,50	7,0	26,3
	Камчатский край	-	0,01	-	0,70	-	70,0
	Сахалинская обл.	0,20	0,04	0,00	0,20	0,0	5,0
	*Чукотский АО	0,01	0,01	0,10	0,30	10,0	30,0

\* Чукотский край не относится к субъектам РФ с ИТТ согласно [1], внесен в список из-за отдаленного расположения и наличия перспективных и прогнозируемых ресурсов

Перечисленные в таблице 1 территории потребуют вовлечения дополнительных источников энергии для обеспечения тепловой и электрической энергией систем поиска и разведки, добычи, подготовки, хранения, транспортировки и переработки углеводородов. Использование энергии из централизованных источников потребует больших капиталовложений, строительство в суровых условиях повлечет вложение дополнительных средств на обеспечение безопасности объектов энергоснабжения, рост тарифов на единицу энергии повлечет увеличение затрат на обслуживание [4].

Распространенные в данный момент автономные энергоустановки в основном работают на мазуте, угле и дизеле, что оказывает негативное влияние на природные экосистемы региона [5]. КПД котлов, работающих на мазуте и угле, из-за устаревания не превышает 80%, а эффективность дизель-генераторов, чаще всего используемых на объектах нефтегазового комплекса, редко может достичь 50%.

Применение неэффективных установок приводит к увеличению расходов денежных средств и природных ресурсов. Аналитический центр при Правительстве оценивает компенсацию выпадающих доходов в ИТТ на электроэнергию ~ 20 млрд руб., при этом в структуре компенсаций крупнейших регионов она составляет 30-40% от общей суммы компенсаций генерирующим компаниям [1]. Вышеприведенные факты доказывают неэффективность и капиталозатратность применения существующих технологий децентрализованного энергоснабжения.

Применение в системе энергоснабжения автономных установок, работающих на твердом биотопиве, позволит нефтегазовым компаниям снизить негативное влияние на природные экосистемы и сократить вложения на строительство и эксплуатацию энергетических систем нефтегазовых комплексов. Пеллеты – единственно экономически выгодный пример зеленой энергетики, который может существовать без дотаций даже в условиях России, где стоимость энергии для конечного потребителя является одной из самых низких в мире в настоящее время [6].

Сравнительная характеристика видов топлива приведена в таблице 2. Теплота сгорания древесных пеллет равна средней теплоте сгорания каменного угля, содержание серы и её соединений в выделяемый меньше, чем у дизельного топлива.

**Таблица 2.** Сравнительные характеристики видов топлива

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг	% серы	% золы	Углекислый газ, кг/ГДж
Каменный уголь	15-29	1-3	10-35	60
Двигательное топливо	42,5	0,2	1	78
Мазут	42	1,2	1,5	78
Древесные пеллеты	17,5	0,1	1	0

Согласно статистике от ВР [7] (Рис. 1), доля возобновляемых источников энергии в структуре производства энергии в период с 1980 по 2019 вырос на 5%, в основном, благодаря развитию солнечной и ветровой энергетики. Доля биоэнергетики в электрогенерации в 2020 году составил 9% с долей твердой биомассы в сырьевой базе 69% [8]. В теплогенерации биоэнергетик занимает лидирующие позиции с долей 96% (сырьевая база на 52% состоит из твердой биомассы). В 2020 году на было выработано:

- 2,3 ЭДж энергии на когенерационных установках;
- 3,9 ЭДж электроэнергии на электростанциях;
- 0,3 ЭДж тепловой энергии в котельных.

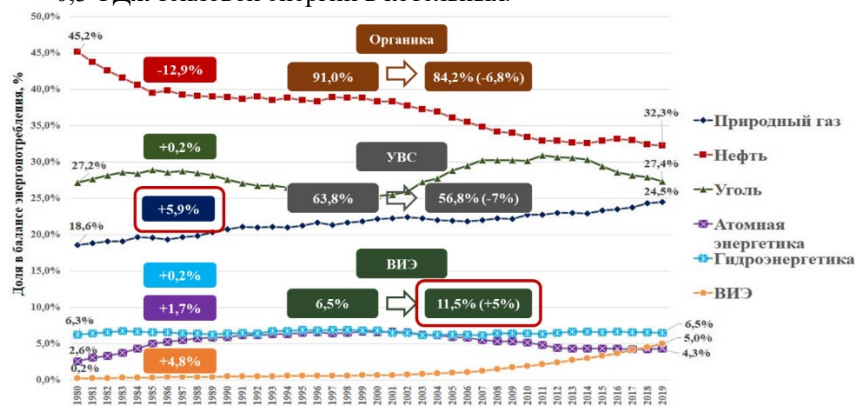
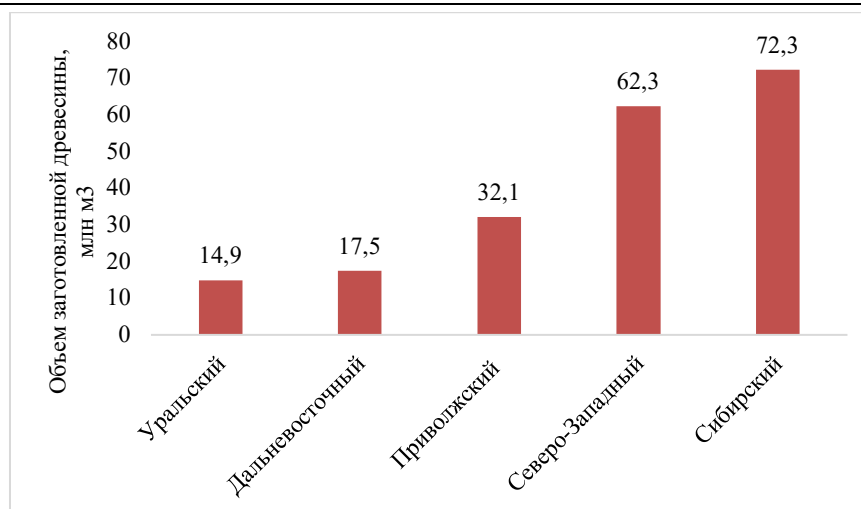


Рис. 1. Динамика структуры производства энергии, 1980-2019

Доля отходов от деревоперерабатывающей промышленности, которую можно использовать для изготовления пеллет, может достигать до 82% [9]. Согласно [10] энергетический потенциал пеллет из древесных отходов в России достигает 25,6 млн т нефтяного эквивалента, что сопоставимо с годовой добычей ПАО «Татнефть».

Расчет энергетического потенциала древесных пеллет произведен по федеральным округам России, имеющим на площади ИТТ, по методике [10]. Данные по производству древесины по ФО России за 2021 год представлены на рисунке 2 [11].



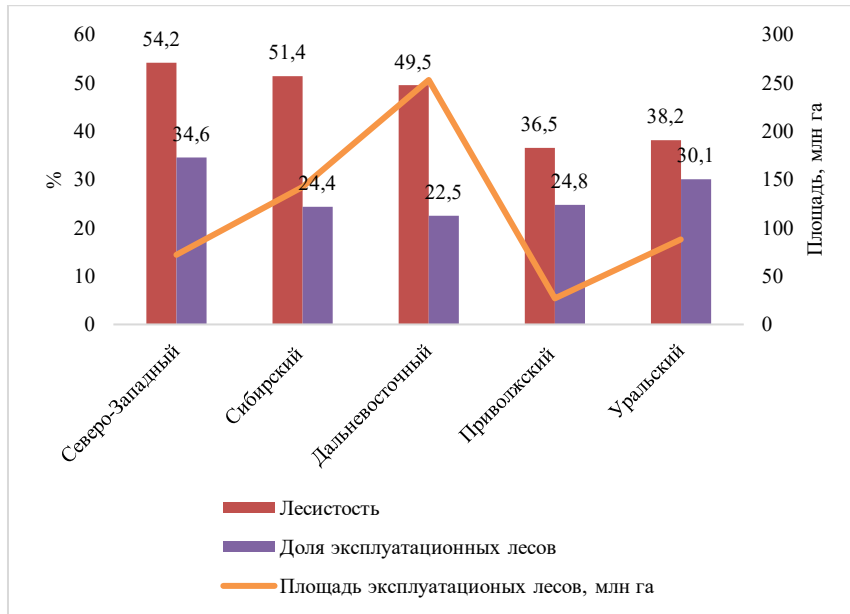
**Рис. 2.** Объем заготовки леса-кругляка по федеральным округам России с за 2021 год, млн м<sup>3</sup>

Лидирующие позиции занимают Сибирский и Северо-Западный ФО. Средний показатель ежегодного роста объема заготовки древесины в период с 2009 по 2022 года в Сибирском ФО составляет 1,6%, в Северо-Западном ФО – 1,3%. С отставанием в 0,4% растет заготовка древесины в Дальневосточном ФО. Результаты расчета потенциала pelletной энергетики по ФО с ИТТ сведены в таблицу 3.

**Таблица 3.** Оценка потенциала pelletной энергетики из отходов деревопереработки в России по данным за 2021 год

Название ФО	Кол-во отходов, млн м <sup>3</sup>		Кол-во отходов, млн т		Осушенные отходы, млн т			Потенциал, млн т н. э.
	мин	макс	мин	макс	мин	макс	сред	
Северо-Западный	28,6	51,1	26,5	47,2	17,7	31,5	24,6	12,9
Приволжский	14,8	25,3	13,7	24,4	9,1	16,2	12,7	6,7
Уральский	6,8	12,2	6,3	11,3	4,2	7,5	5,9	3,1
Сибирский	33,3	59,3	30,8	54,9	2,5	36,6	28,5	15,0
Дальневосточный	8,1	14,4	7,	13,3	5,0	8,8	6,9	3,6

Из таблицы следует, что потенциал pelletной энергетики Северо-Западного и Сибирского ФО превышают суммарный энергетический потенциал оставшихся ФО с труднодоступными территориями и в сумме составляют 60% от общего энергетического потенциала древесных pellet.

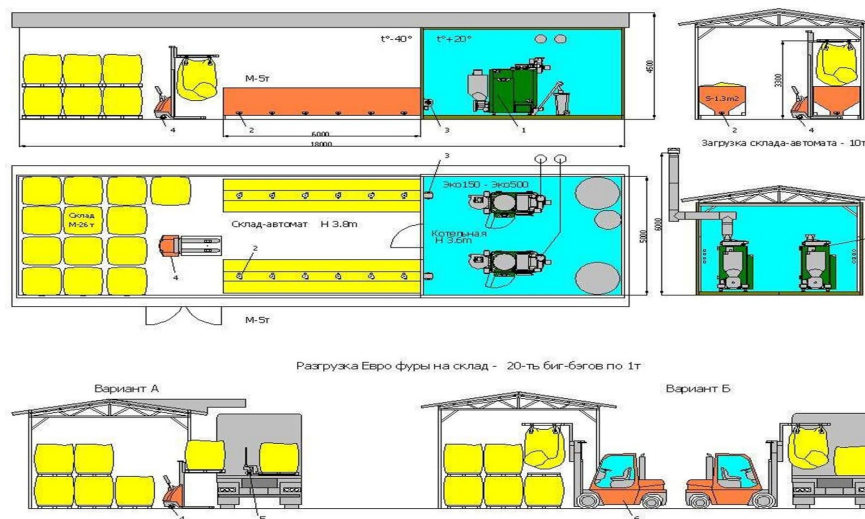


**Рис. 3.** Лесистость территории ФО с ИТТ и доля эксплуатационных лесов

Однако, стоит отметить, что расчет потенциала pelletной энергетики основывается на количестве отходов от деревоперерабатывающей промышленности, и зависит от уровня развития лесной промышленности на рассматриваемой территории. Дальневосточный ФО при использовании всего потенциала эксплуатационных земель лесного фонда может выйти в лидеры по лесной промышленности, что создаст ресурсную базу для pelletной энергетики данного региона (Рис. 3).

Техническая база для внедрения автономной системы энергоснабжения на основе древесных pellet не уступает зарубежным аналогам [10]. Pelletные котлы подходят для отопления и горячего водоснабжения вахтовых поселков и городков, административных зданий и заводоуправлений, систем подготовки технологической воды и обогрева отдельных помещений. Пример обустройства промышленной котельной представлен на рисунке 4.





**Рис. 4.** Промышленная котельная. Модульная котельная мощностью 300-1000 кВт (где 1 – котел; 2 – приемное устройство; 3 – переключатель; 4 – самоходный штабелер; 5 – рохля; 6 – вилчатый погрузчик)

Область применения пеллетных котлов ограничен тем, что их нельзя использовать для генерации электроэнергии без применения дополнительных установок. В связи с этим для выработки электроэнергии из древесных отходов в составе когенерационной установки могут применяться классические паровые турбины, мелкосерийные или единичные поршневые паровые минимашины, двигатели Стирлинга, ORC-модули.

Например, компания Steps Ahead Energiesysteme GmbH разработала электростанцию на биомассе с тепловой мощностью больше 1МВт, на котором применяется технология конденсации дымовых газов в сочетании с абсорбционными тепловыми насосами. В компании Polytechnik Luft- und Feuerungstechnik GmbH разработали установку, которая использует газогенератор и модуль ORC для разработки электроэнергии; тепловая мощность газогенератора 800 кВт, а электрическая мощность модуля ORC 120 кВт [12].

Выработка электрической и тепловой энергии на мини-ТЭЦ «Белый Ручей» производится по схеме, включающей в себя два паровых котла с кипящим слоем типа Е-25-3,9-440 («ИНЭКО-БЭМ», Москва-Белгород), предназначенных для сжигания разнообразных древесных отходов, и одну паровую турбину типа П-6-35/0,5-1 («КТЗ», Калуга). Установленная электрическая мощность станции достигает 6 МВт, тепловая мощность 26 Гкал/ч [13].

На территории Института проблем химической физики РАН был собран первый опытно-конструкторский образец газификатора небольшой мощности для отработки технологии, в котором были опробованы различные виды топлива. Затем был запущен первый опытно-промышленный образец газификатора

производительностью до 20 тыс. тонн в год в Рузском районе Московской области. Горелочное устройство имеет тепловую мощность до 9 МВт, которая зависит от калорийности топлива [14].

Когенерационная установка номинальной мощностью 200 кВт разрабатывается компанией Дизель-Систем. В состав установки входит газификатор и газопоршневый двигатель. Электрическая мощность установки 200 кВт, тепловая – 250 кВт. Общий КПД оборудования достигает 89% [15]

Применение мини-ТЭЦ на пеллетном топливе вместо традиционных автономных установок на объектах нефтегазового комплекса, нуждающихся как в электро-, так и в теплоснабжении, имеет экономические, экологические и технологические преимущества:

- улучшение экологической ситуации в регионе за счет уменьшения выбросов в атмосферу;
- уменьшение себестоимость единицы энергии, полученной на генерационных установках;
- экономия товарных углеводородов.

Включение нефтегазовыми компаниями пеллетного энергоснабжения в энергетический баланс промышленных объектов способствует реализации Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [16], и окажет влияние на развитие лесной промышленности согласно [17].

## Литература

1. Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России: Аналитический доклад // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – Москва, 2020. – 78 с.
2. Программа развития Единой энергетической системы России на 2022-2028 год, утв. Минэнерго РФ от 28 февраля 2022 года №146
3. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад // Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Роснедра. – Москва, 2021. – 572 с.
4. Бабичева Л.К., Карасевич В.А. Оценка экономической эффективности применения автономных ВИЭ-установок для энергоснабжения объектов магистральных трубопроводов // Нефтегазовая вертикаль. – 2022. - №1 – С. 94-102
5. Майсюк Е. П., Иванова И. Ю. Экологическая оценка использования разных видов топлива для производства энергии в арктических районах Дальнего Востока // Арктика: экология и экономика. – 2020. – № 1 (37). – С. 26 – 36. – DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-26-36.
6. Внутренний рынок древесных топливных гранул: антикризисные решения и новые потребители. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.infobio.ru/sites/default/files/russkiy\\_pelletnyy\\_soyuz\\_biotoplivnyy\\_kongress\\_13.09.2022.pdf](https://www.infobio.ru/sites/default/files/russkiy_pelletnyy_soyuz_biotoplivnyy_kongress_13.09.2022.pdf)
7. BP Statistical Review of World Energy. 2022. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-statsreview-2022-full-report.pdf>

8. World Bioenergy Association global bioenergy statistics, 2022 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.worldbioenergy.org/global-bioenergy-statistics/>
9. Аким Э.Л. Твердое биотопливо и низкоуглеродная экономика – в России и мире // Сборник материалов Конгресса и выставки «Биомасса: топливо и энергия». – 2023.
10. Камаев Р.А., Бессель В.В., Шаров О.М. Оценка потенциала пеллетной энергетики // Энергетическая политика. – 2023. – №1(179) – С. 82-93. – DOI 10.46920/2409-5516\_2023\_1179\_82
11. ЕМИСС Государственная статистика. Объем заготовленной древесины [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://fedstat.ru/indicator/37848> (Дата обращения: 10 октября 2023 года)
12. Передерий С. Электроэнергия из древесной биомассы – тренд европейской малой энергетики // ЛесПромИнформ. – 2023 - №2(172) – С. 92-96
13. Tadviser – Государство. Бизнес. Технологии. На "Мини-ТЭЦ Белый ручей ТГК-2" внедрена система управления шнеками подвижного дна котла [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Мини-ТЭЦ\\_Белый\\_ручей\\_ТГК-2\\_\(ПТК\\_КРУГ-2000\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Мини-ТЭЦ_Белый_ручей_ТГК-2_(ПТК_КРУГ-2000))
14. Газификаторы твердых топлив [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://maenerg.ru/gasifiers.html> (Дата обращения: 29 сентября 2023 года)
15. Дизель-систем. Газопоршневая электростанция 200кВт [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.d-system.ru/gaz/ag/4/> (Дата обращения: 29 сентября 2023 года)
16. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 N 3052-р Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fWO32e2yA0BhtIpyzWfHaiUa.pdf> (Дата обращения: 12 сентября 2023 года)
17. Распоряжение Правительства РФ от 20.09.2018 N 1989-р Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdlxID77KCTL.pdf> (Дата обращения: 12 сентября 2023 года)

## References

1. Generation facilities in isolated and hard-to-reach territories in Russia: Analytical report // Analytical Center under the Government of the Russian Federation. - Moscow, 2020. - 78 p.
2. Development program of the Unified Energy System of Russia for 2022-2028, approved by the Ministry of Energy of the Russian Federation on February 28, 2022 №146
3. On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2020: State report // Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, Rosnedra. - Moscow, 2021. - 572 p.
4. Babicheva L.K., Karasevich V.A. Assessment of the economic efficiency of using autonomous renewable energy installations for the power supply of main pipeline facilities // Oil and Gas Vertical. - 2022. - №1 – P. 94-102

5. Maysyuk E.P., Ivanova I.Yu. Environmental assessment of using different types of fuel for energy production in the Arctic regions of the Far East // Arctic: ecology and economy. - 2020. - № 1 (37). –P. 26 – 36. – DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-26-36.
6. Domestic market for wood fuel pellets: anti-crisis solutions and new consumers. [Electronic resource] – Access mode: [https://www.infobio.ru/sites/default/files/russkiy\\_pelletnyy\\_soyuz\\_bioplivnyy\\_kongress\\_13.09.2022.pdf](https://www.infobio.ru/sites/default/files/russkiy_pelletnyy_soyuz_bioplivnyy_kongress_13.09.2022.pdf)
7. BP Statistical Review of World Energy. 2022. [Electronic resource] – Access mode: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-statsreview-2022-full-report.pdf>
8. World Bioenergy Association global bioenergy statistics, 2022 [Electronic resource] – Access mode: <https://www.worldbioenergy.org/global-bioenergy-statistics/>
9. Akim E.L. Solid biofuel and low-carbon economy - in Russia and the world // Proceedings of the Congress and exhibition "Biomass: fuel and energy". - 2023.
10. Kamaev R.A., Bessel V.V., Sharov O.M. Assessment of the pellet energy potential // Energy Policy. - 2023. - №1(179) – P. 82-93. - DOI 10.46920/2409-5516\_2023\_1179\_82
11. EMIS State Statistics. Volume of harvested timber [Electronic resource] – Access mode: <https://fedstat.ru/indicator/37848> (Date of access: October 10, 2023)
12. Perederiy S. Electricity from wood biomass - a trend in European small-scale energy // LesPromInform. - 2023 - №2(172) – P. 92-96
13. Tadviser - State. Business. Technologies. At "Mini-CHP Bely Ruchey TGK-2" a system for controlling the screw feeders of the moving bottom boiler was introduced [Electronic resource] – Access mode: [https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Мини-ТЭЦ\\_Белый\\_ручей\\_ТГК-2\\_\(ПТК\\_КРУГ-2000\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Мини-ТЭЦ_Белый_ручей_ТГК-2_(ПТК_КРУГ-2000))
14. Solid fuel gasifiers [Electronic resource] – Access mode: <http://maenerg.ru/gasifiers.html> (Date of access: September 29, 2023)
15. Diesel-System. Gas engine power station 200kW [Electronic resource] – Access mode: <https://www.d-system.ru/gaz/ag/4/> (Date of access: September 29, 2023)
16. Order of the Government of the Russian Federation of October 29, 2021, No. 3052-r "Strategy for Socio-Economic Development of the Russian Federation with Low Levels of Greenhouse Gas Emissions until 2050" [Electronic resource] – Access mode: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fWO32e2yA0BhtIpyzWfHaiUa.pdf> (Date of access: September 12, 2023).
17. Order of the Government of the Russian Federation of September 20, 2018, No. 1989-r "Strategy for the Development of the Forest Complex of the Russian Federation until 2030" [Electronic resource] – Access mode: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf> (Date of access: September 12, 2023).

## The Potential of Pellet Energy for Autonomous Power Supply to Remote Oil and Gas Facilities

<sup>1,2</sup> Rinat Kamaev,

<sup>1,3</sup> Valeriy Bessel

<sup>1</sup> Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

E-mail: <sup>2</sup>rinatkamay@yandex.ru, <sup>3</sup>vbessel@nt-serv.com

**Abstract.** The article discusses the possibility of providing autonomous power supply to oil and gas complex facilities in isolated and hard-to-reach areas of the Russian Federation using wood pellets. The subjects of the Russian Federation with hydrocarbon resources, where there is a high potential of pellet energy for creating a pellet power supply system, are analyzed.

**Keywords:** pellet energy, oil and gas facility objects, isolated and hard-to-reach areas, power supply.

УДК 621.316.1

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-1-62-74

EDN: PIOCGZ

## Оценка эффективности использования солнечной энергетики на территории Хатлонской области Республики Таджикистан

Махсумов Илхом Бурхонович <sup>[0000-0001-7985-1315]</sup>

Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан, Институт энергетика Таджикистана (ИЭТ)

E-mail: messi.ilhom@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье проводится оценка эффективности использования солнечной энергетики на территории Хатлонской области Республики Таджикистан, с акцентом на солнечную энергию из-за ее значительного потенциала в регионе. Основное внимание уделяется техническим различиям между солнечными модулями с учетом их эффективности в зависимости от типа и технологии. Кроме того, рассматривается более широкий контекст возобновляемой энергетики в Таджикистане, подчеркивается выгодное положение страны с большим количеством солнечных дней (более 300 в год), благоприятных для производства солнечной энергии. Анализируется целесообразность использования солнечной энергии в отдаленных, высокогорных районах, сталкивающихся с проблемами электрической инфраструктуры, с учетом экономических и логистических преимуществ перед традиционными линиями электропередач. Исследование также рассматривает правовые рамки, позволяющие гражданам устанавливать солнечные и ветровые электростанции, подчеркивая экономические аспекты и потенциальные налоговые льготы автономных энергосистем. Несмотря на кажущиеся высокие начальные затраты и долгие сроки окупаемости солнечных установок, статья аргументирует стратегическую важность солнечной энергии в труднодоступных районах, компенсирующей зимний дефицит электроэнергии и способствующей созданию более устойчивого и самодостаточного энергетического ландшафта Таджикистана.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, эффективность солнечной системы, солнечные панели.

## 1 Введение

В наше время спрос на энергию быстро растет, и одни только невозобновляемые источники не могут удовлетворить этот спрос. Возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, приобрели важное значение из-за их изобилия и потенциала для удовлетворения спроса на энергию. Переход от невозобновляемых источников к возобновляемым необходим для борьбы с глобальными проблемами изменения климата и загрязнения. Солнечная энергия является одним из таких возобновляемых источников, который набирает популярность среди исследователей и коммунальной отрасли.

Солнечные панели используются уже некоторое время и состоят из фотоэлектрических (PV) элементов, которые преобразуют солнечную энергию в электричество. Растущее внедрение солнечной энергии объясняется ее потенциалом решения проблем, связанных с изменением климата и загрязнением. Технические достижения в области солнечных технологий привели к разработке эффективных солнечных панелей, которые могут генерировать больше электроэнергии из того же количества солнечного света.

Ожидается, что по мере того, как мир движется к устойчивому будущему, спрос на возобновляемые источники энергии будет расти. Ожидается, что коммунальное хозяйство сыграет решающую роль в этом переходе, инвестируя в возобновляемые источники энергии, особенно солнечную. Потенциал солнечной энергии огромен, и ее использование может значительно снизить выбросы углекислого газа в энергетическом секторе. Эффективное использование огромного потенциала солнечной энергии зависит от типа и технологии фотоэлектрических элементов [1].

## 2 Солнечные фотоэлектрические элементы и модули

**Фотоэлектрический элемент**, обычно называемый солнечным элементом, представляет собой электронное устройство, предназначенное для использования энергии фотонов света и преобразования ее в электрическую энергию. Этот процесс преобразования достигается за счет фотоэлектрического эффекта, при котором солнечный элемент генерирует электрический ток под воздействием света.

**Фотоэлектрический модуль**, обычно называемый солнечной панелью, представляет собой совокупность фотоэлементов, объединенных в прочный каркас. Из-за ограниченного количества энергии, которую может произвести один солнечный элемент, солнечные панели состоят из нескольких соединенных между собой солнечных элементов в последовательных цепях. Размер солнечной панели может варьироваться от одного модуля до нескольких модулей, в зависимости от степени покрытия, необходимой для использования солнечной энергии. Отраслевой стандарт солнечных электрических систем основан на фотоэлектрической технологии, которая преобразует солнечный свет в

электричество. Несколько солнечных элементов соединены между собой, образуя модуль, из которого состоит панель [2]. Рисунок 1 иллюстрирует разницу между солнечными элементами и солнечными панелями.

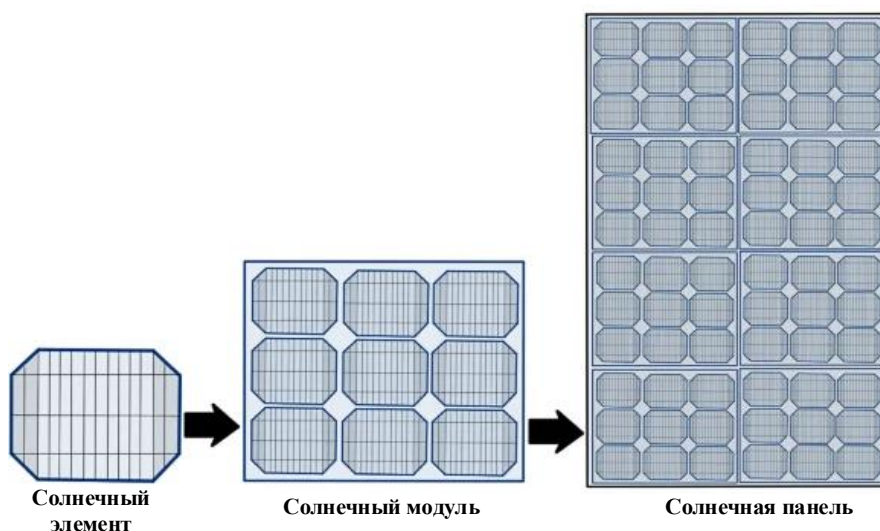


Рис. 1. Внешний вид солнечного элемента, модуля и панели

### 3 Технологии производства солнечных панелей

Существует несколько основных категорий солнечных фотоэлектрических элементов: поликристаллические, монокристаллические, тонкопленочные и пассивированные с эмиттером и тыльной частью. Ниже приведены различия между этими группами в соответствии с уровнями эффективности [2].

**Монокристаллические кремниевые панели.** Наиболее эффективным типом фотоэлектрических солнечных панелей, доступных сегодня, в настоящее время являются монокристаллические кремниевые панели. Они дороже альтернативных типов панелей, но имеют более высокий КПД преобразования солнечной энергии, поэтому в большинстве крышных установок требуется меньше панелей этого типа для удовлетворения тех же требований к мощности. Эти типы панелей квадратной формы идеально подходят для солнечных электрических систем, установленных на крыше.

**Поликристаллические кремниевые фотоэлектрические панели.** Поликристаллические кремниевые фотоэлектрические панели изготавливаются из поликристаллических кремниевых элементов, которые формируются путем плавления и литья кремния в формы. В результате этого процесса создается панель, которая более доступна по цене, чем панель из чистого кремния, а поскольку про-



изводственный процесс менее сложен, это также приводит к меньшему потреблению энергии. Ключевым преимуществом этих панелей является то, что они обеспечивают высочайшее соотношение эффективности и стоимости, предоставляя потребителям экономически эффективное решение их энергетических потребностей. Но это еще не все: давайте углубимся в преимущества и особенности, которые делают эти панели привлекательными для торговцев по всему миру. Поликристаллические кремниевые фотоэлектрические панели обладают высокой эффективностью, а это означает, что они могут преобразовывать больше солнечной энергии в полезную электроэнергию, чем другие типы солнечных панелей. Это дает потребителям большую отдачу от своих инвестиций и гарантирует, что они получат максимальную отдачу от своих систем солнечных батарей [3]. Панели из поликристаллического кремния также более устойчивы к нагреву.

**Интегрированные фотоэлектрические панели.** Интегрированные в здание фотоэлектрические системы (Building-integrated photovoltaics BIPV) – это продукты или системы, вырабатывающие солнечную энергию, которые легко интегрируются в ограждающие конструкции здания и являются частью его компонентов, таких как фасады, крыши или окна. Система BIPV выполняет двойное назначение и является неотъемлемым компонентом оболочки здания, который одновременно преобразует солнечную энергию в электричество и обеспечивает такие функции ограждающих конструкций здания, как: защита от атмосферных воздействий (водоизоляция, защита от солнца), теплоизоляция, защита от шума, дневное освещение [4]. В модулях BIPV, доступных в настоящее время на рынке, используются либо солнечные элементы на основе кристаллического кремния (с-Si), либо тонкопленочные технологии, такие как аморфный кремний (a-Si), теллурид кадмия (CdTe) и селенид меди, индия, галлия (CIGS). Полупрозрачность, например, для мансардных окон или навесных стен, может быть достигнута с помощью большинства технологий либо за счет размещения непрозрачных солнечных элементов с Si, либо за счет прозрачности тонкопленочного слоя. Однако эффективность модуля снижается с увеличением прозрачности, поскольку фотоэлектрический слой улавливает и преобразует в электричество меньше солнечного света [4].

**Тонкопленочные солнечные элементы.** Тонкопленочные элементы состоят из одного или нескольких слоев тонких пленок поликристаллических фотоэлектрических элементов, которые могут размещаться на существующий материал, такой, как металлическая кровля или стеклянные окна. Эти фотоэлектрические пленки очень тонкие, что делает их легче и гибче по сравнению с другими фотоэлектрическими системами. Хотя тонкопленочная технология чрезвычайно универсальна, она имеет свою цену. Тонкопленочные системы менее эффективны и могут снижать КПД быстрее, чем обычные солнечные системы, но их эффективность улучшается с развитием технологий. На рис. 2 представлена основные типы и технологии солнечных установок.

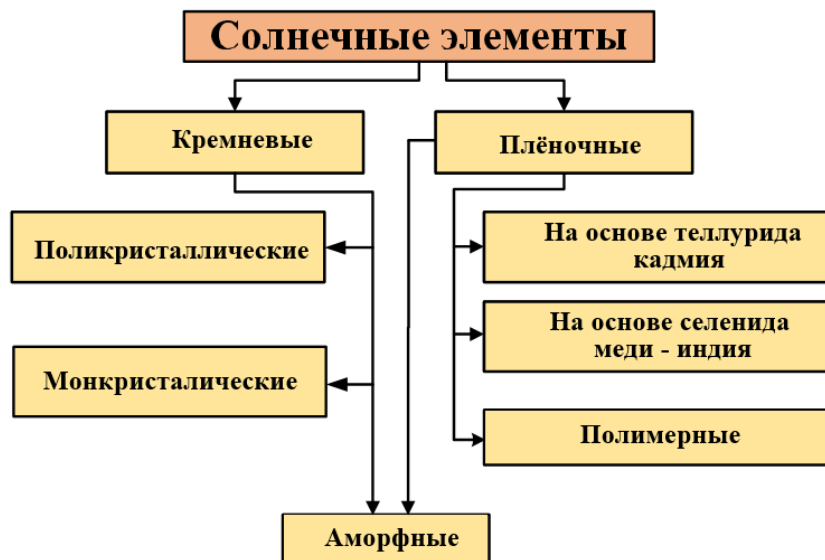


Рис. 2. Типы солнечных установок

В отличие от гидроэнергетики, солнечная и ветровая энергия не ограничены суровыми временами года или ландшафтом Таджикистана. Потенциал страны как в области солнечной, так и ветряной энергии высок. По данным САВАР.asia, Агентство гидрометеорологии Таджикистана заявляет, что, учитывая географическое положение Таджикистана, он находится в «золотом поясе» солнечного света. До 3166 часов солнечного света и 300 ясных солнечных дней делают страну идеальной для использования солнечной энергии. Кроме того, использование солнечных панелей устраняет проблемы, вызванные плохой инфраструктурой или ландшафтом, препятствующим строительству ЛЭП. Министерство энергетики Таджикистана подсчитало, что солнечная энергия потенциально может производить 3,1 миллиарда кВт·ч электроэнергии в год. По данным САВАР.asia, этого более чем достаточно, чтобы компенсировать зимнюю нехватку электроэнергии [5].

Приведенные выше данные о потенциале ВИЭ, в частности, относятся к территории Хатлонской области, на этой территории проживает большая часть населения страны. Важность поиска альтернативы актуальна сейчас, поскольку, по данным Минэнерго, доступа к электроэнергии не имеют 10% населения Таджикистана, а это уже почти миллион человек. Они живут в высокогорье, где гористая местность и суровые погодные условия делают прокладку линий электропередачи трудной, дорогой и ненадежной. Именно поэтому наличие солнечных батарей или ветряных турбин позволило бы решить вопрос электрификации отдаленных районов страны [6, 7]. Исходя из этого в данной работе проведена оценка

эффективного применения солнечной энергии расчетным путем в Хатлонской области, где расположены труднодоступные высокогорные населённые пункты.

Закон Таджикистана «Об использовании возобновляемых источников энергии» разрешает населению устанавливать электростанции солнечной и ветровой энергии максимальной мощностью 3000 кВт. Его можно разместить на крыше собственного дома или на собственном участке.

Как сообщили в Министерстве энергетики и водных ресурсов Таджикистана, чтобы установить солнечную, ветряную электростанцию для удовлетворения собственных нужд, никаких разрешений получать не надо. Кроме того, производство этими станциями электроэнергии не облагается налогом. Единственный налог, который обязан будет платить владелец станции – НДС, и только в том случае, если будет продавать электроэнергию другим абонентам или электрическим сетям.

Граждане Таджикистана, имеющие частные станции, могут продавать излишек электроэнергии, выработанной ветряной или солнечной электростанцией.

Для этого необходимо выполнить технические требования покупателя, в данном случае это ОАО «Шабакаҳои тақсимоти барқ». В частности, необходимо подключиться к общей сети, согласовать тариф, график работы и обеспечивать (передавать) определенный объем электроэнергии. Но так как у станций, как правило, маленькие мощности, на продажу излишка электроэнергии нет.

При нынешних тарифах установка солнечной электростанции более выгодна коммерческим потребителям – предприятиям, магазинам, офисам. К примеру, прямая окупаемость солнечной электростанции мощностью 1 кВт при установке в частных домах, с учётом расходов на обслуживание, составляет 25-28 лет.

При установке на промышленных предприятиях, в магазинах или офисах срок окупаемости составляет 9-10 лет.

Срок службы солнечных панелей составляет 25-30 лет. Необходимо также учесть, что тарифы на электроэнергию с каждым годом повышаются, а цены на солнечные панели падают. С 1 октября 2022 года тарифы на электроэнергию для населения установлены в размере 26,51 дирамов (2,35 руб.) за 1 кВт·ч. Такой же тариф действует для бюджетных организаций, коммунальной отрасли и спорт-комплексов. Тариф на электроэнергию для промышленных и не промышленных потребителей составляет 60,65 дирама (5,8 руб.) за 1 кВт·ч.

Для общеобразовательных учреждений, частных гимназий и лицеев, входящих в единую систему образования Республики Таджикистан и не находящихся на бюджетном финансировании, 45,51 дирама (4,04 руб.) за 1 кВт·ч [8].

#### **4 Экономический расчет солнечной системы**

Расчет экономики солнечной системы является ключом к пониманию того, подходят ли инвестиции в солнечную энергию для частного дома или бизнеса. В нашем случае производится экономический расчет солнечной системы для обеспечения электроэнергией центра тестирования Института энергетики Таджикистана мощностью 5 кВт. Солнечная система состоит из 24 монокристаллических

солнечных панелей, производительная мощность каждой из которых составляет 200 Вт. Чтобы оценить возможность эффективного использования солнечных панелей, рассчитаем экономическую эффективность их использования. Порядок выполнения расчета:

- 1) Расчет стоимости покупки и установки солнечных панелей;
- 2) Расчет экономической выгоды от использования солнечных батарей;
- 3) Расчет стоимости замены пополняющих частей;
- 4) Расчет результата от применения солнечных батарей.

В качестве примера расчета выберем действующую солнечную систему Института энергетики Таджикистана, мощностью 4,8 кВт от китайского производителя Powerwell Solar. Основное оборудование, используемое в солнечной системе, приведено в таблице 1.

**Таблица 1.** Основное оборудование

№	Наименование элементов системы	Модель и фирма изготовителя	Количество шт.
1	Монокристаллический солнечный панелей	BW-SM200-210M72 Powerwell Solar	24
2	Аккумулятор	Shoto 6-GFM-100, Shuangdeng Group	5
3	Инвертор с контролером заряд и разряда	MUST PV18-5048 VPK	1

**Характеристика солнечной системы.** Номинальная генерируемая мощность системы – 4,8 кВт, количество запаса энергии – 9 кВт·ч, максимальная потребляемая мощность – 4,5 кВт, номинальное напряжение системы 220 В, средняя производительность электроэнергии в месяц 900 кВт·ч.

Данная система может надёжно обеспечить потребности в электричестве частных жилых домов, в нашем случае компьютерного класса центра тестирования Института энергетики Таджикистана, учитывая благоприятные климатические условия Хатлонской области Таджикистана.

В зависимости от солнечной активности, в месяц данная система в среднем может генерировать от 700 до 1100 кВт·ч, что достаточно для электроприборов и настольных компьютеров в нормальном режиме. Таким образом, при отключении электроэнергии от централизованных энергосетей в зимний период, автономная система полностью может обеспечить электроэнергией частных домов и других маленьких объектов как компьютерного класса. На рис. 3 приложена внешний вид автономной солнечной системы Института энергетики Таджикистана.

Автономная солнечная система была построена в 2019 году для обеспечения электроэнергией компьютерного класса института в зимний период, когда на этот период действует лимит на электроэнергию. Местность, где построена солнечная система, расположена на высоте 419 метров над уровнем моря, с широтой 37,872 и долготой 68,724. Солнечные панели установлены под углом наклона 45 градусов к стороне юго-запад на 12 градусов. В первые годы данная система выработала до 1100 кВт·ч электроэнергии в месяц. Следует отметить, что система

работает уже 5 лет и эксплуатируется в основном с ноября по март в период ограниченной подачи электроэнергии. Из-за длительной работы в условиях высоких температур, характерных для Хатлонской области, эффективность солнечной системы снизилась и в настоящее время система может вырабатывать в среднем до 950 кВт·ч электроэнергии в месяц.



**Рис. 3.** Автономная солнечная система ИЭТ

Все расчеты производятся в российских рублях и конвертируются в таджикскую валюту сомони.

Стоимость элементов солнечной установки:

- солнечные панели 200 Вт, 24 шт. x 2486 руб. = 59 664 руб. = 6725 сомони [9, 10].

- аккумуляторы 100 Ач, 5 шт. x 37493 руб. = 187 465 руб. = 22204 сомони [11].

- солнечный инвертор (5 кВт) – 54356 руб. = 6126 сомони [12].

**Расчет затрат на покупку и установку.** Цена комплекта:

$59664 + 187465 + 54356 = 301\,485$  руб. = 35709 сом.

Стоимость установки и монтаж комплекта солнечной панели в среднем составляет 25% от общей стоимости, т.е.

$301\,485 \times 0,25 \% = 75\,371$  руб. = 8927 сомони.

Т.е. общая сумма инвестиционных затрат составит

$301\,485 + 75\,371 = 376\,856$  руб. или около 44 636 сомони

**Расчет экономической выгоды от использования солнечных панелей.** Если принимаем, что автономная система вырабатывает 900 кВт·ч в месяц, тогда годовая производительность будет следующим.

$$E_{год} = E_{месяц} \times 12 = 900 \times 12 = 10800 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

То есть, при тарифе 45,51 дирам (4 руб. 04 коп.) за 1 кВт·ч электроэнергии за год (2023 г.) для города Бохтара экономия от использования составляет:

$$10800 \times 4,04 = 43632 \text{ руб.} = 5168 \text{ сомони}$$

Чтобы оценить финансовую выгоду от установки комплекта солнечных панелей, возьмем расчетный период в 25 лет. Это 100% гарантированный срок службы батареи, заявленный компаниями-производителями. Рассчитаем изменения тарифов и, следовательно, годовую экономию за расчетный период. Расчет будет произведен с учетом ежегодного повышения тарифа на электроэнергию, принятого в размере 8%.

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{выг.}} \sum_{n=1}^{25} \mathcal{E}_{\text{выг.-1год}} \times (1+0,08)^n &= 5168 \times 1,08 + 5168 \times 1,08^2 + 5168 \times 1,08^3 + 5168 \times 1,08^4 \dots \\ 5168 \times 1,08^{25} &= 415030 \text{ сомони} = 3504058 \text{ рублей} \end{aligned} \quad (1)$$

здесь  $\mathcal{E}_{\text{выг.}}$  – экономическая выгода от использования в течение расчетного периода, уменьшенная до текущей стоимости;  $\mathcal{E}_{\text{выг.-1год}}$  – экономические выгоды в первый год эксплуатации;  $n$  – расчетный период;  $i$  – средний рост тарифов на электроэнергию по Хатлонской области за год.

Соответственно, солнечная система за 25 лет с учетом ежегодного повышения тарифа на электроэнергию, принесёт 3504058 руб. = 415030 сомони выгода.

**Расчет затрат на замену комплектующих деталей.** Компания производителя (Shuangdeng Group), заявляет, что срок эксплуатации аккумуляторов составляет 10 лет, а инвертор которое сочетает в себе функции: контроллера заряда АКБ от солнечных батарей по технологии ШИМ (PWM) и зарядного устройства АКБ от сети 220 В 15-20 лет. Принимаем, что замена аккумуляторов производится на 7 и 13-м годах, а замена самого автономного контроллера через 16 лет. Принимаем уровень инфляции равным 9%. Таким образом, затраты на замену непригодных частей составят:

$$\begin{aligned} Z &= Z_{\text{акм.}} \times (1+i)^9 + Z_{\text{акм.}} \times (1+i)^{13} + Z_{\text{авт.инв.}} \times (1+i)^{16} = 187465 \times (1+0,09)^9 \\ &+ 187465 \times (1+0,09)^{13} + 54356 \times (1+0,09)^{16} = 407154 + 574731 + \\ &215810 = 1197695 \text{ руб.} = 141859 \text{ сомони} \end{aligned} \quad (2)$$

$Z$  – общие стоимость на замену непригодных частей;  $Z_{\text{акм.}}$  – стоимость замены аккумуляторов;  $Z_{\text{инт}}$  – затрат на замену инвертора;  $i$  – уровень инфляции.

**Расчет результата от использования солнечных панелей.**

$$\begin{aligned} R &= \mathcal{E}_{\text{выг.}} - Z_{\text{пр}} - Z = 3504058 - 301485 - 1197695 = \\ &= 2004878 \text{ руб.} = 237464 \text{ сомони} \end{aligned} \quad (3)$$

где  $R$  – расчетный результат от использования солнечной системы;  $\mathcal{E}_{\text{выг.}}$  – экономическая выгода от использования солнечной системы за расчетный период, с учетом ежегодного повышения тарифа на электроэнергию;  $Z_{\text{пр}}$  – затрат на покупку необходимых частей установки;  $Z$  – общие затраты на замену непригодных частей.

Результаты теоретических расчетов показывают, что автономная солнечная система мощностью 4,8 кВт приносит экономическую выгоду в течение 25-летнего срока ее эксплуатации, обеспечивая тем самым электроэнергией определенных потребителей в зимний период, когда вводится ограничение на электроэнергию. Следует отметить, что все данные о ценах на комплектующие солнечной системы взяты из Интернета и могут быть не совсем точными по сравнению с реальными ценами от официальных производителей. Даже с учетом максимальных характеристик и низких цен на оборудование солнечной системы, которые мы использовали в расчетах, полученные выгоды покрывают лишь затраты на приобретение и эксплуатацию такой системы.

## 5 Выводы

Результаты расчетов показали, что установка автономной солнечной системы мощностью 4,8 кВт для электроснабжения компьютерного класса Института энергетики Таджикистана актуальна и экономически целесообразна с учетом действующего тарифа на электроэнергию и ввода ограничений на электроэнергию в осенне-зимний период.

В статье целью расчета автономной солнечной системы является оценка экономической и финансовой выгоды автономной системы при ее установке в образовательных государственных учреждениях, а также в отдаленных горных районах Хатлонской области, где проживающее там население не имеет доступ к электроэнергии из энергосистемы страны.

Расчеты показывают, что общие инвестиционные затраты на установку составляют 376 856 рублей или около 44 636 сомони. Годовая выработка автономной системы составляет в среднем 10 800 кВт·ч, что при тарифе 4,04 рубля за 1 кВт·ч в год экономия от использования системы составляет 43 632 рубля или 5 168 сомони. Используя годовую выработку электроэнергии системой, в работе оценена финансовая выгода от установки комплекта солнечных панелей за расчетный период в 25 лет с учетом ежегодного повышения тарифа на электроэнергию, принятого в размере 8%, что составила 3 504 058 рублей или 415 030 сомони.

Итоговая выгода от использования автономной солнечной системы по результатам расчета составила 2 004 878 рублей или около 237 464 сомони.

Обобщая все полученные расчетные данные, можно сделать вывод, что автономная солнечная система экономически выгодна и ее проектирование, и строительство необходимо не только в образовательных и других государственных учреждениях, но и в отдаленных горных районах, не имеющих подключения к централизованному электроснабжению.

## Литература

1. How Is Solar Panel Efficiency Measured? [Электронный ресурс]. URL: <https://eepower.com/technical-articles/how-is-solar-panel-efficiency-measured/#> (дата обращения 06.10.2023).
2. IS SOLAR POWER WORTH THE INVESTMENT? [Электронный ресурс]. URL: <http://solarbyempire.com/why-solar/solar-panel-efficiency#:~:text=Today%20most%20solar%20panels%20provide,being%20converted%20into%20useable%20electricity.> (дата обращения 06.10.2023).
3. Polycrystalline Silicon PV Panel. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oritron-solar.com/photovoltaic-panels/polycrystalline-silicon-photovoltaic-panels/polycrystalline-silicon-pv-panel.html> (дата обращения 05.04.2023).
4. Building-integrated Photovoltaics. [Электронный ресурс]. URL: <https://natural-resources.canada.ca/energy-efficiency/data-research-insights-energy-efficiency/buildings-innovation/solar-photovoltaic-energy-buildings/building-integrated-photovoltaics/21280> (дата обращения 05.04.2023).
5. RENEWABLE ENERGY IN TAJIKISTAN: [Электронный ресурс]. URL: <https://borgenproject.org/renewable-energy-in-tajikistan/#:~:text=Tajikistan's%20Ministry%20of%20Energy%20calculates,hydroelectric%20output%20shadowed%20its%20production.> (дата обращения 06.10.2023).
6. Курякова Н.Б. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Оценка эффективности применения альтернативных источников энергии. На территории пермского края / Н.Б. Курякова, А.Н. Панькова, А.С. Пупова // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. № 3. С. 69-76.
7. Burakova, A. D., L. N. Burakova, I A. Anisimov, and O D Burakova. "Evaluation of the Operation Efficiency of Solar Panels in winter." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 72 (June 2017): 012022. doi:10.1088/1755-1315/72/1/012022.
8. Как установить дома солнечную электростанцию. Выгодно ли это: [Электронный ресурс]. URL: <https://your.tj/kak-ustanovit-doma-solnechnuju-jelektrostanciju-vygodno-li-jeto/> (дата обращения 09.10.2023).
9. ENF Solar – Solar Companies and Products [Электронный ресурс]. URL: <https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/16831> (дата обращения 16.10.2023)
10. EnergyPal. Powerwell Solar Energy BW-SM200M [Электронный ресурс]. URL: <https://energypal.com/best-solar-panels-for-homes/powerwell-solar-energy/bw-sm200m> (дата обращения 16.10.2023).
11. Интернет-магазин ELECTRO-SHOP.RU: Аккумуляторная батарея Shoto 6-GFM-100 [Электронный ресурс]. URL: [https://electro-shop.ru/akkumulyatornoe\\_oborudovanie/statsionarnye\\_akkumulyatory/shoto-6-gfm-100/](https://electro-shop.ru/akkumulyatornoe_oborudovanie/statsionarnye_akkumulyatory/shoto-6-gfm-100/) (дата обращения 16.10.2023).
12. Яндекс Маркет: Автономный солнечный инвертор MUST PV18-5048 VPK [Электронный ресурс]. URL: <https://market.yandex.ru/product--avtonomnyi-solnechnyi-invertor-must-pv18-5048-vpk/1663268325?clid=703&sku=101598274621&сра=1&uniqueId=892324> (дата обращения 16.10.2023).



---

## References

1. How Is Solar Panel Efficiency Measured? [Electronic resource]. URL: <https://eepower.com/technical-articles/how-is-solar-panel-efficiency-measured/#> (accessed on 06.10.2023).
2. IS SOLAR POWER WORTH THE INVESTMENT? [Electronic resource]. URL: <http://solarbyempire.com/why-solar/solar-panel-efficiency#:~:text=Today%2C%20most%20solar%20panels%20provide,being%20converted%20into%20useable%20electricity.> (accessed on 06.10.2023).
3. Polycrystalline Silicon PV Panel. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oritron-solar.com/photovoltaic-panels/polycrystalline-silicon-photovoltaic-panels/polycrystalline-silicon-pv-panel.html> (дата обращения 05.04.2023).
4. Building-integrated Photovoltaics. [Electronic resource]. URL: <https://natural-resources.canada.ca/energy-efficiency/data-research-insights-energy-efficiency/buildings-innovation/solar-photovoltaic-energy-buildings/building-integrated-photovoltaics/21280> (accessed on 06.10.2023).
5. RENEWABLE ENERGY IN TAJIKISTAN: [Electronic resource]. URL: <https://borgenproject.org/renewable-energy-in-tajikistan/#:~:text=Tajikistan's%20Ministry%20of%20Energy%20calculates,hydroelectric%20output%20shadowed%20its%20production.> (accessed on 06.10.2023).
6. Kuryakova, N.B., Perm National Research Polytechnic University. Assessment of the Efficiency of Using Alternative Energy Sources. In the Perm Region / N.B. Kuryakova, A.N. Pankova, A.S. Pupova // PNIPU Bulletin. Applied Ecology. Urban Studies. 2014. No. 3. Pp. 69-76.
7. Burakova, A. D., L. N. Burakova, I A. Anisimov, and O D Burakova. "Evaluation of the Operation Efficiency of Solar Panels in Winter." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 72 (June 2017): 012022. doi:10.1088/1755-1315/72/1/012022.
8. How to Install a Home Solar Power Station. Is It Worth It: [Electronic resource]. URL: <https://your.tj/kak-ustanovit-doma-solnechnuju-jelektrostanciju-vygodno-li-jeto/> (accessed on 09.10.2023).
9. ENF Solar – Solar Companies and Products [Electronic resource]. URL: <https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/16831> (accessed on 16.10.2023)
10. EnergyPal. Powerwell Solar Energy BW-SM200M [Electronic resource]. URL: <https://energypal.com/best-solar-panels-for-homes/powerwell-solar-energy/bw-sm200m> (accessed on 16.10.2023).
11. ELECTRO-SHOP.RU Online Store: Shoto 6-GFM-100 Battery [Electronic resource]. URL: [https://electro-shop.ru/akkumulyatornoe\\_oborudovanie/statsionarnye\\_akkumulyatory/shoto-6-gfm-100/](https://electro-shop.ru/akkumulyatornoe_oborudovanie/statsionarnye_akkumulyatory/shoto-6-gfm-100/) (accessed on 16.10.2023).
12. Yandex Market: MUST PV18-5048 VPK Autonomous Solar Inverter [Electronic resource]. URL: <https://market.yandex.ru/product--avtonomnyi-solnechnyi-invertor-must-pv18-5048-vpk/1663268325?clid=703&sku=101598274621&cpa=1&uniqueId=892324> (accessed on 16.10.2023).

## Assessment of the Effectiveness of Using Solar Energy in Khatlon Region of the Republic of Tajikistan

Ilkhom Makhsumov

Ministry of Energy and Water Resources of the Republic of Tajikistan, Institute of Energy of Tajikistan (IET)

E-mail: messi.ilhom@gmail.com

**Abstract.** This article assesses the effectiveness of the use of solar energy in the territory of the Khatlon region of the Republic of Tajikistan, with an emphasis on solar energy due to its significant potential in the region. The focus is on the technical differences between solar modules based on their performance depending on the type and technology. In addition, the broader context of renewable energy in Tajikistan is examined, emphasizing the advantageous position of the country with a large number of sunny days (more than 300 per year) conducive to the production of solar energy. The feasibility of using solar energy in remote, mountainous areas facing electrical infrastructure problems is analysed, taking into account economic and logistical advantages over traditional power lines. The study also examines the legal framework that allows citizens to install solar and wind power plants, highlighting the economic aspects and potential tax incentives of autonomous energy systems. Despite the seemingly high start-up costs and long payback periods of solar installations, the article argues the strategic importance of solar energy in hard-to-reach areas, compensating the winter shortage of electricity and contributing to the creation of a more sustainable and self-sufficient energy landscape in Tajikistan.

**Keywords:** solar energy, solar system efficiency, solar panels.

УДК 551.8.02; 551.89

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-1-75-99

EDN: PNVYPF

## Экстремумы прецессионного цикла и глобальные климатические события в голоцене

<sup>1,3</sup>Федоров Валерий Михайлович<sup>[0000-0002-5140-5142]</sup>,  
<sup>2,4</sup>Агафонова Елизавета Андреевна<sup>[0000-0001-5451-9586]</sup>,  
<sup>1,5</sup>Фролов Денис Максимович<sup>[0000-0002-0307-8175]</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, 119991, Россия

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия

E-mail: <sup>3</sup>fedorov.msu@mail.ru, <sup>4</sup>agafonovaelizaveta@mail.ru,  
<sup>5</sup>denisfrolov@mail.ru

**Аннотация.** Найдена синхронность между экстремальными значениями летней инсоляции Северного полушария и двумя глобальными климатическими событиями в голоцене. С максимумом летнего облучения синхронизируется переход от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе. С минимумом летнего облучения Северного полушария синхронизируется Малый ледниковый период. Для голоцена определена ведущая роль климатической прецессии в изменениях глобального климата Земли. Выполнена оценка вариаций продолжительности цикла климатической прецессии.

**Ключевые слова:** инсоляция, солнечная активность, глобальные палеогеографические события, голоцен, Малый ледниковый период, соляная геохронология.

### 1 Введение

Проблема глобальных изменений природной среды и климата, как характеристики ее состояния, представляется актуальной для современной науки и практики [1], поскольку она связана с необходимостью прогнозирования последствий таких изменений. Наиболее важным в проблеме исследования и прогнозирования изменений природной системы является вопрос о причинах их вызывающих [2].

Изменения природной среды в будущем и знания о них определяются динамикой ее состояния в прошлом и нашей информацией о причинах ее изменений.

Солнечная радиация является основным источником энергии, определяющим радиационный и тепловой баланс Земли, характер и интенсивность гидрометеорологических, почвенно—биологических и многих других процессов. Исследование радиационных характеристик Земли в голоцене представляется важным для определения роли радиационного фактора в глобальных климатических событиях недавнего геологического прошлого и, возможно, будущего.

Из достоверно известных глобальных климатических событий в голоцене, нами рассматривается переход от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе и Малый ледниковый период. Актуальность исследований подтверждается большим количеством научных публикаций, посвященных климату голоцена и оценке радиационного форсинга, связанного с изменением активности Солнца, наклона оси вращения и орбитального движения Земли. Однако, несмотря на значительную информацию по палеогеографии и палеоклиматологии, отсутствует однозначное объяснение причин глобальных климатических событий в голоцене. Количественная оценка влияния летней инсоляции на состояние природной среды может внести существенный вклад в решение проблемы о причинах глобальных климатических изменений в истории Земли.

Состояние и изменение природной среды определяется рядом факторов. Кроме вариаций приходящей солнечной радиации и парникового эффекта планеты, это вулканизм и механизмы переноса радиационного тепла (меридиональный перенос, перенос в системе океан — материк, межполушарный перенос и др.) [3, 4]. Вариации приходящей к Земле лучистой энергии в основном определяются двумя причинами, имеющими различную физическую природу. Одной из них является изменение активности в излучении Солнца. Другой причиной, определяющей изменение приходящей к Земле солнечной радиации, являются небесно—механические процессы, вызывающие колебания элементов земной орбиты и наклона оси вращения. Эти колебания определяют изменения облучения Земли по широтам и сезонам [5—10]. Вариации разной физической природы в общем потоке солнечной радиации проявляются одновременно, в связи с этим в работе для Малого ледникового периода анализируются изменения облучения Земли, связанные совместно как с изменением активности Солнца, так и с особенностями ее орбитального движения.

В конце XIX века Аррениусом высказано предположение о том, что глобальные изменения климата связаны с изменением содержания двуокиси углерода в атмосфере [11]. В настоящее время широко распространено мнение о том, что основной причиной наблюдаемого глобального изменения климата (характеристика состояния природной среды) является парниковый эффект, связанный, главным образом, с эмиссией парниковых газов, определяемой антропогенной деятельностью [1, 12]. Однако не подвергается сомнению и то, что солнечная радиация имеет важнейшее значение в динамике природных процессов и изменении климата.

Более двух тысяч лет назад Гиппарх открыл, связанное с прецессией оси вращения Земли, астрономическое явление предварения равноденствий. Нами исследуется климатическая прецессия, которая является результатом двух движений: движения точки весеннего равноденствия по орбите вследствие прецессии

оси вращения Земли (с периодом, в среднем, около 26 тыс. лет) и движения долготы перигелия земной орбиты (навстречу движению точки весеннего равноденствия с периодом, в среднем, около 22 тыс. лет). Период климатической прецессии в среднем составляет около 21 тыс. лет. Этот период соответствует повторяемости однотипных сочетаний в положении линии апсид (афелий — перигелий) и линии равноденствий (или солнцестояний).

Целью работы является определение роли летней инсоляции Северного полушария Земли в глобальных климатических событиях голоцена и установление причин перехода от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе и Малому ледниковому периоду. Изучение причин глобальных палеоклиматических изменений является необходимым этапом к построению более реалистичной и достоверной реконструкции климата голоцена и возможности проецирования полученных закономерностей на прогнозирование динамики климата в будущем.

## 2 Расчёты инсоляции

Под солярным климатом Земли понимаются рассчитываемые теоретически поступление и распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы (ВГА) или на поверхности Земли без учета атмосферы или при ее полной прозрачности [5]. При этом изменения активности Солнца не учитываются. При изучении вековых (низкочастотных) вариаций солнечной радиации учитываются подверженные вековым возмущениям элементы земной орбиты долготы перигелия и эксцентриситет, а также наклон оси вращения Земли, имеющие весьма значительные по продолжительности периоды вариаций [5—7, 13—15]. Известны работы в которых приводятся результаты расчетов инсоляции, учитывающие периодические возмущения орбитальных характеристик Земли и наклона оси ее вращения [8, 9, 16—18]. Однако, представленные в работах расчеты инсоляции выполнены с низким пространственным и временным разрешением.

Ранее нами разработана методика и выполнены расчеты инсоляции Земли с высоким пространственным и временным разрешением на основе высокоточных астрономических эфемерид DE—406 на период от 5000 лет в прошлое и на 1000 лет в будущее [18]. В настоящей работе расчеты выполнялись по данным новейших высокоточных астрономических эфемерид DE—441 [19] для всей поверхности Земли (без учета атмосферы) в интервале от 12000 лет в прошлом до 8000 лет в будущем. Первоначально изменение активности Солнца не учитывалось. Затем были выполнены расчеты, учитывающие изменения реконструированных годовых значений TSI (Total Solar Irradiance).

Отличия нашего подхода в расчетах высокочастотных вариаций инсоляции от методов Е.П. Борисенкова, М.—Ф. Лутр, С. Бертрана и их коллег связаны с исходными астрономическими данными, используемыми в расчетах, с различным решением расчетов инсоляции относительно поверхности Земли, с временным интервалом, охваченным расчетами, а также с учетом вариаций, отражающих изменения активности Солнца. Так, исходными данными для расчетов инсоляции,

выполненных бельгийскими исследователями, были эфемериды VSOP82. В наших расчетах использовались JPL (Jet Propulsion Laboratory) Planetary and Lunar Ephemerides DE—441. Поверхность Земли при расчетах инсоляции отождествлялась нашими предшественниками со сферой, и расчеты выполнялись только для отдельных параллелей. Выполненные нами расчеты показали, что ошибки в расчетах облучения сферы и эллипсоида соизмеримы с вариациями TSI в 11—ти летнем цикле в настоящее время [20].

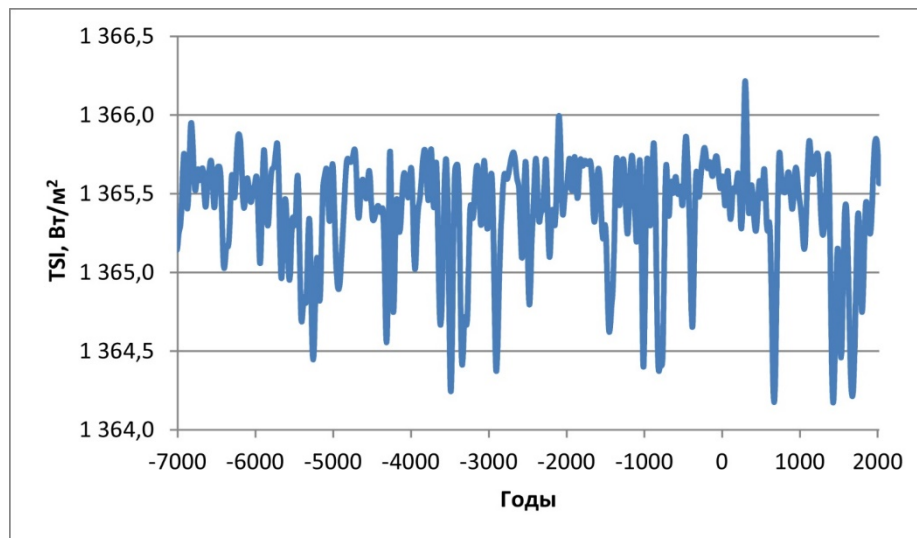
М.—Ф. Лутр с соавторами [16] ранее выполнены расчеты инсоляции на 6000 лет в прошлое. Расчеты выполнялись с шагом 1 год, но только для пяти дней в году (для точек равноденствия, солнцестояния и точки с геоцентрической долготой равной  $120^\circ$ ) и только для экватора и параллелей  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $90^\circ$  в каждом полушарии. В работе С. Бертрана с соавторами [9] инсоляция рассчитывалась на последние 1000 лет с шагом по времени в 1 год для одного дня в году (точки с геоцентрической долготой равной  $120^\circ$ ) для параллелей  $60^\circ$  и  $70^\circ$  в Северном полушарии.

Ж. Ласкаром были подготовлены решения для орбитальных, прецессионных и наклонных переменных для расчетов низкочастотных вариаций инсоляции [15]. Эфемериды DE—406 он использовал как эталон для тестирования своих решений на коротком участке времени. Мы же использовали эфемериды DE—406 в качестве исходных астрономических данных для предварительных расчетов высокочастотных вариаций инсоляции на короткий участок времени с большим пространственным и временным разрешением [18]. Ж. Ласкар с коллегами рассчитывал инсоляцию только на параллель  $65^\circ$  с.ш. и только на 1 день в году, когда Солнце находилось в  $120^\circ$  эклиптической долготы (лето в Северном полушарии) с шагом (на интервале в 1 млн. лет) равным 1000 лет [15].

Расчеты низкочастотных вариаций, во—первых, выполнены с малым временным разрешением. Шаг по времени в расчетах Миланковича и Шараф, Будниковой составлял около 5000 лет [5, 13]. В расчетах Вернекара, Берже и Ласкара — 1000 лет [7, 14, 15]. Расчеты проводились на отдельные параллели. Форма Земли принималась сферической. Такие расчеты из—за малого временного разрешения не позволяют анализировать палеогеографические события в масштабах голоцена.

Мы рассчитали инсоляцию на 360 орбитальных положений Земли в каждом из 20000 лет (от 10000 г до н.э. до 10000 г. н.э.). То есть шаг по времени составлял около одних суток. В пространстве расчеты относились не к отдельным линиям (параллелям), а выполнялись для площадок (трапеций) размером  $1^\circ \times 1^\circ$  (по широте и долготе), покрывающих всю поверхность Земли. То есть прежние расчеты относились к линии — характеристике пространства первого порядка. Нами расчеты выполнены на площадь — характеристику пространства второго порядка. Мы также учитывали в расчетах инсоляции эллипсоидную форму Земли [20, 21]. В работе рассчитанная инсоляция представлена в единицах интенсивности облучения — ИО ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ).

Для учета изменения активности Солнца использовалась реконструкция TSI, основанная на данных содержания  $\text{C}^{14}$  в ледовых ядрах Гренландии [22—26]. Реконструкция TSI выполнена для периода от 7200 г. до н.э. до 2019 г. (рис. 1).



**Рис. 1.** Реконструкция полной солнечной освещенности (TSI) для периода от 7000 г. до нашей эры до 2000 г. нашей эры

Учет вариаций солнечной радиации разной физической природы способствует получению более полной информации о радиационном факторе и, связанных с ним, изменениях природы прошлого [27].

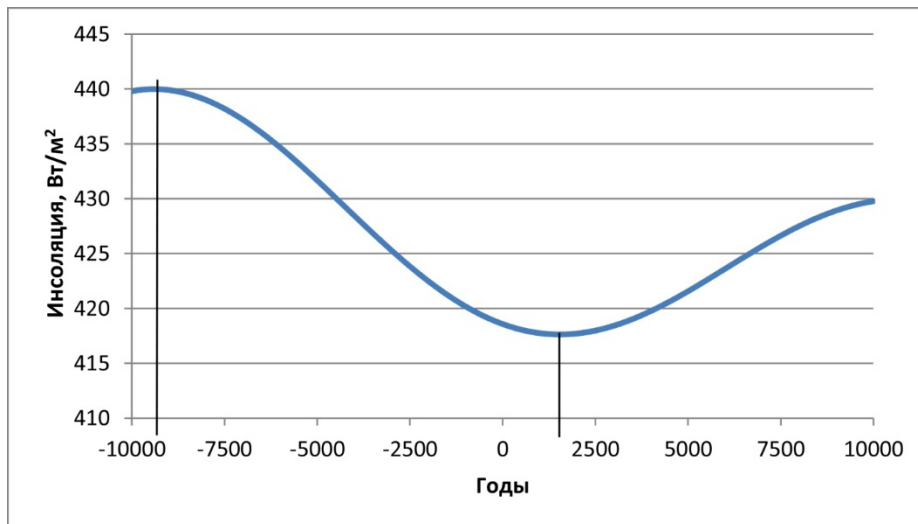
### 3 Результаты и их обсуждение

Проведено хронологическое сопоставление двух глобальных климатических событий (перехода от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе и Малого ледникового периода) с экстремальными значениями цикла климатической прецессии. Переход от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе обычно связывается с максимумом летней инсоляции рассчитанной для  $65^\circ$  с.ш. [5—7, 13—15]. В качестве причин Малого ледникового периода обычно называют минимумы солнечной активности: Шперера, 1460—1540 гг. или 1420—1530 гг., Маундера, 1645—1715 гг. и Дальтона, 1790—1830 гг. [28].

#### 3.1 Переход от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе

Анализировалось изменение летней инсоляции Северного полушария в цикле климатической прецессии, которая имеет большое значение в изменениях природной системы Земли и ее компонентов. Это определяется, во—первых, тем, что

при увеличении летней инсоляции увеличивается приповерхностная температура воздуха (ПТВ) и температура поверхностных вод океана (ТПО). Во—вторых, выделением скрытого тепла от увеличения атмосферных осадков (переход водяного пара в воду и снег или лед). В—третьих, уменьшением альbedo за счет сокращения площади морских льдов, ледников, времени залегания снежного покрова и, как следствие, нагреванием большей площади поверхности (материков и океанов) и от нее атмосферы. При сокращении летней инсоляции — очевидно, происходят обратные эффекты. В связи с этим, мы проанализировали изменение летней инсоляции полушарий в голоцене и сопоставили экстремумы изменения летней инсоляции в Северном полушарии с отмеченными палеогеографическими событиями (рис. 2).



**Рис. 2.** Изменение летней инсоляции в Северном полушарии в интервале от 10000 г. до н.э. до 10000 г.н.э. без учета изменения активности Солнца (вертикальными линиями отмечены экстремумы)

Максимум летней инсоляции в Северном полушарии отмечается (по принятому за граничное значение  $440 \text{ Вт/м}^2$ ) в интервале приблизительно от 11300 до 11550 лет назад (рис. 2, 3). Максимум летнего облучения Северного полушария связан с положением перигелия земной орбиты вблизи летнего солнцестояния.



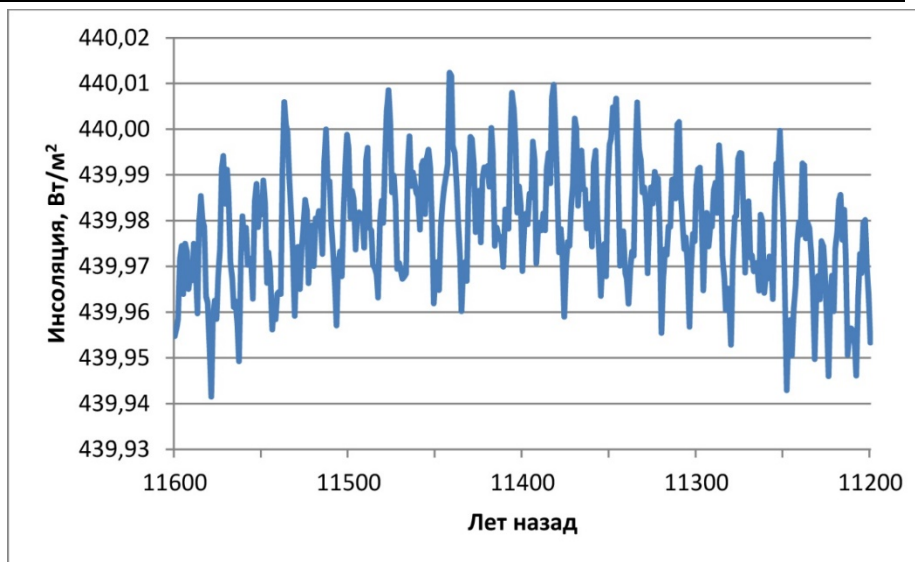


Рис. 3. Максимум летней инсоляции в Северном полушарии в голоцене

Максимум летней инсоляции в Северном полушарии совпадает с глобальным климатическим событием — переходом от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе, продолжительность которого оценивается в 2000 лет, и в основном датируется временем в интервале 12000 — 10000 лет назад [29—31], когда глобальная температура поверхности Земли увеличилась примерно на 2,0—3,5°C [32]. Это повлекло за собой начало активной фазы деградации Скандинавского ледникового щита, отступление его от морен Салпаусселькя в северной Европе, завершение стадии Валдерс в Северной Америке [30, 33, 34] и сокращение мощности и площади Гренландского ледникового щита [35—37]. Согласно решению стратиграфической комиссии INQUA, нижняя граница голоцена сопоставляется с началом интенсивного потепления, наступившего около 11700 лет назад (определяемого по результатам изотопно—кислородного анализа ледовых кернов Гренландии), после окончания холодного интервала поздний Дриас [38, 39]. Переход от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе находит четкое отражение в изотопно—кислородном составе ледовых кернов Гренландии и о. Девон [40, 41], полигонально—жильных льдов Восточной Сибири [42], а также раковин фораминифер из донных осадков [43]. Значительные изменения природы в этот период проявляются в изменениях спорово—пыльцевых спектров, фаунистических комплексов и их ареалов [44—46], в палеогидрологических событиях — в изменении уровня Мирового океана и археологических данных мезолитических стоянок [47—50], в увеличении в 2—3 раза и более темпов деградации ледников [51, 52].

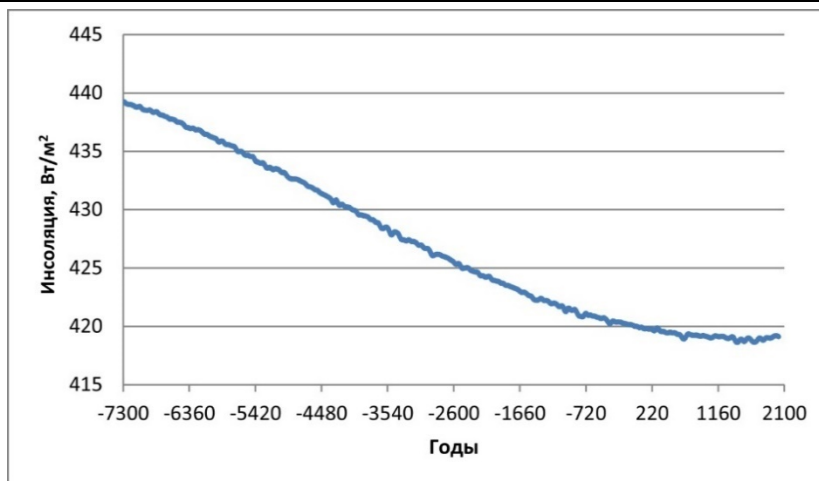
### 3.2 Малый ледниковый период

Малый ледниковый период (МЛП) — достоверно установленное в истории природы Земли событие, наиболее заметно проявившееся в Европе, северной Атлантике и Северной Америке [53]. Временной интервал события достаточно протяжённый и определяется приблизительно с 1300 по 1880 гг. [54—57], с максимумом в период с 1550 по 1880 гг. [53, 56, 58, 59]. Таким образом, это событие имеет значительный пространственный и временной масштаб. Оно широко известно, как по полотнам Питера (Старшего) Брейгеля (1525—1569) и Хендрика Аверкампа (1585—1634), так и по многочисленным историческим свидетельствам и научным публикациям [53, 60—63].

МЛП представляет особый интерес, поскольку его последнее столетие (1750—1850 гг.) задокументировано с помощью инструментальных наблюдений, отчеты которых сохранились до наших дней [28, 61—63, 64]. Наряду с историческими источниками, данные по колонкам ледовых кернов из Гренландии, а также многочисленные дендрохронологические, палеоботанические, гляциологические и палеоклиматические данные подтверждают увеличение глобального объема льда и похолодание, произошедшее на севере Атлантики, в различных районах северной Евразии и Северной Америки во время МЛП с кульминацией в 17 веке [65—68]. Снижение температуры воздуха в момент последнего похолодания оценивается в  $-0,6^{\circ}\text{C}$  относительно предшествующего МЛП времени [69].

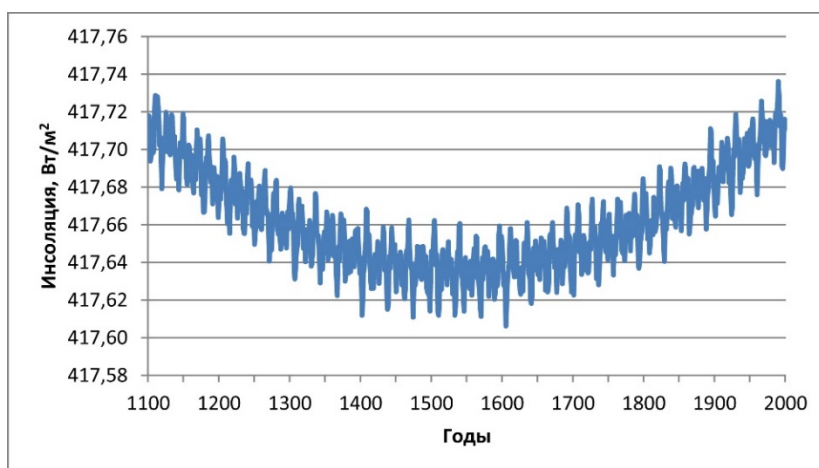
В качестве причин МЛП называется уменьшение солнечной активности, увеличение вулканической деятельности, особенности циркуляционных процессов в атмосфере и океане [28, 58, 70—72]. Чаще всего причины МЛП связывают с минимумами солнечной активности Шперера, 1460—1540 гг. или 1420—1530 гг., Маундера, 1645—1715 гг. и Дальтона, 1790—1830 гг. [28]. Вариации инсоляции не отмечаются в качестве фактора глобального похолодания в связи с неопределенностью, возникающей из-за низкого пространственного и временного разрешения в расчетах инсоляции для голоцена [21].

Рассчитанная нами с высоким пространственным и временным разрешением, но без учета солнечной активности инсоляция была пересчитана в соответствии с данными реконструкции (рис. 1). Для этого реконструированные годовые значения TSI делились на значение  $1361 \text{ Вт/м}^2$  которое использовалось в расчетах инсоляции [73]. В результате был получен ряд годовых значений коэффициента пропорциональности, на которые умножались рассчитанные значения летней инсоляции (интенсивности облучения — ИО) Северного полушария за соответствующие годы (рис. 4).



**Рис. 4.** Изменение летней инсоляции в Северном полушарии (в интервале от 7290 г. до н.э. до 2100 г. н.э.) с учетом изменения солнечной активности

Минимум летней инсоляции (если принять граничное значение равным  $417,6 \text{ Вт/м}^2$ ), локализуется в интервале приблизительно от 1300 до 1850 года. Абсолютный минимум ( $417,6 \text{ Вт/м}^2$ ) отмечается в 1606 г. н.э. (рис. 5). Размах изменения летней инсоляции в Северном полушарии (без учета солнечной активности) в голоцене составляет  $22,4 \text{ Вт/м}^2$ . Минимум летнего облучения Северного полушария связан с положением афелия земной орбиты вблизи летнего солнцестояния.



**Рис. 5.** Локализация минимума летней инсоляции в Северном полушарии без учета солнечной активности

С учетом изменения активности Солнца, структура минимума летней инсоляции в Северном полушарии заметно изменяется (рис. 6).

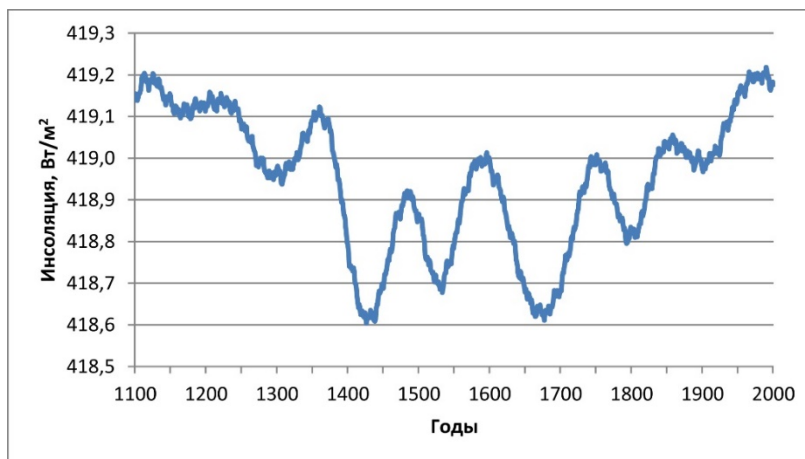
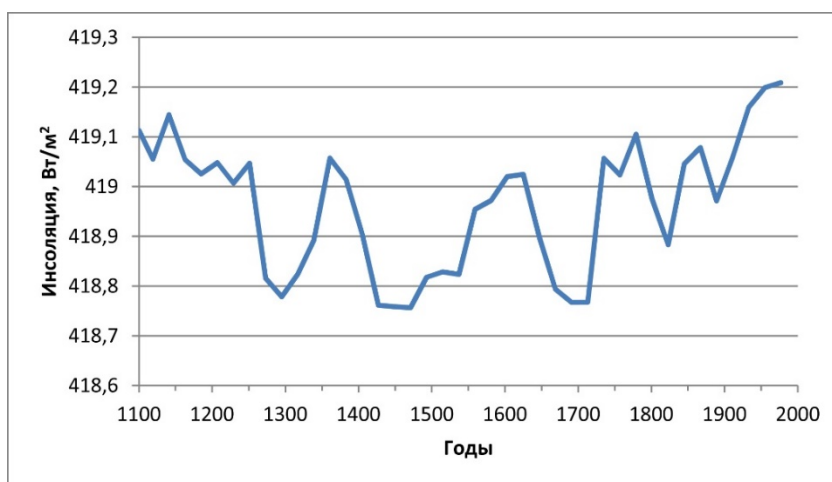


Рис. 6. Структура минимума летней инсоляции в Северном полушарии с учетом изменения солнечной активности

На фоне отмечаемого с начала голоцена сокращения приходящей в Северное полушарие за летнее полугодие солнечной радиации, в интервале от 1300 до 1850 гг., на который приходится глубокий минимум летней инсоляции, отмечаются четыре локальных минимума. Размах колебаний летней инсоляции, связанных с активностью Солнца, на этом интервале приблизительно ограничивается пределами  $0,6 \text{ Вт/м}^2$ . Абсолютные минимумы летней инсоляции отмечаются в 1426 г. ( $418,6 \text{ Вт/м}^2$ ), 1533 г. ( $418,7 \text{ Вт/м}^2$ ), 1677 г. ( $418,6 \text{ Вт/м}^2$ ) и в 1793 г. ( $418,8 \text{ Вт/м}^2$ ). Два первых минимума, очевидно, могут соответствовать минимуму Шперера, последующие локальные минимумы, вероятно, синхронизируются с минимумами Маундера и Дальтона [28].

В проекте СМIP—6 [74] в радиационном блоке физико—математических моделей климата рекомендовано использовать реконструкцию TSI (на период до 9400 лет в прошлое) выполненную Ф. Штайнхильбером с коллегами [75]. Реконструкция выполнена на основе содержания  $\text{Be}^{10}$  в ледяных ядрах Гренландии и Антарктиды и содержания  $\text{C}^{14}$  в остатках деревьев. Напомним, что под TSI понимается суммарный поток солнечного излучения, проходящий за единицу времени через единичную площадку, ориентированную перпендикулярно потоку на расстоянии 1 а.е. (астрономическая единица) от Солнца вне земной атмосферы. Переход от значения солнечного излучения, полученного для диска Земли расположенного перпендикулярно солнечным лучам на расстоянии 1 а.е. от Солнца, к значению для ВГА (верхняя граница атмосферы) Земли производится делением этого значения на 4, поскольку площадь сферы в 4 раза больше площади ее большого круга. Таким образом, TSI рассчитывается для сферы, несмотря на то, что

Земля имеет форму эллипсоида [5, 7, 13, 15, 17]. Инсоляция в нашей работе рассчитывалась для поверхности эллипсоида. В реконструкции Ф. Штайнхильбера с коллегами [75] значения TSI представлены осредненными (сглаженными) за 22 года отклонениями от минимума солнечного цикла 1986 г. н.э. (1365,6 Вт/м<sup>2</sup>). Реконструкция охватывает период с 1950 г. н.э. до 9389 г. до н.э. Временная структура МЛП с учетом этой реконструкции представлена на рис. 7.



**Рис. 7.** Структура минимума летней инсоляции в Северном полушарии с учетом изменения солнечной активности [75]

Изменение летнего облучения характеризуется четырьмя основными минимумами: приблизительно 1270—1295 гг., 1450—1470 гг., 1690—1715 гг. и 1800—1820 гг. Однако, сглаженные в реконструкции данные позволяют только весьма условно сопоставить отдельные минимумы с известными минимумами [28] Шперера (1460—1540 гг. или 1420—1530 гг.), Маундера (1645—1715 гг.) и Дальтона (1790—1830 гг.). Таким образом, в масштабах тысячелетий (рис. 5), вариации, связанные с активностью Солнца, выражены слабо на фоне более продолжительных и значительных по амплитуде вариаций, связанных с климатической прецессией. Однако, в масштабах столетий вариации, определяемые солнечной активностью, становятся значимыми и позволяют детализировать экстремумы летнего облучения, определяемые изменением параметров орбитального движения Земли — соотношением линии апсид (афелий — перигелий) и линии равноденствий (или солнцестояний). Движение линии апсид определяется циклом движения долготы перигелия земной орбиты, движение линии равноденствий связано с прецессией точки весеннего равноденствия.

С глубоким по амплитуде и продолжительным минимумом летней инсоляции в Северном полушарии связано глобальное климатическое событие позднего голоцена — МЛП (приблизительно середина XIV века — середина XIX века). На

фоне отмеченного колебания летнего облучения в цикле климатической прецессии проявляются связанные с изменением активности Солнца колебания облучения, размах которых находится в пределах  $0,6 \text{ Вт/м}^2$ . Эти вариации могут определять изменения природы малого временного масштаба (столетия, десятилетия), в отличие от вариаций летней инсоляции, связанных с особенностями орбитального движения Земли — климатической прецессией.

Абсолютный максимум летней инсоляции в Северном полушарии ( $440 \text{ Вт/м}^2$ ) отмечается 11442 года назад, абсолютный минимум ( $417,6 \text{ Вт/м}^2$ ) в 1606 г. н.э. Продолжительность ветви спада составляет 11048 лет. Если принять ветви роста и спада равновесными, то последний цикл изменения летней инсоляции в Северном полушарии имел продолжительность около 22100 лет. Следовательно, предшествующий МЛП минимум летней инсоляции в Северном полушарии должен отмечаться около 22500 лет назад, которое синхронизируется с началом максимального развития последнего покровного оледенения (LGM) в Европе (бологовская, и бранденбургская стадии) и Северной Америке (стадия тейзуэлл) [29, 33]. Максимум летнего облучения, предшествующий голоценовому максимуму (11442 года назад) приходится на время около 33542 лет назад, что синхронизируется с началом брянского, паудорфского межстадиала в Европе и межстадиалом плейм—пойнт и фармдейл в Северной Америке. Эта синхронизация подтверждает значимость фактора климатической прецессии в глобальных изменениях природной среды на Земле.

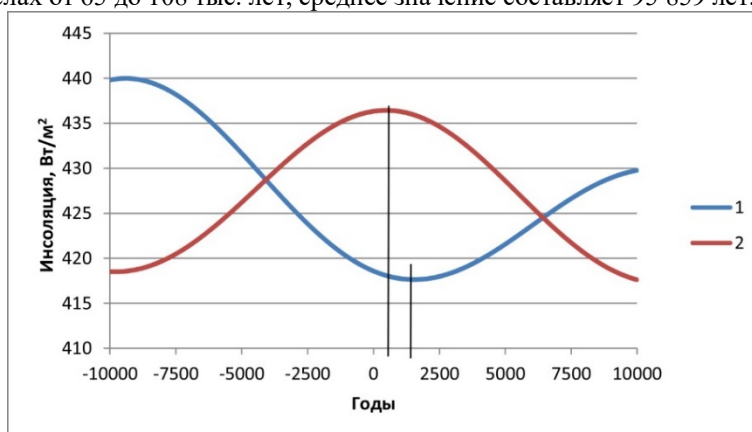


**Рис. 8.** Распределение продолжительности цикла климатической прецессии (долготы перигелия) на интервале 10 млн. лет

Ж. Ласкаром с коллегами [76] для периода от 5 млн. лет в прошлое до 5 млн. лет в будущее подготовлены данные для расчетов низкочастотных вариаций ин-

соляции (рассчитаны с разрешением в 1000 лет значения эксцентриситета, наклона оси и долготы перигелия). Поскольку цикличность климатической прецессии определяется циклом долготы перигелия, то данные Ж. Ласкара позволяют, во—первых, уточнить хронологию полученных нами приблизительно (принимая равновесными ветви роста и спада летней инсоляции) значений экстремумов, сопоставляемых с LGM и брянским (паудофским) межстадиалом. Так, предшествующий голоценовый минимум летней инсоляции в соответствии с данными Ж. Ласкара приходился на время 22 тыс. лет назад, а максимум — на 33 тыс. лет назад. Во—вторых, рассчитать изменчивость продолжительности прецессионного цикла (цикла климатической прецессии) на интервале 10 млн. лет (рис. 8).

Цикл климатической прецессии (долготы перигелия) изменяется на этом интервале от 10 до 33 тыс. лет, только в среднем составляя 21585 лет. То есть диапазон изменений цикла довольно значительный. Продолжительность цикла климатической прецессии (долготы перигелия) характеризуется распределением близким к нормальному. Среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  равняется 3,0. Вероятность локализации значений в интервале ограниченном  $\pm 3\sigma$  от среднего арифметического, составляет 0,993 (для нормального распределения это значение равняется 0,997). Поскольку амплитуда долготы перигелия в его цикле изменяется от 0 до  $360^\circ$ , то определение вариаций амплитуды климатической прецессии требует проведения расчетов непосредственно летней инсоляции за более длительный период. Продолжительность циклов наклона оси и эксцентриситета земной орбиты, с которыми связаны низкочастотные вариации инсоляции, также изменяется в значительных пределах. Так, угол наклона оси изменяется на интервале в 10 млн. лет с периодом от 33 до 52 тыс. лет при среднем значении равном 40 967 лет. Изменение продолжительности цикла эксцентриситета находится в пределах от 65 до 108 тыс. лет, среднее значение составляет 95 859 лет.



**Рис. 9.** Летняя инсоляция в Северном (1) и Южном (2) полушарии в интервале от 10 000 лет до н.э. до 10 000 н.э. (вертикальными линиями отмечены экстремумы)

Четкий минимум летнего облучения Южного полушария в исследуемом временном диапазоне не фиксируется. Однако, его значения в начале голоцена, вероятно, были близки к минимальным (рис. 9). Максимум летней инсоляции в Южном полушарии приходится приблизительно на интервал от 400 г. до 600 г. н.э. При этом, летняя инсоляция в Северном и Южном полушарии изменяется асинхронно. Коэффициент корреляции летней инсоляции в полушариях равен — 0,997.

Таким образом, вероятной причиной начала активной фазы деградации покровного оледенения, перехода от плейстоцена к голоцену и к МЛП являются соответственно максимум и минимум (экстремумы) летней инсоляции в Северном полушарии, связанные с циклом климатической прецессии. Участие летней инсоляции Южного полушария в генерации этих глобальных палеогеографических событий не находит подтверждения в полученных нами результатах. Следовательно, ареалом происхождения и развития этих событий было Северное полушарие Земли. В Южное полушарие, происходящие в Северном полушарии изменения природной среды транслировались механизмами межполушарного теплообмена, циркуляционными процессами в атмосфере и океане [71] и, таким образом, проявлялись как следствия происходящих в Северном полушарии отмеченных глобальных природных изменений.

Следующий максимум климатической прецессии в Северном полушарии ожидается приблизительно через 10—10,5 тыс. лет. Приблизительно через 21,5 тыс. лет ожидается минимум летней инсоляции. В случае если экстремумы летней инсоляции являются главными причинами глобальных палеогеографических событий, то в эти периоды соответственно ожидаются потепление и похолодание в природной системе Земли. Энергетическая эффективность цикла климатической прецессии, как отмечалось ранее, для голоцена характеризуется размахом равным 22,4 Вт/м<sup>2</sup>. Оценка энергетической эффективности этого цикла в будущем и прошлом, требует расчетов на более продолжительный период с использованием, например, астрономических эфемерид Ж. Ласкара с коллегами [76]. Такие расчеты на период 3 млн. лет в прошлое и 100 тыс. лет в будущее (то есть на весь плейстоцен) проводятся нами в настоящее время. Исследования в этом направлении способствуют модернизации и развитию астрономической теории изменения климата [77].

#### 4 Заключение

Определена синхронность между экстремальными значениями летнего облучения Северного полушария и двумя глобальными климатическими событиями в голоцене (переходом от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе и Малому ледниковому периоду). Проведенный анализ позволил уточнить геохронологию этих событий и определить их вероятные причины. Учитывая то, что солнечная радиация является основным источником энергии гидрометеорологических, почвенно—биологических и многих других процессов, найденную синхронизацию, вероятно, следует считать отражением причинно—следственной



связи глобальных изменений природы Земли и экстремальных значений летней инсоляции в Северном полушарии, отражающих цикл климатической прецессии.

Областью генерации и развития отмеченных глобальных палеогеографических событий было Северное полушарие Земли. В Южном полушарии эти события могли проявляться как следствия происходящих в Северном полушарии событий в результате межполушарного теплообмена, осуществляемого циркуляционными процессами в атмосфере и океане.

В масштабах тысячелетий вариации, связанные с активностью Солнца, выражены слабо на фоне более продолжительных вариаций, определяемых циклом климатической прецессии. Однако, в масштабах столетий вариации, определяемые солнечной активностью, становятся значимыми и позволяют детализировать экстремумы летней инсоляции в цикле климатической прецессии. Таким образом, отмеченные глобальные климатические события голоцена связаны с экстремумами климатической прецессии, но временная структура экстремумов летней инсоляции определяется вариациями солнечной активности. Следовательно, при реконструкции и прогнозировании глобальных изменений природной среды необходим учет вариаций солнечной радиации разной физической природы (связанных как с изменением активности Солнца, так и с изменением характеристик ее орбитального движения). Это может способствовать получению более полной информации о радиационном факторе и изменениях природы в прошлом и в будущем. Экстремумы цикла климатической прецессии, вероятно, могут применяться в качестве маркеров в солярной геохронологии глобальных палеогеографических событий.

*Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой Географического факультета МГУ № 121051100135—0 «Палеогеографические реконструкции природных геосистем и прогнозирование их изменений» и № 121051300175-4 «Опасность и риск природных процессов и явлений»*

## Литература

1. Межправительственная группа экспертов по изменению климата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ipcc.ch/> (дата обращения: 20.04.2022).
2. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // *Успехи физических Наук*, 2000. Т. 170. № 4. С. 419—445. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0170.200004d.0419>.
3. Liu, Z., Zhu, J., Rosenthal, Y. et al. The Holocene temperature conundrum // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014. 111, E3501—E3505. <https://doi.org/10.1073/pnas.1407229111>.
4. Федоров В.М. Проблема меридионального переноса тепла в астрономической теории климата // *Геофизические процессы и биосфера*, 2019. Т. 18. № 3. С. 117—128. <https://doi.org/10.21455/GPB2019.3—8>.
5. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.—Л.: ГОНТИ, 1939. 208 с.

6. Brouwer D., Van Woerkom A.J.J. The secular variation of the orbital elements of the principal planets // *Astronomical Papers*, 1950. Vol. 13. P. 81—107.
7. Berger A. Long—term variations of daily insolation and Quaternary Climatic Changes // *Journal of Atmospheric Science*, 1978. Vol. 35(12). P. 2362—2367.
8. Borisenkov Ye. P., Tsvetkov A.V., Agaponov S.V. On some characteristics of insolation changes in the past and the future // *Climatic Change*, 1983. № 5. P. 237—244.
9. Bertrand C., Loutre M.F., Berger A. High frequency variations of the Earth's orbital parameters and climate change // *Geophysical research letters*, 2002. Vol. 29. № 18. P. 40—1 — 40—3. <https://doi.org/10.1029/2002GL015622>.
10. Федоров В.М., Фролов Д.М. Пространственная и временная изменчивость приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации // *Космические исследования*, 2019. Т. 57. № 3. С. 177—184. <https://doi.org/10.1134/S002342061903004X>
11. Arrhenius S. On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground // *Philosophical Magazine and Journal Science (Fifth Series)*, 1896. Vol. 41. P. 237—276.
12. Всемирная метеорологическая организация. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.wmo.int/pages/index\\_ru.html](http://www.wmo.int/pages/index_ru.html) (дата обращения: 20.06.2022).
13. Шараф Ш.Г., Будникова Н.А. Колебания солнечного облучения Земли, вызванные вековыми изменениями элементов земной орбиты // *ДАН СССР*, 1968. Т. 182. № 2. С. 291—293.
14. Vernekar A. Long—period global variations of incoming solar radiation // *Series: Meteorological Monographs*. Boston: American Meteorological Society, 1972. Vol. 12. No 34. 128 p. <https://doi.org/10.1007/978—1—935704—34—8>
15. Laskar J., Joutel F., Boudin F. Orbital, precessional and insolation quantities for the Earth from — 20 Myr to + 10 Myr // *Astronomy & Astrophysics*, 1993. Vol. 287. P. 522—533.
16. Loutre M.F., Berger A., Bretagnon E. et al. Astronomical frequencies for climate research at the decadal to century time scale // *Climate dynamics*, 1992. Vol. 7. P. 181—194.
17. Cionco R.G., Soon W.W—H. Short—term orbital forcing: A quasi—review and a reappraisal of realistic boundary conditions for climate modeling // *Earth—Science Reviews*, 2017. Vol. 166. 206—222 p.
18. Fedorov V.M., Kostin A.A. The Calculation of the Earth's insolation for the 3000 BC — AD 2999 // *Springer Geology*, 2020. Vol. I. P. 181—192. [https://doi.org/10.1007/978—3—030—38177—6\\_20](https://doi.org/10.1007/978—3—030—38177—6_20).
19. JPL Solar System Dynamics. NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology. Electronic resource of the national aerospace Agency of the USA. [Электронный ресурс]. URL: <http://ssd.jpl.nasa.gov> (дата обращения: 20.06.2022).
20. Федоров В.М., Костин А.А., Фролов Д.М. Влияние формы земли на характеристики облучения земной поверхности // *Геофизические процессы и биосфера*, 2020. Т. 19. № 3. С. 119—130. <https://doi.org/10.21455/GPB2020.3—7>.
21. Федоров В.М. Вариации инсоляции Земли и особенности их учёта в физико—математических моделях климата // *Успехи физических наук*, 2019. Т. 189. № 1. С. 33—46. <https://doi.org/10.3367/UFNr.2017.12.038267>

22. Usoskin I.G., Alanko—Huotari K., Kovaltsov G.A. et al. Heliospheric modulation of cosmic rays: Monthly reconstruction for 1951—2004 // *Journal of geophysical research*, 2005. Vol. 110, A12108. <https://doi.org/10.1029/2005JA011250>
23. Usoskin I.G., Solanki S.K., Kovaltsov G.A. Grand minima of solar activity during the last millennia // *International Astronomical Union*, 2012. Vol. 7 (S286). P. 372—382 <https://doi.org/10.1017/S174392131200511X>
24. Soon W., Velasco Herrera V.M., Selvaraj K. et al. A review of Holocene solar—linked climatic variation on centennial to millennial timescales: Physical processes, interpretative frameworks and a new multiple cross—wavelet transform algorithm // *Earth—Science Reviews*, 2014. Vol. 134. P. 1—15. <https://doi.org/10.1016/j.earsci-rev.2014.03.003>
25. Velasco Herrera, V., Mendoza, B., Velasco Herrera, G. Reconstruction and prediction of the total solar irradiance: From the Medieval Warm Period to the 21st century // *New Astronomy*, 2015. Vol. 34. P. 221—233. <https://doi.org/10.1016/j.newast.2014.07.009>
26. Федоров В.М., Фролов Д.М., Веласко Эррера В.М.Н. и др. Роль радиационного фактора в глобальных климатических событиях позднего голоцена // *Геофизические процессы и биосфера*, 2021. Т. 20. № 3. С. 5—19. <https://doi.org/10.21455/GPB2021.3—1>
27. Федоров В.М. Анализ составляющих различной физической природы в межгодовой изменчивости полного потока солнечного излучения // *Астрономический вестник. Исследования солнечной системы*, 2019. Т. 53. № 5. С. 394—400. <https://doi.org/10.1134/S0320930X19040029>
28. Сун В., Яскелл С. Минимум Маундера и переменные солнечно—земные связи. Москва — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2008. 336 с.
29. Марков К.К., Лазуков Г.И., Николаев В.А. Четвертичный период. М.: Московский университет, 1965. Т. 1. 372 с.
30. Мони́н А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 408 с.
31. Изменение климата / Под ред. Дж. Гриббина. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 360 с.
32. Osman M., Tierney J., Zhu J. et al. Globally resolved surface temperatures since the Last Glacial Maximum // *Nature*, 2021. Vol. 599. P. 239—244. <https://doi.org/10.1038/s41586—021—03984—4>
33. Четвертичный период в США / Под ред. К.К. Маркова. М.: Мир, 1968. Т. 1. 696 с.
34. Hughes, A. L. C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø. S., et al. The last Eurasian ice sheets — a chronological database and time—slice reconstruction, DATED—1 // *Boreas*, 2015. <https://doi.org/10.1111/bor.12142>. ISSN 0300—9483.
35. Simpson M.J., Milne G.A., Huybrechts P. et al. Calibrating a glaciological model of the Greenland ice sheet from the Last Glacial Maximum to presentday using field observations of relative sea level and ice extent // *Quaternary Science Reviews*, 2009. Vol. 28. P. 1631—1657. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2009.03.004>
36. Funder S., Goosse H., Jepsen H., et al. A 10,000—year record of Arctic Ocean sea—ice variability view from the beach // *Science*, 2011 Vol. 333. P. 747—750. <https://doi.org/10.1126/science.1202760>

37. Sinclair G., Carlson A.E., Mix A.C. et al. Diachronous retreat of the Greenland ice sheet during the last deglaciation // *Quaternary Science Reviews*, 2016. Vol. 145. P. 243—258. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.05.040>
38. Head M.J. Formal subdivision of the Quaternary System/Period: Present status and future directions // *Quaternary International*, 2019. Vol. 500. P. 32—51. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.05.018>
39. Walker M., Head M.J., Lowe J. et al. Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes // *Journal Quaternary Science*, 2019. Vol. 34. No 3. P. 173—186. <https://doi.org/10.1002/jqs.3097>
40. Dansgaard W., S. J. Johnsen, H. B. Clausen, et al. Evidence of general instability of past climate from a 250—kyr ice—core record // *Nature*, 1993. Vol. 364 (6434). P. 218—220. <https://doi.org/10.1038/364218a0>
41. Fisher, D. A., Koerner R. M., Reeh N. Holocene Climatic Records from Agassiz Ice Cap, Ellesmere Island, NWT, Canada // *The Holocene*, 1995. Vol. 5. No. 1. P. 19—24.
42. Коняхин М.А., Михалев Д.В., Соломатин В.И. Изотопно—кислородный состав подземных льдов. М.: Изд—во Моск. ун—та, 1996. 155 с.
43. Emiliani C. Isotopic Paleotemperatures: Urey's method of paleotemperature analysis has greatly contributed to our knowledge of past climates // *Science*, 1966. Vol. 154. Issue 3751. P. 851—857. <https://doi.org/10.1126/science.154.3751.851>
44. Брукс К. Климаты прошлого. М.: Иностранная литература, 1952. 358 с.
45. Субетто, Д. А., Давыдова, Н. Н., Сапелко, Т. В. и др. Климат северо—запада России на рубеже плейстоцена и голоцена // *Известия РАН. Серия географическая*, 2003. № 5. С. 1—12.
46. Болиховская Н.С. Эволюция климата и ландшафтов Нижнего Поволжья в голоцене // *Вестник Московского университета. Серия География*, 2011. № 2. С. 13—27.
47. Fairbanks R.G. A 17.000—year glacio—eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep ocean circulation // *Nature*, 1989. Vol. 342. P. 637—642. <https://doi.org/10.1038/342637A0>
48. Shennan I., Horton B.P. Holocene land and sea—level changes in Great Britain // *Journal of Quaternary Science*, 2002. Vol. 17. P. 511—526. <https://doi.org/10.1002/jqs.710>
49. Woodroffe S. A., Horton B. P. Holocene sea—level changes in the Indo—Pacific // *Journal of Asian Earth Sciences*, 2005. Vol. 25. Issue 1. P. 29—43 <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.01.009>
50. Smith D., Harrison S., Firth C. et al. The early Holocene sea level rise // *Quaternary Science Reviews*, 2011. Vol. 30. P. 1846—1860. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.04.019>
51. Mangerud J., Goehring B., Lohne O. et al. Collapse of marine—based outlet glaciers from the Scandinavian Ice Sheet // *Quaternary Science Reviews*, 2013. Vol. 67. P. 8—16. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.01.024>
52. Marcott S., Shakun J., Clark P. et al. A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years // *Science*, 2013. Vol. 339. P. 1198—1201. <https://doi.org/10.1126/science.1228026>
53. Grove J.M. The little ice age. London and New York: Methuen, 1988. P. 498.

54. Lamb H.H. The cold Little Ice Age climate of about 1550 to 1800. *Climate: present, past and future*. London: Methuen, 1972. P. 107.
55. Matthews, J.A., Briffa K.R. The Little Ice Age: Re-evaluation of an evolving concept. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 2005. Vol. 87. P. 17—36. <https://doi.org/10.1111/j.0435—3676.2005.00242.x>
56. Miller G.H., Áslaug G., Yafang Z. et al. Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea—ice/ocean feedbacks // *Geophysical Research Letters*, 2012. Vol. 39 (2). <https://doi.org/10.1029/2011GL050168>
57. Degroot D. The frigid Golden Age: climate change, the Little Ice Age, and the Dutch Republic. New York.: Cambridge University Press, 2018. P. 1560—1720.
58. Mann M. Little Ice Age // *Encyclopedia of Global Environmental Change*, 2002. Vol. 1. The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change. P. 504—509.
59. Oliva M., Ruiz—Fernandez J., Barriendos M. et al. The Little Ice Age in Iberian mountains // *Earth—Science Reviews*, 2017. Vol. 177. <https://doi.org/10.1016/j.earsci-rev.2017.11.010>
60. Ogilvie A.E.J., Jónsson T. Little Ice Age. Research: A Perspective from Iceland // *Climatic Change*, 2001. Vol. 48. P. 9—52. <https://doi.org/10.1023/A:1005625729889.7>
61. Hodell D.A., Brenner M., Curtis J.H. et al. Climate change on the Yucatan Peninsula during the Little Ice Age // *Quaternary Research*, 2005. Vol. 63. No 2. P. 109—121. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.11.004>
62. Lean J., Rottman G., Harder J. et al. Source contributions to new understanding of global change and solar variability // *Solar Physics*, 2005. Vol. 230. P. 27—53. [https://doi.org/10.1007/0—387—37625—9\\_3](https://doi.org/10.1007/0—387—37625—9_3)
63. Büntgen U., Hellmann L. The Little Ice Age in Scientific Perspective: Cold Spells and Caveats // *Journal of Interdisciplinary History*, 2014. Vol. 44. Is. 3. P. 353—368 [https://doi.org/10.1162/JINH\\_a\\_00575](https://doi.org/10.1162/JINH_a_00575)
64. Pfister C. Winter Air Temperature Variations in Western Europe during the Early and High Middle Ages (AD 750—1300) // *Holocene*, 1998. Vol. 5. P. 535—552. <https://doi.org/10.1191/095968398675289943>
65. Jacoby G.C., D'Arrigo R.D., Luckman. B.H. Millennial and near—millennial dendroclimatic studies in northern North America // *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Climate Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2,000 Years*, 1996. P. 67—84.
66. Jones P.D., Osborn T.J., Briffa K.R. The evolution of climate over the last millennium // *Science*, 2001. Vol. 292. P. 662—667. <https://doi.org/10.1126/science.1059126>
67. Bradley R.S., Briffa K.R., Cole J. et al. The climate of the last millennium // Alverson K., Bradley R.S., Pedersen T.F. (eds.) *Paleoclimate, Global Change and the Future*. Berlin: Springer Verlag, 2003. P. 105—141.
68. Briffa K.R., Osborn T.J., Schweingruber F.H., et al. Low—frequency Temperature Variations from a Northern Tree Ring Density Network // *Journal of Geophysical Research*, 2001. Vol.106. P. 2929—2941. <https://doi.org/10.1029/2000JD900617>
69. Crowley T.J., Lowery T.S. Northern Hemisphere Temperature Reconstruction // *Ambio*, 2000. Vol. 29. P. 51—54.

70. Lean J. Evolution of the Sun's Spectral Irradiance Since the Maunder Minimum // *Geophysical research letters*, 2000. Vol. 27. № 16. P. 2425—2428. <https://doi.org/10.1029/2000GL000043>
71. Broecker W. Was a change in thermohaline circulation responsible for the Little Ice Age? // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2000. Vol. 97. No. 4. P. 1339—1342. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.4.1339>
72. Owens M.J., Lockwood M., Hawkins E. et al. The Maunder minimum and the Little Ice Age: an update from recent reconstructions and climate simulations // *Journal of Space Weather and Space Climate*, 2017. Vol. 7. A33. <https://doi.org/10.1051/swsc/201703473>. Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance // *Geophysical Research Letters*, 2011. Vol. 37. L01706. <https://doi.org/10.1029/2010GL045777>.
74. SOLARISHEPPA. Solar influences for SPARC. [Электронный ресурс]. URL: <https://solarisheppa.geomar.de/cmip6> (дата обращения: 20.06.2022).
75. Steinhilbe F., Abreu J.A., Beer J. et al. 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings // *Earth, Atmospheric and Planetary Sciences*, 2012. Vol. 109. No 16. P. 5967—5971. <https://doi.org/10.1073/pnas.1118965109>
76. Laskar J., Fienga A., Gastineau M. et al. 2010: a new orbital solution for the long-term motion of the Earth // *Astronomy and Astrophysics*, 2011. Vol. 532, A89. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201116836>
77. Федоров В.М. Астрономическая теория изменения климата: вопросы модернизации и развития // *Гидрометеорология и экология*, 2021. № 64. С. 435—465. DOI: 10.33933/2713-3001-2021-64-435-465.

## Reference

1. Intergovernmental Panel on Climate Change Available at: <http://www.ipcc.ch/> (accessed on: 18.07.2023).
2. Monin A. S., Shishkov Yu. A. Climate as a problem of physics. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Advances in physical sciences*. 2000;170(4):(419—445). (In Russ.). doi: 10.3367/UFNr.0170.200004d.0419. везде длинное тире
3. Liu, Z., Zhu, J., Rosenthal, Y. et al. The Holocene temperature conundrum. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014;(111):E3501—E3505. doi: 10.1073/pnas.1407229111.
4. Fedorov V. M. The problem of meridional heat transfer in the astronomical theory of climate. *Geofizicheskie processy i biosfera=Geophysical processes and the biosphere*, 2019;18(3):(117—128). (In Russ.). doi: 10.21455/GPB2019.3—8.
5. Milankovich M. *Matematicheskaya klimatologiya i astronomicheskaya teoriya kolebanij klimata=Mathematical climatology and astronomical theory of climate fluctuations*. Moscow—Leningrad: GONTI, 1939: 208 p. (In Russ.).
6. Brouwer D., Van Woerkom A. J. J. The secular variation of the orbital elements of the principal planets. *Astronomical Papers*. 1950;(13):81—107.
7. Berger A. Long-term variations of daily insolation and Quaternary Climatic Changes. *Journal of Atmospheric Science*. 1978;35(12):2362—2367.
8. Borisenkov Ye. P., Tsvetkov A. V., Agaponov S. V. On some characteristics of insolation changes in the past and the future. *Climatic Change*. 1983;(5):237—244.

9. Bertrand C., Loutre M. F., Berger A. High frequency variations of the Earth's orbital parameters and climate change. *Geophysical research letters*. 2002; 29(8):40—1 — 40—3. doi: 10.1029/2002GL015622.
10. Fedorov V. M., Frolov D. M. Spatial and temporal variability of solar radiation arriving at the upper boundary of the atmosphere. *Kosmicheskie issledovaniya = Space research*. 2019; 57 (3): (177—184). (In Russ.). doi: 10.1134/S002342061903004X.
11. Arrhenius S. On the influence of Carbonic Acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal Science (Fifth Series)*. 1896;(41):237—276.
12. World Meteorological Organization. Available at: [http://www.wmo.int/pages/index\\_ru.html](http://www.wmo.int/pages/index_ru.html) (accessed on: 18.07.2023).
13. Sharaf S. G., Budnikova N. A. Fluctuations in the Earth's solar irradiation caused by secular changes in the elements of the Earth's orbit. *Doklady Akademii Nauk USSR= Proceedings of the USSR Academy of Sciences*. 1968;182 (2):(291—293). (In Russ.).
14. Vernekar A. Long—period global variations of incoming solar radiation. *Series: Meteorological Monographs. Boston: American Meteorological Society*. 1972;(12):1—128 doi: 10.1007/978—1—935704—34—8.
15. Laskar J., Joutel F., Boudin F. Orbital, precessional and insolation quantities for the Earth from — 20 Myr to + 10 Myr. *Astronomy & Astrophysics*. 1993;(287):522—533.
16. Loutre M. F., Berger A., Bretagnon E. et al. Astronomical frequencies for climate research at the decadal to century time scale. *Climate dynamics*. 1992;(7):181—194.
17. Cionco R. G., Soon W. W—H. Short—term orbital forcing: A quasi—review and a reappraisal of realistic boundary conditions for climate modeling. *Earth—Science Reviews*. 2017;(166):206—222.
18. Fedorov V. M., Kostin A. A. The Calculation of the Earth's insolation for the 3000 BC — AD 2999. *Springer Geology*. 2020;(1):181—192. doi: 10.1007/978—3—030—38177—6\_20.
19. JPL Solar System Dynamics. NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology. Electronic resource of the national aerospace Agency of the USA. Available at: <http://ssd.jpl.nasa.gov> (accessed on: 18.07.2023).
20. Fedorov V. M., Kostin A. A., Frolov D. M. Influence of the shape of the Earth on the characteristics of the irradiation of the earth's surface. *Geofizicheskie processy i biosfera=Geophysical processes and the biosphere*. 2020;19(3):(119—130). (In Russ.). doi: 10.21455/GPB2020.3—7.
21. Fedorov V. M. Variations in the Earth's insolation and features of their consideration in physical and mathematical models of climate. *Uspekhi fizicheskikh nauk=Advances of physical sciences*. 2019; 189 (1):(33—46). (In Russ.). doi: 10.3367/UFNr.2017.12.038267.
22. Usoskin I. G., Alanko—Huotari K., Kovaltsov G. A. et al. Heliospheric modulation of cosmic rays: Monthly reconstruction for 1951—2004. *Journal of geophysical research*. 2005;(110):A12108. doi: 10.1029/2005JA011250.
23. Usoskin I. G., Solanki S. K., Kovaltsov G. A. Grand minima of solar activity during the last millennia. *International Astronomical Union*. 2012;7(S286):372—382. doi: 10.1017/S174392131200511X.

24. Soon W., Velasco Herrera V. M., Selvaraj K. et al. A review of Holocene solar—linked climatic variation on centennial to millennial timescales: Physical processes, interpretative frameworks and a new multiple cross—wavelet transform algorithm. *Earth—Science Reviews*. 2014;(134):1—15. doi: 10.1016/j.earscirev.2014.03.003.
25. Velasco Herrera, V., Mendoza, B., Velasco Herrera, G. Reconstruction and prediction of the total solar irradiance: From the Medieval Warm Period to the 21st century. *New Astronomy*. 2015;(34):221—233. doi: 10.1016/j.newast.2014.07.009.
26. Fedorov V. M., Frolov D. M., Velasco Herrera V. M. N. et al. The role of the radiation factor in global climate events of the Late Holocene. *Geofizicheskie processy i biosfera=Geophysical processes and the biosphere*. 2021;20(3):(5—19). (In Russ.). doi: 10.21455/GPB2021.3—1.
27. Fedorov V. M. Analysis of the components of different physical nature in the interannual variability of the total solar radiation flux. *Astronomical Bulletin. Solar system research*. 2019;3(5):(394—400). (In Russ.) doi: 10.1134/S0320930X19040029.
28. Soon W., Yaskell S. *Minimum Maundera i peremennye solnechno—zemnye svyazi=Maunder minimum and variable solar—terrestrial relations*. Moscow — Izhevsk: Institut komp'yuternyh issledovaniy, 2008: 336 p. (In Russ.).
29. Markov K. K., Lazukov G. I., Nikolaev V. A. *Chetvertichnyj period = Quaternary period*. Moscow: Moskovskij universitet, 1965: 372 p. (In Russ.).
30. Monin A. S., Shishkov Y. A. *Istoriya klimata = Climate history*. L.: Gidrometeoizdat, 1979: 408 p. (In Russ.).
31. Gribbin J. (ed.) *Izmenenie klimata = Climate change*. L.: Gidrometeoizdat, 1980: 360 p. (In Russ.).
32. Osman M., Tierney J., Zhu J. et al. Globally resolved surface temperatures since the Last Glacial Maximum. *Nature*. 2021;(599):239—244. doi: 10.1038/s41586—021—03984—4.
33. Markov K. K., Velichko A. A. *Chetvertichnyj period (Lednikovyj period—Antropogennyj period) = Quaternary period (Ice Age — Anthropogenic period)*. Moscow:Nedra, 1967: 440 p. (In Russ.).
34. Hughes, A. L. C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø. S., et al. The last Eurasian ice sheets — a chronological database and time—slice reconstruction, DATED—1. *Boreas*. 2016;45(1):1—45. doi: 10.1111/bor.12142
35. Simpson M. J., Milne G. A., Huybrechts P. et al. Calibrating a glaciological model of the Greenland ice sheet from the Last Glacial Maximum to present day using field observations of relative sea level and ice extent. *Quaternary Science Reviews*. 2009;(28):1631—1657. doi: 10.1016/J.QUASCIREV.2009.03.004.
36. Funder S., Goosse H., Jepsen H., et al. A 10,000—year record of Arctic Ocean sea—ice variability view from the beach. *Science*. 2011;(333):747—750. doi: 10.1126/science.1202760
37. Sinclair G., Carlson A. E., Mix A. C. et al. Diachronous retreat of the Greenland ice sheet during the last deglaciation. *Quaternary Science Reviews*. 2016;(145):243—258. doi: 10.1016/j.quascirev.2016.05.040
38. Head M. J. Formal subdivision of the Quaternary System/Period: Present status and future directions. *Quaternary International*. 2019;(500):32—51. doi: 10.1016/j.quaint.2019.05.018
39. Walker M., Head M. J., Lowe J. et al. Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and



auxiliary stratotypes. *Journal Quaternary Science*. 2019;34(3):173—186. doi: 10.1002/jqs.3097

40. Dansgaard W., Johnsen S. J., Clausen H. B., et al. Evidence of general instability of past climate from a 250—kyr ice—core record. *Nature*. 1993;364(6434):218—220. doi: 10.1038/364218a0

41. Fisher, D. A., Koerner R. M., Reeh N. Holocene Climatic Records from Agassiz Ice Cap, Ellesmere Island, NWT, Canada. *The Holocene*. 1995;5(1):19—24.

42. Konyahin M. A., Mihalev D. V., Solomatin V. I. *Izotopno—kislородnyj sostav podzemnyh l'dov = Isotope—oxygen composition of ground ice*. Moscow: Izdatelstvo Mosk. universiteta. 1996: 155 p. (In Russ.).

43. Emiliani C. Isotopic Paleotemperatures: Urey's method of paleotemperature analysis has greatly contributed to our knowledge of past climates. *Science*. 1966;154(3751):851—857. doi: 10.1126/science.154.3751.851

44. Brooks C. *Klimaty proshlogo = Climates of the Past*. Moscow: Inostrannaya literatura. 1952: 358 p. (In Russ.).

45. Subetto D. A., Davydova N. N., Sapelko T. V., et al. The climate of the north—west of Russia at the turn of the Pleistocene and Holocene. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic series*. 2003;(5):(1—12). (In Russ.).

46. Bolikhovskaya N. S. Evolution of the climate and landscapes of the Lower Volga region in the Holocene. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya Geografiya = Bulletin of Moscow University. Series Geography*. 2011;(2):(13—27). (In Russ.).

47. Fairbanks R. G. A 17,000—year glacio—eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep ocean circulation. *Nature*. 1989;(342):637—642. doi: 10.1038/342637A0.

48. Shennan I., Horton B. P. Holocene land and sea—level changes in Great Britain. *Journal of Quaternary Science*. 2002;(17):511—526. doi: 10.1002/jqs.710.

49. Woodroffe S. A., Horton B. P. Holocene sea—level changes in the Indo—Pacific. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2005;25(1):29—43. doi: 10.1016/j.jseaes.2004.01.009.

50. Smith D., Harrison S., Firth C. et al. The early Holocene sea level rise. *Quaternary Science Reviews*. 2011;(30):1846—1860. doi: 10.1016/j.quascirev.2011.04.019.

51. Mangerud J., Goehring B., Lohne O. et al. Collapse of marine—based outlet glaciers from the Scandinavian Ice Sheet. *Quaternary Science Reviews*. 2013;(67):8—16. doi: 10.1016/j.quascirev.2013.01.024.

52. Marcott S., Shakun J., Clark P. et al. A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. *Science*. 2013;(339):1198—1201. doi: 10.1126/science.1228026.

53. Grove J. M. *The little ice age*. London and New York: Methuen, 1988: 498 p.

54. Lamb H. H. *The cold Little Ice Age climate of about 1550 to 1800. Climate: present, past and future*. London: Methuen, 1972: 107 p.

55. Matthews, J. A., Briffa K. R. The Little Ice Age: Re-evaluation of an evolving concept. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. 2005;(87):17—36. doi: 10.1111/j.0435—3676.2005.00242.x.

56. Miller G. H., Aslaug G., Yafang Z. et al. Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea—ice/ocean feedbacks. *Geophysical Research Letters*. 2012;39(2):1—5. doi:10.1029/2011GL050168.

57. Degroot D. *The frigid Golden Age: climate change, the Little Ice Age, and the Dutch Republic*. New York.: Cambridge University Press, 2018:1560—1720.
58. Mann M. Little Ice Age. *Encyclopedia of Global Environmental Change*, 2002;(1): 504—509.
59. Oliva M., Ruiz—Fernandez J., Barriendos M. et al. The Little Ice Age in Iberian mountains. *Earth—Science Reviews*. 2018;(177):175—208. doi: 10.1016/j.earsci-rev.2017.11.010.
60. Ogilvie A. E. J., Jónsson T. Little Ice Age. Research: A Perspective from Iceland. *Climatic Change*. 2001;(48):9—52. doi: 10.1023/A:1005625729889.7.
61. Hodell D. A., Brenner M., Curtis J. H. et al. Climate change on the Yucatan Peninsula during the Little Ice Age. *Quaternary Research*. 2005;63(2):109—121. doi: 10.1016/j.yqres.2004.11.004.
62. Lean J., Rottman G., Harder J. et al. Source contributions to new understanding of global change and solar variability. *Solar Physics*. 2005;(230):27—53. doi: 10.1007/0—387—37625—9\_3.
63. Büntgen U., Hellmann L. The Little Ice Age in Scientific Perspective: Cold Spells and Caveats. *Journal of Interdisciplinary History*. 2014;44(3):353—368. doi: 10.1162/JINH\_a\_00575.
64. Pfister C. Winter Air Temperature Variations in Western Europe during the Early and High Middle Ages (AD 750—1300). *Holocene*. 1998;(5):535—552. doi: 10.1191/095968398675289943.
65. Jacoby G. C., D'Arrigo R. D., Luckman. B. H. Millennial and near—millennial dendroclimatic studies in northern North America. *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop. Climate Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2,000 Years*. 1996:67—84.
66. Jones P. D., Osborn T. J., Briffa K. R. The evolution of climate over the last millennium. *Science*. 2001;(292):662—667. doi: 10.1126/science.1059126.
67. Bradley R. S., Briffa K. R., Cole J. et al. The climate of the last millennium. *Alverson K., Bradley R. S., Pedersen T. F. (eds.) Paleoclimate, Global Change and the Future*. Berlin: Springer Verlag. 2003:105—141.
68. Briffa K. R., Osborn T. J., Schweingruber F. H., et al. Low—frequency Temperature Variations from a Northern Tree Ring Density Network. *Journal of Geophysical Research*. 2001;(106):2929—2941. doi: 10.1029/2000JD900617
69. Crowley T. J., Lowery T. S. Northern Hemisphere Temperature Reconstruction. *Ambio*. 2000;(29):51—54.
70. Lean J. Evolution of the Sun`s Spectral Irradiance Since the Maunder Minimum. *Geophysical research letters*. 2000;27(16):2425—2428. doi: 10.1029/2000GL000043.
71. Broecker W. Was a change in thermohaline circulation responsible for the Little Ice Age? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2000;97(4):1339—1342. doi: 10.1073/pnas.97.4.1339.
72. Owens M. J., Lockwood M., Hawkins E. et al. The Maunder minimum and the Little Ice Age: an update from recent reconstructions and climate simulations. *Journal of Space Weather and Space Climate*. 2017;(7):A33. doi: 10.1051/swsc/2017034.
73. Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar Irradiance: Evidence and climate significance. *Geophysical Research Letters*. 2011;(37):L01706. doi: 10.1029/2010GL045777.

74. SOLARISHEPPA. Solar influences for SPARC. Available at: <https://solarisheppa.geomar.de/cmip6> (accessed on: 18.07.2023).

75. Steinhilbe F., Abreu J. A., Beer J. et al. 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings. *Earth, Atmospheric and Planetary Sciences*. 2012;109(16):5967—5971. doi: 10.1073/pnas.1118965109.

76. Laskar J., Fienga A., Gastineau M. et al. La2010: a new orbital solution for the long—term motion of the Earth. *Astronomy and Astrophysics*. 2011;(532):A89. doi: 10.1051/0004—6361/201116836.

77. Fedorov V. M. Astronomical theory of climate change: issues of modernization and development. *Gidrometeorologiya i ekologiya=Hydrometeorology and ecology*. 2021; (64):(435—465). (In Russ.). DOI: 10.33933/2713—3001—2021—64—435—465.

## Extrema of the precession cycle and global climate events in the Holocene

<sup>1,3</sup>Valery Fedorov, <sup>2,4</sup>Elizaveta Agafonova,  
<sup>1,5</sup>Denis Frolov

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: <sup>3</sup>fedorov.msu@mail.ru,

<sup>4</sup>agafonovaelizaveta@mail.ru, <sup>5</sup>denisfrolovm@mail.ru

**Abstract.** The synchrony between the extreme values of summer insolation of the Northern Hemisphere and two global climatic events in the Holocene was found. The transition from the cold Pleistocene epoch to the warm Holocene epoch is synchronized with the maximum of summer irradiation. The Little Ice Age is synchronized with the minimum of summer irradiation of the Northern Hemisphere. The leading role of climatic precession in changes in the Earth's global climate is determined for the Holocene. The variations in the duration of the climatic precession cycle have been estimated.

**Keywords:** insolation, solar activity, global paleogeographic events, Holocene, Little Ice Age, solar geochronology

**Acknowledgement.** Work is executed at financial support of the State Assignments of Ministry of Science and High Education, Russia (Lomonosov Moscow State University, theme No. 121051100135—0 "Paleogeographic reconstructions of natural geosystems and forecasting their changes" and No. 121051300175-4 "Hazards and risks of natural processes and phenomena").

УДК 621.3:621.22:620.91

DOI: 10.24412/2658-6703-2024-1-100-113

EDN: SILTNH

## Ветроэнергетическая установка наземного базирования с жесткими парусами

<sup>1,2</sup>Чекарев Константин Владимирович [0000-0002-5140-5142],  
<sup>1,3</sup>Залиханов Алим Михайлович [0000-0002-2540-6045]

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: <sup>2</sup>konstantintchekarev@yandex.ru,  
<sup>3</sup>bulungu@yandex.ru

**Аннотация.** Современные ветроэнергетические установки большой мощности, преобразующие кинетическую энергию ветра в электроэнергию, из-за низкой плотности воздуха имеют огромные размеры. Это приводит к необходимости сооружать большие конструкции при использовании в традиционных ветроустановках ветроколеса с горизонтальной осью вращения. Предложен вариант парусной энергетической установки наземного базирования, в которой проблема, связанная с большими размерами преобразователей энергии ветра, снимается. Была разработана и создана экспериментальная установка для проведения исследований на макетах платформ с установленными на них парусами. С целью повышения эффективности преобразования ветрового потока была разработана система жестких парусов, которая устанавливалась на макет платформы. Для проведения исследований с такой системой парусов конструкция ряда систем экспериментальной установки была изменена: был разработан и создан генератор ветрового потока, обеспечивающий необходимое распределение скоростей в вертикальной плоскости, создана система изменения положения жестких парусов. Экспериментальные исследования показали работоспособность всех входящих в экспериментальную установку систем. Проводились эксперименты по определению величины скорости платформы при её движении с вариантами разработанной системы жестких парусов. Результаты исследований представлены в данной статье.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, возобновляемые источники энергии, ветровая установка, парусная энергетическая установка, жесткие паруса.

## 1 Введение

Использование кинетической энергии ветра в хозяйственной деятельности человека насчитывает много веков. Преобразователи энергии ветра в виде ветроколеса использовались только на суше для совершения работы, а преобразователи ветровой энергии в виде паруса использовались в основном на воде для перемещения транспортных средств. Известны примеры использования парусов для перемещения транспортных средств на суше начиная с еще с Древнего Египта, Китая и др. (1), но это направление сухопутного транспорта развития не получило. В настоящее время перемещение объектов по земле с помощью парусов осуществляется только в спортивных целях. Создана ассоциация World Sailing, которая проводит соревнования сухопутных парусных яхт, фиксируются рекорды скорости парусных болидов (2,3).

С появлением «зеленой» энергетики, установки с преобразователем энергии в виде ветроколеса стали использоваться для производства электроэнергии. Они устанавливаются на суше, вблизи морского берега и на море. Ветроэнергетика является одной из самых быстроразвивающихся отраслей возобновляемой энергетики. В отчете The Global Wind Report 2022 года отмечается, что по суммарной установленной мощности, 2021 был рекордным – 94 ГВт (4). В большинстве действующих ветровых установках преобразование энергии ветрового потока в электричество осуществляется с помощью ветроколеса с горизонтальной осью вращения и соединенного с ним электрогенератора, которые устанавливаются на мачте. В установках большой мощности диаметр ветроколеса может превышать величину 100 метров. Для удержания ветроколеса таких размеров необходима прочная конструкция и соответствующий грунт, чтобы выдерживать большой вес установки и ветровые нагрузки. Однако существует много областей с высоким ветровым потенциалом, в которых, из-за свойств грунтов, сооружать такие установки либо нельзя, либо экономически нецелесообразно. Одним из вариантов решения задачи использования ветроэнергетических установок в таких областях могут быть парусные энергетические установки наземного базирования.

## 2 Актуальность исследования и постановка цели

Предлагаются варианты парусных энергетических установок наземного базирования, позволяющих снять проблему больших размеров преобразователя энергии ветрового потока. Известен вариант конструкции парусной энергетической установка наземного базирования, содержащей платформы, соединенные в замкнутый состав, который движется по радиальному рельсовому пути (5). На платформах установлена система парусов, которые меняют положение в зависимости от направления ветра и участка пути. Электроэнергия вырабатывается с помощью электрогенераторов, соединенных с колесами платформ. Недостатком предложенной конструкции является то, что она может работать только при большом диаметре рельсового пути поскольку при малых диаметрах

наветренные паруса будут перекрывать расположенные за ними паруса, при этом эффективность преобразования энергии ветрового потока будет низкой, поскольку на половине пути платформы перемещаются под острым углом к направлению ветра.

Эффективность парусной энергетической установки наземного базирования можно повысить, если состав платформ сделать незамкнутым и изменить характер движения платформ. Предложен вариант парусной энергетической установки, в которой платформы движутся циклично в заданном интервале перемещений (6). Чтобы обеспечить такое движение, в состав установки включена система изменения положения парусов и система управления движением платформ. Была создана экспериментальная установка для проведения исследований на макетах парусных платформ. Целью исследований было проверка функционирования входящих в установку элементов и разработка методик определения их технических характеристик. Экспериментальные исследования, результаты которых изложены в статье (6), показали работоспособность входящих в неё элементов, однако некоторые из них требуют усовершенствования. Например, входящий в состав экспериментальной установки генератор воздушного потока обеспечивает равномерность распределения скоростей по горизонтали, но имеет большую неравномерность по вертикали. В ходе проведения экспериментов отработывались методики измерения параметров, определяющих эффективность её работы. При движении платформы на неё действуют три силы: аэродинамическая сила ветрового потока, действующая на паруса, сила трения колес и сила сопротивления, действующая на паруса в результате собственного движения платформы. Были разработаны методики определения величины этих сил путем нахождения скорости платформы при её движении с грузами разного веса (7). Проведено исследование по увеличению мощности установки за счет организации движения платформ по двум соседним путям, при этом использовалась система управления положением парусов через контактный рельс, моделирующая управление по сигналам GPS (9).

В процессе проведения экспериментов по определению величины действующих на платформу сил, выяснилось, что для получения точных значений, поверхность, по которой движется платформа, должна обладать рядом свойств: она должна быть ровной и строго горизонтальной. Эти условия могут быть выполнены, если платформа будет двигаться по эстакаде. Эксперименты с движением платформ по эстакаде были предусмотрены программой исследований, поскольку предполагалось, что парусные энергетические системы могут быть использованы в тех районах, в которых платформы не могут двигаться по поверхности земли в районах с сильно пересеченной местностью, неустойчивыми грунтами, например, в районах вечной мерзлоты, заболоченным, пескам и т.д. Были созданы две эстакады, на которых были проведены эксперименты по определению коэффициента эффективности преобразования энергии ветрового потока, включавшие метод измерения скоростей платформ с грузами разного веса (8). В дополнении к этому, был разработан метод прямого измерения величины силы воздействия ветрового потока на паруса платформы (9). Была также разработана система автоматического управления движением платформы через контактный

рельс, моделирующая управление движением реальных платформ (10). Задачей дальнейших исследований является поиск вариантов увеличения эффективности парусных ветроэнергетических установок. Этого можно достичь, например, за счет разработки более эффективной системы парусов, которая устанавливается на платформах. Известно, что устанавливаемые на морских судах жесткие паруса с изменяемым профилем крыла являются более эффективными по сравнению с традиционными парусами (11). Парус такого типа был установлен на сухопутных яхтах для достижения рекордных скоростей в 209 км/ час и 222 км/час (12). Последний рекорд был поставлен в декабре 2022 года чемпионом яхтенной гонки Кубок Америки 2021 года (13). В данном исследовании была поставлена задача разработать систему жестких парусов для установки на макете платформы ветроэнергетической установки наземного базирования и провести эксперименты. Для проведения таких исследований необходимо провести изменения в элементах экспериментальной установки, в частности, разработать конструкцию генератора ветрового потока, при котором установка такой системы парусов возможна. Необходимо также для такого типа парусов разработать систему изменения их положения.

### **3 Экспериментальная установка, методика проведения экспериментов**

Экспериментальная установка включала генератор ветрового потока, макет платформы, на которой была установлена система жестких парусов, систему изменения положения парусов, систему управления движением платформ и направляющие системы, установленные на двух эстакадах. Изображение генератора ветрового потока и двух эстакад представлено на Рис.1. Поверхности для движения платформы по эстакадам были выполнены из пластиковых профилей прямоугольного сечения размером 25x16 мм, расположенных на расстоянии 145 мм друг от друга и отстоящих от горизонтальной плоскости на расстоянии 160 мм. В середине каждой эстакады был расположен направляющий рельс, выполненный из пластикового профиля квадратного сечения размером 12x12 мм, на котором была нанесена разметка с интервалом 10 см. Направляющие рельсы эстакад отстояли от генератора ветрового потока на расстояниях 50 см и 70 см. Генератор ветрового потока был выполнен в виде двух рядов электрических вытяжных вентиляторов в количестве 13 и 12 штук в нижнем и верхнем ряду соответственно. Вентиляторы были расположены рядом друг с другом на рейках длиной 2 метра, разнесённых по вертикали на 8 см. Рейки крепились на двух стойках, высота которых подбиралась экспериментально таким образом, чтобы паруса оказывались в области равномерного распределения скоростей в вертикальной плоскости.



Рис. 1. Генератор ветрового потока и эстакады.

Экспериментальные исследования проводились на макете платформы из предыдущих серий экспериментов, на котором была установлена система жестких парусов. Изображение макета платформы с системой жестких парусов представлено на Рис. 2. К рамке основания платформы, выполненной в виде прямоугольника размером 22 см на 17 см крепились 4 пластмассовых колеса диаметром 40 мм. В середине платформы на высоте 30 мм от основания крепилась рейка длиной 24 см, на которой устанавливалась система жестких парусов, выполненная в виде двух вертикальных, пластиковых трубок диаметром 5 мм и высотой 30 см, отстоящих друг от друга на расстоянии 22 см, к которым крепилась прямоугольная рамка шириной 22 см и высотой 26 см, сделанная из тонкого пластикового уголка размером 6х6 мм. Нижняя сторона рамки находилась на расстоянии 10 см от поверхности, по которой двигалась платформа. В рамку, в зависимости от задачи эксперимента, вставлялся набор из 3-х, 4-х или 5 жестких полос высотой 25,5 см. В наборе из 3-х полос их ширина составляла 10 см, в наборе из 4-х полос - 8 см, а в наборе из 5 полос - 6 см. Общая площадь полос в каждом наборе составляла 768 см<sup>2</sup>, что было равно площади трех парусов, устанавливаемых на платформах в предыдущих экспериментах. Полосы вырезались из листа пенополистирола толщиной 3 мм. Полосы крепились к нижней и верхней стороне рамки так, чтобы они могли поворачиваться вокруг вертикальной оси, проходящей через середину полос. Поворот полос на заданный угол осуществлялся с помощью системы изменения положения жестких парусов, включавшей моторчик с редуктором, на оси которого была закреплена шестеренка, связанная с шестеренкой большего диаметра, закрепленной на вертикальной трубке диаметром 5 мм, в которую был вставлен горизонтальный рычаг. При вращении шестеренки моторчика, трубка с закрепленным на ней рычагом поворачивались на угол  $\pm 90^\circ$ , при этом с помощью рычага все установленные в рамку полосы также поворачивались одновременно на угол  $\pm 90^\circ$ . Это достигалось с помощью тонкой рейки, прикрепленной к нижнему углу каждой полосы подвижным



соединением. При повороте рычага на угол  $\pm 90^\circ$  рейка перемещалась вправо или влево, поворачивая все полосы одновременно на угол  $\pm 90^\circ$ .

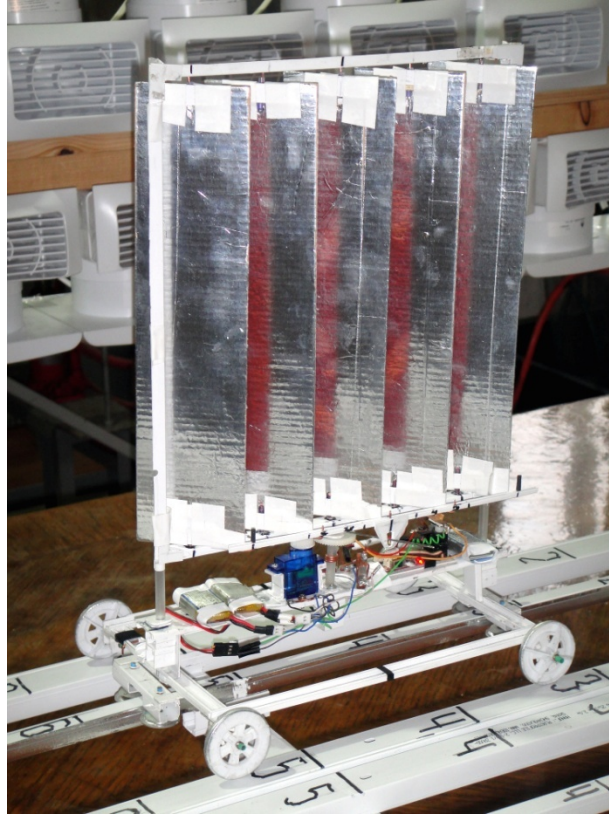


Рис. 2. Макет платформы с системой жестких парусов.

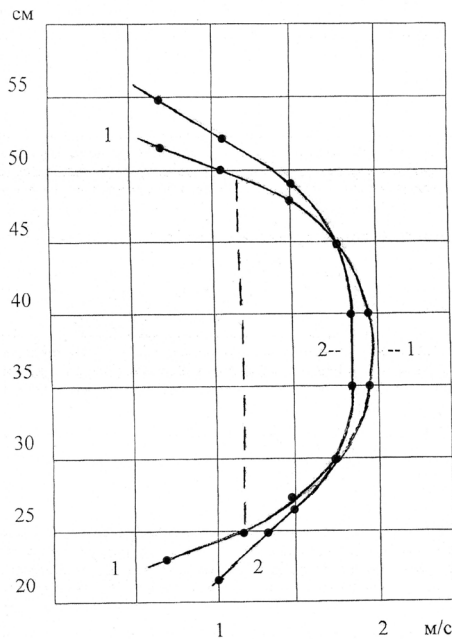
Траектория движения платформ задавалась направляющей системой, которая включала расположенный на середине эстакад направляющий рельс и 4 колеса диаметром 15 мм, закрепленных по 2 на коротких сторонах рамки основания платформы. Их оси были направлены вертикально, находились на расстоянии 32 мм и были установлены так, чтобы направляющий рельс находился между ними. При таком расположении колес платформы свободно перемещались вдоль направляющего рельса.

В состав экспериментальной установки входила система управления движением платформы, имитирующая автоматическое управление реальных платформ. Управление осуществлялось с помощью радиосигналов, которые подавались с пульта на установленный на платформе приемник, соединенный с системой изменения положения жестких парусов. По этому сигналу вставленные в рамку полоски жестких парусов меняли угловое положение.

При проведении экспериментов движение платформы снималось на видеокамеру. По полученным записям строились графики перемещения платформы в зависимости от времени, по которым определялась скорость движения платформы

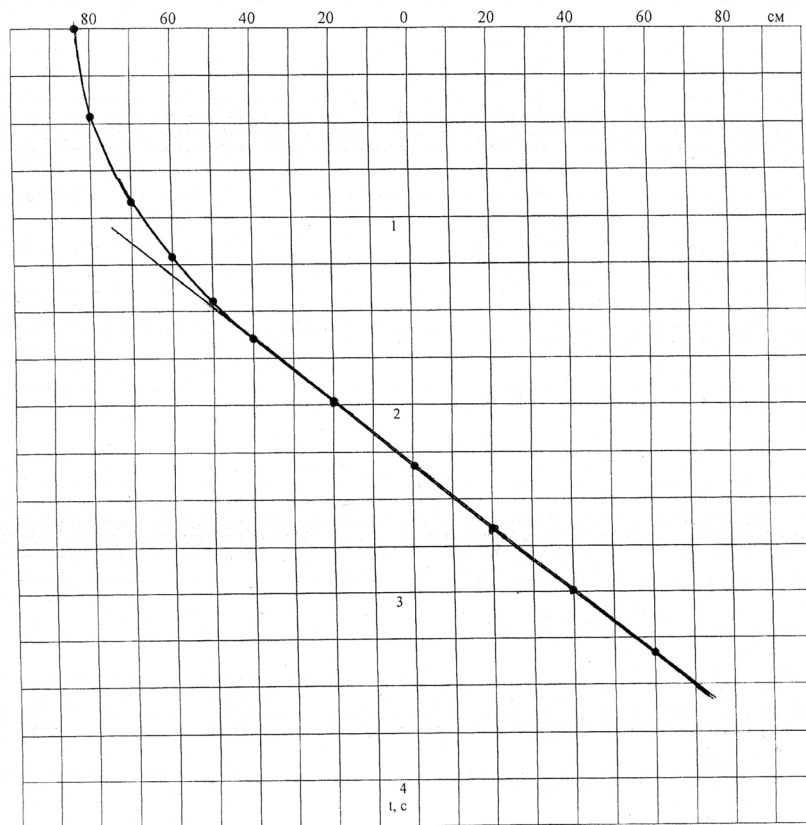
#### 4 Результаты экспериментов и обсуждение

Было проведено две серии экспериментов. Задачей первой серии экспериментов была проверка функционирования всех элементов экспериментальной установки, в том числе модернизированных. С помощью анемометра производилось измерение скоростей генератора воздушного потока (ГВП) в вертикальных плоскостях, отстоящих от него на расстоянии 50 см и 70 см. В горизонтальном направлении распределение скоростей оказалось равномерным. График распределения скоростей воздушного потока по вертикали представлено на Рис.3. Как видно из рисунка существует область с относительно равномерным распределением скоростей воздушного потока по вертикали. Высота полос в системе жестких парусов была выбрана такой, чтобы полосы находились в этой области. С этой же целью подбиралась высота стоек, на которой крепились ряды вентиляторов генератора ветрового потока.



**Рис. 3.** Распределение скоростей в вертикальных плоскостях, отстоящих от генератора ветрового потока на расстояниях 50 и 70 см. (графики на рисунке: 1 – 50 см; 2 – 70 см; пунктирная линия - положение пластин системы жестких парусов.

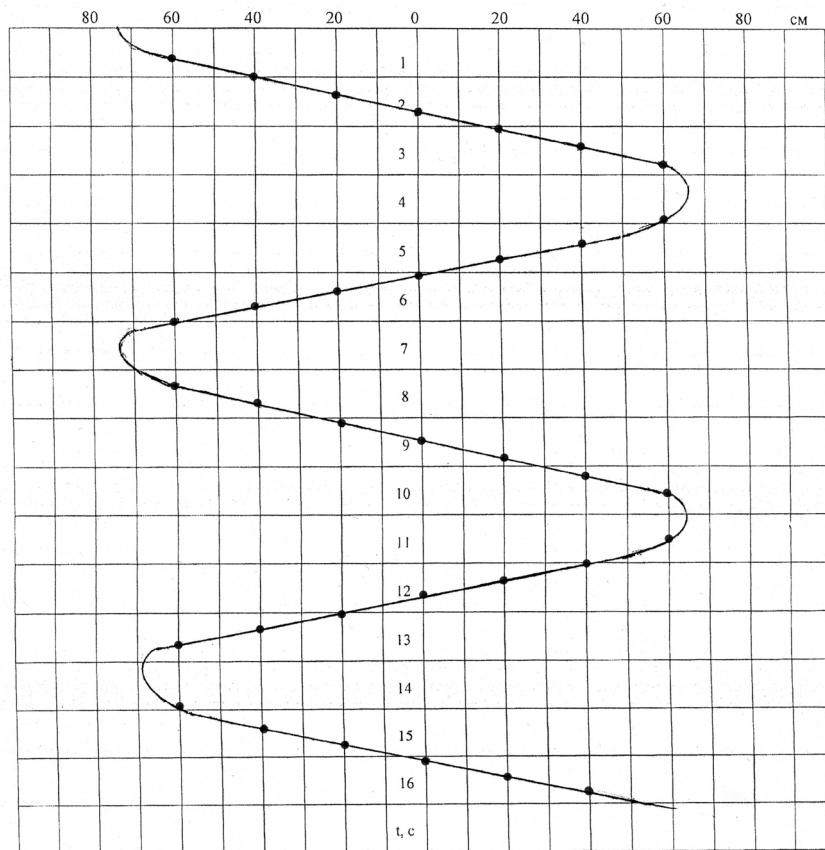
Для определения величины скорости платформы было сделано несколько пусков платформ с разным набором полос по эстакадам, отстоящим от ГВП на расстоянии 50 см и 70 см. Угол поворота пластин во всех наборах системы жестких парусов составлял  $\pm 45^\circ$  от направления ветра. На Рис.4 приведен график временной зависимости перемещений платформы с 4 полосами в зависимости от времени. Как видно из рисунка, на временном отрезке 1,4 с от начала движения скорость платформы увеличивается, а затем она начинает двигаться равномерно со скоростью  $V=61$  см/с. График строился по видеозаписям, воспроизводимым на компьютере с большой точностью определения временных параметров, что позволяло строить график перемещений платформы с большой точностью.



**Рис. 4.** График временной зависимости перемещений платформы с парусной системой из 4 полос в ручном режиме.

С целью проверки функционирования системы изменения положения жестких парусов, была проведена серия экспериментов с перемещением платформы с 4 полосами по эстакадам при управлении ее движение с помощью радиосигналов.

На Рис.5 представлен график временной зависимости перемещений платформы с парусной системой из 4 полос в режиме радиуправления. Как видно из рисунка, система изменения положения жестких парусов функционировала успешно. Полосы четко поворачивались на угол  $90^\circ$ , после чего платформа начинала двигаться в противоположную сторону. Таким образом, результаты исследований первой серии показали, что все элементы экспериментальной установки работали нормально, включая модернизированные.



**Рис. 5.** График временной зависимости перемещений платформы с парусной системой из 4 полос в режиме радиуправления.

Экспериментальным результатом, показывающим эффективность функционирования разработанной конструкции системы жестких парусов является график перемещения платформ в зависимости от времени, представленный на Рис. 5. Как видно из графика, предложенная конструкция системы жестких парусов обеспечивает высокую скорость платформ и быстрое изменение их скорости при изменении направления движения платформ.

Была проведена вторая серия экспериментов, целью которой было проверка функционирования системы жестких парусов при нагрузке, которая моделировалась изменением силы трения, действующей на платформу. Для этого на платформу устанавливали грузы разной величины: 50 г, 100 г и 150 г. Эксперименты с грузами проводились для платформы с системой жестких парусов с набором из 3 пластин, 4 пластин и 5 пластин. Исследования проводились при движении платформы по эстакадам, отстоящим от ГВП на расстоянии 50 см и 70 см. В таблицах 1А и 1Б представлены данные о величине скорости платформы с системой жестких парусов с набором из 3-х, 4-х и 5 пластин при её движении с грузами разного веса по эстакадам, отстоящим от ГВП на расстоянии 50 см и 70 см.

Таблицы 1А и 1Б. Скорости платформы с системой жестких парусов из наборов из 3-х, 4-х и 5-и пластин при её движении с грузами разного веса по эстакадам, отстоящим от ГВП на расстоянии 50 см и 70 см.

Таблица 1А.

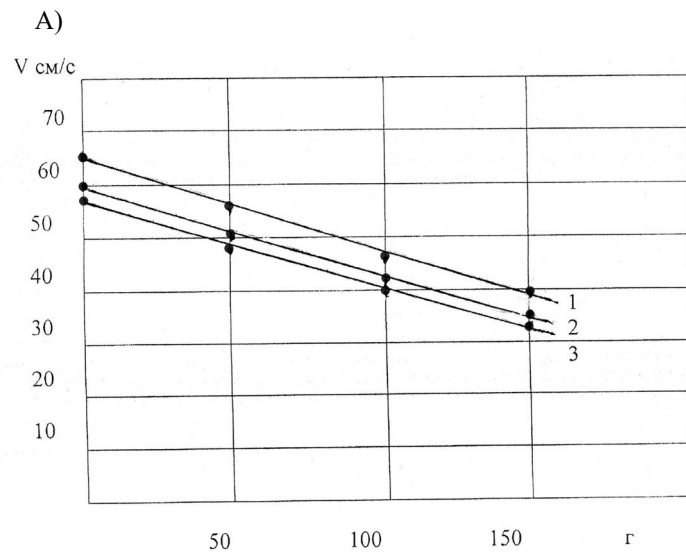
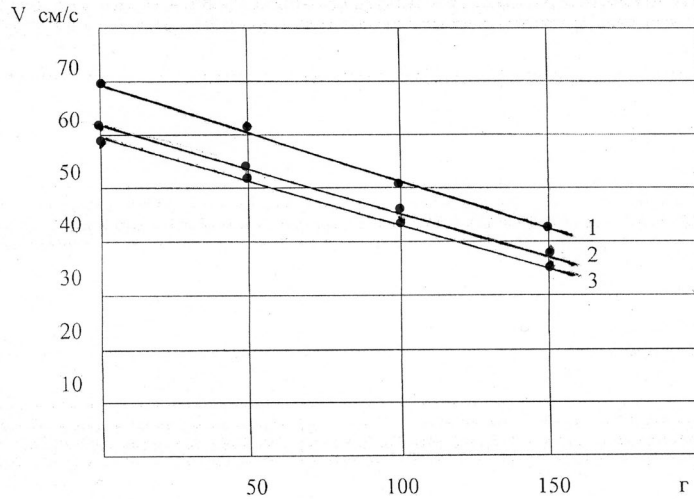
Расстояние от ГВП: 50 см	вес груза, г				
	кол-во пластин	0	50	100	150
скорости платформы см/с	3	70	61	52	42
	4	61	52	47	38
	5	58	53	45	37

\*Таблица 1Б. .

Расстояние от ГВП: 70 см	вес груза, г				
	кол-во пластин	0	50	100	150
скорости платформы см/с	3	65	55	45	40
	4	60	50	41	36
	5	57	48	40	34

Данные о величине скоростей платформы, приведенные в таблицах 1А и 1Б представлены на Рис.6 в виде графиков скоростей платформы с грузом разного веса при её движении по эстакадам, отстоящим от ГВП на расстоянии 50 см и 70 см. Как видно из таблицы и рисунка, скорости платформы с системой парусов из 3-х полос немного выше, чем при движении с системой парусов из 4-х и 5-и

полос. Скорости платформы при движении по эстакаде, отстоящей от ГВП на расстоянии 50 см несколько выше, чем скорости движения платформы по эстакаде, отстоящей от ГВП на расстоянии 70 см. Разница скоростей платформы объясняется небольшим отличием в распределении скоростей ветрового потока по вертикали при движении по этим эстакадам.



Б)

**Рис. 6.** График скоростей платформы с грузами разного веса при движении по эстакадам, отстоящим от генератора ветрового потока на расстоянии А) – 50 см и Б) – 70 см. (на графике: 1 – платформа с парусной системой из 3 полос; 1 – платформа с парусной системой из 4 полос; 1 – платформа с парусной системой из 5 полос).

Методику определения скоростей с нагрузкой, моделируемой увеличением силы трения с помощью грузов, которые устанавливаются на платформу, можно использовать для определения величины сил, действующих на платформу, как это описано в статье (10), но в данной серии экспериментов задачей было отработка методики проведения экспериментов на макете платформы с системой жестких парусов, и для этой задачи использовались плоские пластины, а не система пластин с изменяющимся профилем, что является задачей последующих серий экспериментов.

## 5 Выводы

С целью повышения эффективности ветроэнергетической установки наземного базирования разработана конструкция системы с жесткими парусами, которая была установлена на макете платформы ветроэнергетической установки. Варианты системы жестких парусов включали набор плоских пластин в количестве 3-х, 4-х и 5 экземпляров. Для проведения экспериментов с системой жестких парусов была разработана конструкция и изготовлен генератор ветрового потока, обеспечивающий достаточно равномерное распределение скоростей ветрового потока в вертикальном направлении. Для изменения направления движения платформы была разработана система изменения положения пластин для всех вариантов системы жестких парусов. С макетом платформы с системой жестких парусов проведены эксперименты по проверке функционирования всех входящих в состав экспериментальной установки систем. Эксперименты показали, что все системы экспериментальной установки работают нормально. Проведены эксперименты с движением макета платформы при управлении с помощью радиосигналов. Проведено исследование зависимости скорости макета платформы от величины нагрузки, которая моделировалась изменением величины действующей на платформу силы трения. Целью дальнейших исследований является проведение экспериментов с изменяющимся профилем жестких парусов и измерение технических характеристик эффективности ветроэнергетической установки наземного базирования с парусами данного типа.

## Литература

1. [https://www.yachtrussia.com/articles/2016/10/21/articles\\_391.html](https://www.yachtrussia.com/articles/2016/10/21/articles_391.html)
2. World Sailing – Wikipedia
3. World Sailing Organisation – Wikipedia
4. Global Wind Report 2021 <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>
5. Патент № 2125182 РФ, МПК F 03 D 5/04 / Ветроэнергетическая установка; № 96123627/06, заявл. 1996.12.16 / Цыбульников С.И. - заявитель и правообладатель.
6. Чекарев К.В., Залиханов А.М. Парусная энергетическая установка наземного базирования// Окружающая среда и энерговедение: №2 (14), 2022. С.77-90. <http://jeees/ru/category/journal/2022-2/>

7. Чекарев К. В., Залиханов А.М. Парусная энергетическая установка наземного базирования: определение величины сил, действующих на платформу // Окружающая среда и энерговедение: № 3 (15), 2022, сс. 67-79. <http://jeees.ru/category/journal/2022-3/>
8. Чекарев К.В., Залиханов А.М. Парусная энергетическая установка наземного базирования: определение коэффициента мощности//Окружающая среда и энерговедение // №1 (17), 2023, сс. 78-89. <http://jeees.ru/category/journal/2023-1/>
9. Чекарев К.В., Залиханов А.М. Парусная энергетическая установка наземного базирования: метод прямого измерения сил, действующих на платформу // Окружающая среда и энерговедение // №2 (18), 2023, сс. 49-61. <http://jeees.ru/category/journal/2023-2/>
10. Чекарев К.В., Залиханов А.М. Парусная энергетическая установка наземного базирования с автоматическим изменением направления движения//Окружающая среда и энерговедение// №4 (20), 2023. сс. 48-59. <http://jeees.ru/category/journal/2023-4/>
11. Wingsail – Wikipedia
12. Landsailing – Wikipedia
13. <http://motor.ru/news/hprpnuku-12-12-2022.htm>

## References

1. [https://www.yachtrussia.com/articles/2016/10/21/articles\\_391.html](https://www.yachtrussia.com/articles/2016/10/21/articles_391.html)
2. World Sailing – Wikipedia
3. World Sailing Organisation – Wikipedia
4. Global Wind Report 2021 <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>
5. Patent RU 2125182 C1 / F 03 D 5/04 / Wind-electric Power Plant /Application: # 96123627/06, 16.12.1996 / Tsybul'nikov S.I. - inventor and proprietor //
6. Chekarev K.V., Zalikhonov A.M. Parusnaya energeticheskaya ustanovka nazemnogo bazirovaniya // Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №2 (14), 2022. pp.77-90. <http://jeees.ru/category/journal/2022-2/>
7. Chekarev K.V., Zalikhonov A.M. Parusnaya energeticheskaya ustanovka nazemnogo bazirovaniya: nakhojdenie velichiny sil, deistvuiuschih na platformu // Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №3 (15), 2022. pp.67-79. <http://jeees.ru/category/journal/2022-3/>
8. Chekarev K.V., Zalikhonov A.M. Parusnaya energeticheskaya ustanovka nazemnogo bazirovaniya: opredelenie koeffitshienta effektivnosti. // Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №1 (17), 2023. S.78-89. <http://jeees.ru/category/journal/2023-1/>
9. Chekarev K.V., Zalikhonov A.M. Parusnaya energeticheskaya ustanovka nazemnogo bazirovaniya: metod priamogo izmereniya sil, deistvuiuschih na na platformu. // Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №2 (18), 2023, pp. 49-61. <http://jeees.ru/category/journal/2023-2/>
10. Chekarev K.V., Zalikhonov A.M. Parusnaya energeticheskaya ustanovka nazemnogo bazirovaniya s avtomaticheskim izmeneniem napravleniya dvizheniya.// Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №4 (20), 2023. pp. 48-59. <http://jeees.ru/category/journal/2023-4/>
11. Wingsail – Wikipedia
12. Landsailing – Wikipedia
13. <http://motor.ru/news/hprpnuku-12-12-2022.htm>



## Land-Based Wind Power Plant With Rigid Sails

<sup>1,2</sup>Konstantin Chekarev, <sup>1,3</sup>Alim Zalikhanov

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: <sup>2</sup>konstantintchekarev@yandex.ru,  
<sup>3</sup>bulungu@yandex.ru

**Abstract.** Modern high-power wind power plants that convert kinetic wind energy into electricity have huge dimensions due to the low air density. This leads to the need to build large structures when using wind wheels with a horizontal axis of rotation in traditional wind turbines. A variant of a land-based sailing power plant is proposed, in which the problem associated with the large size of wind energy converters is eliminated. An experimental installation was developed and created to conduct research on mock-ups of platforms with sails mounted on them. In order to increase the efficiency of wind flow conversion, a rigid sail system was developed, which was installed on the layout of the platform. To conduct research with such a system of sails, the design of a number of systems of the experimental installation was changed: a wind flow generator was developed and created, providing the necessary distribution of speeds in the vertical plane, a system for changing the position of rigid sails was created. Experimental studies have shown the operability of all systems included in the experimental installation. Experiments were conducted to determine the speed of the platform during its movement with variants of the developed system of rigid sails. The research results are presented in this article.

**Keywords:** wind power, renewable energy sources, wind power plant, sail power plant, rigid sails.