



2023
№1(17)

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)

2023 №1(17)

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

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

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

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

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

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



Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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).

Тикунев 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 энерговедение. 2023 №1(17)

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 20.04.2023.

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 энерговедение», 2020

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

Содержание

В.А. Бутузov

**Результаты развития возобновляемой энергетики России и
Казахстана в 2022 году..... 4**

В.В. Бушуев, Д.А. Соловьёв

Новая стадия глобализма и социо-природные циклы15

О.А. Синюгин, К.С. Дегтярев

**Зональные факторы развития возобновляемой энергетики на
примере Западной Европы.....28**

В.М. Фёдоров, А.М. Залиханов, Д.М. Фролов

**Инсоляционная контрастность как фактор изменения
глобального климата Земли44**

Д. М. Фролов, С.А. Сократов, А.В. Кошурников, В.Е. Гагарин

**Исследование пространственно-временной неоднородности
снежной толщи на площадке Метеорологической
обсерватории МГУ зимой 2022/23 года67**

К.В. Чекарев, А.М. Залиханов

**Парусная энергетическая установка наземного базирования:
определение коэффициента мощности78**

Content

V.A. Butuzov

**Results of Renewable Energy Development in Russia and
Kazakhstan in 2022..... 4**

V.V. Bushuev, D.A. Soloviev

The New Stage of Globalism and Socio-Natural Cycles.....15

O.A. Sinyugin, K.S. Degtyarev

**Zonal Drivers of Renewable Energy on the Example of Western
Europe28**

V.M. Fedorov, A.M. Zalikhanov, D.M. Frolov

Insolation Contrast as a Driver of Global Climate Change44

D.M. Frolov, S.A. Sokratov, A.V. Koshurnikov, V.E. Gagarin

**Investigation of the Spatio-Temporal Heterogeneity of the Snow
Thickness at the Site of the Lomonosov MSU in the Winter of
2022/2367**

K.V. Chekarev, A.M. Zalikhanov

**Land-based Sailing Power Plant: Determination of the Efficiency
Coefficient.....78**

Результаты развития возобновляемой энергетики России и Казахстана в 2022 году

Бутузов Виталий Анатольевич ^[0000-0003-2347-9715]

ФГБОУ Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г.
Краснодар, Россия

E-mail: ets@nextmail.ru

Аннотация. Из постсоветских стран активное развитие возобновляемой энергетики (ВЭ) осуществляется в России и в Казахстане. Приведены значения установленных мощностей электрогенерации в 2022г. на основе ВИЭ: России по данным системного оператора ЕЭС РФ, экспертных оценок; в Казахстане по данным Минэнерго РК. Анализируются особенности госрегулирования рынка ВЭ указанных государств в проведении аукционов, функционирования госоператоров, формирования «зеленых» тарифов, налоговых и прочих преференций. Отмечены особенности локализации производства оборудования СЭС и ВЭС в России, многоступенчатая структура «зеленых» тарифов Казахстана. Приведены основные национальные законы, оценки потенциалов ВЭ, результаты подготовки научных, инженерных кадров, работы ведущих научных и проектных организаций.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика (ВЭ), ВЭС, СЭС, МГЭС, ГеоЭС, БиоЭС, ВИЭ, аукционы, «зеленые» тарифы, инвесторы.

1 Введение

В развитии возобновляемой энергетики (ВЭ) значительных успехов достигли Россия и Казахстан. Согласно [1] при общей установленной мощности электрогенерации в 2022г. 247,6 ГВт в России преобладали мощные ГЭС – 51,0 ГВт, ВЭС имели установленную мощность – 2,30 ГВт; СЭС – 2,11 ГВт; МГЭС – 1,22 ГВт; ГеоЭС – 0,074 ГВт. В 2021 году суммарная выработка электроэнергии в России достигла 1114,5 ТВт·ч/год, в том числе ГЭС – 209,52 ТВт·ч/год; СЭС – 2,25 ТВт·ч/год; ВЭС – 1,88 ТВт·ч/год. В Казахстане в 2022 г. при общей установленной мощности всей энергетики 24 ГВт, мощность больших ГЭС составила 2,8 ГВт, а с малой гидрогенерацией 3,08 ГВт, в том числе СЭС – 1,15 ГВт; ВЭС – 0,96 ГВт; МГЭС – 0,28 ГВт; БиоЭС – 0,0018

ГВт. Выработка электроэнергии на СЭС и ВЭС составляла 4,17 ТВт·ч/год [2]. На рис.1 представлена диаграмма установленных мощностей ВЭ России и Казахстана.

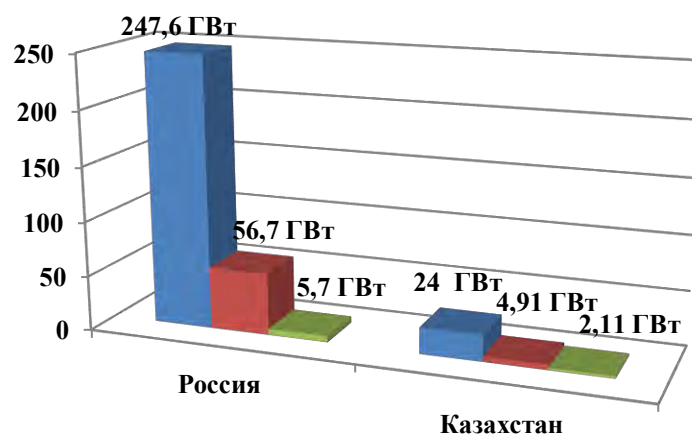


Рис. 1. Установленные мощности суммарной и возобновляемой электроэнергии России и Казахстана (синий – общие электротехнические мощности, красный – общие мощности возобновляемой энергетики, зелёный – мощности возобновляемой энергетики без больших ГЭС)

В основе развития ВЭ в каждом из государств – национальные законы, деятельность специализированных организаций – операторов рынка ВЭ, «зеленые» тарифы. В этих странах в основном сооружают системные электростанции на ВИЭ, работающие в объединенных энергосистемах. При их строительстве применяется оборудование европейских и китайских производителей. В России действовали требования локализации изготовления оборудования СЭС и ВЭС (до 70%).

2 Возобновляемая энергетика России

Рынок возобновляемой энергетики России формировался с 2007 года внесением изменений в закон №35-ФЗ от 26.03.2003 г. «Об электроэнергетике». В основе оптового рынка – реализация планов «ДПМ – ВИЭ». Распоряжением Правительства РФ №1446-Р от 21.06.2021 г. утвержден новый план «ДПМ – ВИЭ – 2.0» до 2035 г. со строительством ветровой, солнечной, малой гидроэнергетики суммарной установленной мощностью до 12 ГВт. Постановлением Правительства РФ № 2486 от 25.12.2021г. уточнены требования к квалифицированным объектам, по корректировке размеров неустойки, в определение цены мощности электрогенерации ВИЭ. Распоряжением Правительства РФ №2765-Р от 01.10.2021 г. о федеральном проекте «Чистая

энергетика» предусмотрены ежегодные конкурсы проектов ВИЭ и создание отечественной системы сертификации электроэнергии на ВИЭ, а Распоряжением Правительства №3052-Р от 29.10.2021 г. по декарбонизации предусмотрено развитие технологий генерации энергии на ВИЭ. Расширение использования солнечной электрогенерации на объектах транспортной инфраструктуры регламентирует Распоряжение Правительства РФ №3363-Р от 27.11.2021 г. Розничный рынок электроэнергии ВЭ организован в соответствии с Постановлением Правительства №1298 от 29.08.2020 г. Отбор проектов производится согласно схем и программ развития электроэнергетики регионов (СИПР) при плановой стоимости 1 МВт.ч. В 2021 г. Минэнерго РФ велась работа по модернизации неэффективных электростанций в 23 регионах страны с установкой ВЭ общей установленной мощностью 791 МВт. В 2021г. Постановлением Правительства РФ №299 от 02.03.2021г. уточнен механизм реализации закона №471-ФЗ от 27.12.2019 г. об установке объектов микрогенерации у частных и юридических лиц с возможностью продажи излишков электроэнергии в электросети. Распоряжением Правительства РФ от 24.03.2022 №594-Р Минэнерго РФ поручено с 1.03.2023г. предоставлять правительству следующую информацию по электрогенерации на основе ВИЭ: анализ цен на оптовом и розничном рынках; ввод в эксплуатацию новых электростанций; установленные мощности генераций, отобранных на конкурсных торгах.

Наблюдательный совет Ассоциации «НПП Совет рынка» в 2021 г. приступил к разработке системы добровольного использования в России различных видов «зеленых» инструментов для подтверждения объемов вырабатываемой возобновляемой энергии взамен свободных двусторонних договоров (СДД) и сертификатов международной системы i-REC. В 2021 г. объем реализованной возобновляемой энергии составил 462,5 ГВт·ч/год, что составило 9% от объема выработки ВЭ по ДПМ на 01.01.2022 г. СДД ВИЭ с 2019 года заключены в объеме 622,3 ГВт.ч. Всего сертификатов i-REC номиналом 1 МВт.ч за 2021г. выпущено на 962 ГВт.ч.

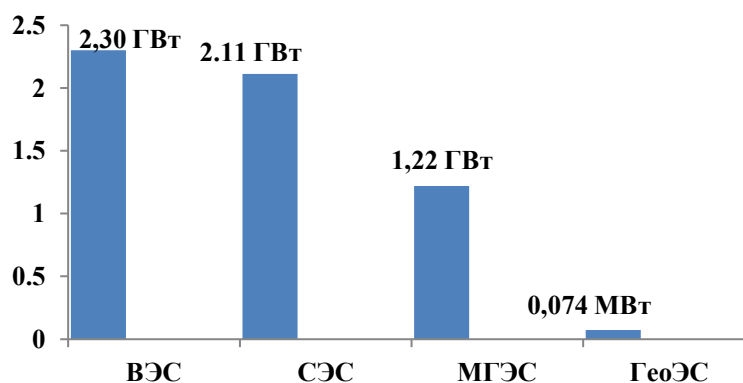


Рис. 2. Установленные мощности электрогенерации России на основе ВИЭ в 2022 г., ГВт

Ветроэнергетика России в основном представлена сетевыми ВЭС, работающими в объединенной энергосистеме страны. Суммарная установленная мощность ВЭС РФ в 2022 г. составляла 2300 МВт. Ветро дизельные станции (ВДС) мощностью до 50 кВт каждая работали в

основном в изолированных энергосистемах Камчатки и Крайнего Севера. Наибольшее число ВЭС общей мощностью 1071 МВт с редукторной схемой ВЭУ датской фирмы «Vestas», построил Фонд развития ветроэнергетики (ФРВ), ФРВ производил гондолы в Нижнем Новгороде, лопасти в Ульяновске, башни в Таганроге. На втором месте среди инвесторов АО «НовоВинд» с безредукторной конструкцией ВЭУ датской фирмы «Lageway», учрежденное ГК «Росатом», АО «НовоВинд» в 2022 г. производило генераторы, гондолы, ступицы, обтекатели, башни на заводах в г. Волгодонске. Партнерство ПАО «ЭНЕЛ-РУС» и фирмы «Сименс-Гамеса» с редукторной схемой ВЭС фирмы «Сименс-Гамеса» в 2021 г. имело сборочное производство в Санкт-Петербурге.

В 2021 г. в России были введены в эксплуатацию 13 ВЭС общей установленной мощностью 1009 МВт, в том числе в Ставропольском крае четыре: Кочубеевская (80 МВт), Кармалинская (60 МВт), Бондаревская (120 МВт), Медвежинская (60 МВт). В Ростовской области – три ВЭС: Азовская (90 МВт), Марченковская (120 МВт), III очередь Казачьей (50 МВт). В Волгоградской области – Котовская ВЭС (88 МВт). В Астраханской области 5 ВЭС: Излучная (88 МВт), Старицкая (50 МВт), Манланская (76 МВт), Холмская (88 МВт), Черноярская (38 МВт). По данным Российской ассоциации ветроиндустрии (РАВИ) в 2021 г. заработали 368 новых ВЭУ. Больше всех ВЭС ввело в эксплуатацию АО «НовоВинд» – 570 МВт, немногим меньше ПАО «Фортум» – 479 МВт. В апреле 2022г. ветропарками АО «НовоВинд» выработано со дня основания 2 млрд. кВт·ч электрической энергии.

Солнечная энергетика России состоит в основном из сетевых фотоэлектрических СЭС общей установленной мощностью 2110 МВт. Наиболее крупным инвестором сооружения СЭС является ГК «Хевел» (ООО «Авелар Солар Технолоджи») с производством фотоэлектрических модулей (ФЭМ) в г. Новочебоксарске в Чувашии. Второе по объемам сооружения СЭС – ООО «Солар Системс» имеет производство ФЭМ в г. Подольске Московской области. В 2021 г. были введены в эксплуатацию сетевые СЭС общей мощностью 203 МВт, в том числе в Волгоградской области: Нефтезаводская (20 МВт), в Калмыкии Элистинская, I-V очереди (78 МВт), в Оренбургской области: Новопереволоцкая (15 МВт), Светлинская ПК – 2 (25 МВт), в Омской области Русско – Полянская (30 МВт), в Забайкальском крае Читинская, I этап (20 МВт), а в первом полугодии 2022г. – 138 МВт. Большинство этих СЭС было построено ООО «Солар Системс». На розничном рынке в 2021 г. в Дагестане была введена в эксплуатацию Наурская СЭС мощностью 5 МВт. Установленная мощность солнечного теплоснабжения России оценивалась в 70 МВт. Самая большая

гелиоустановка площадью 4420 м² была построена в г. Нариманов Астраханской области. Производством солнечных коллекторов, монтажом гелиоустановок в основном занимается ООО «Новый Полюс» (г. Москва).

Малая гидроэнергетика России в 2022 г. имела суммарную установленную мощность 1220 МВт. В этом году были введены в эксплуатацию Красногорские №1 и №2 МГЭС в Карачаево-Черкессии, Псыгансу в Кабардино-Балкарии, Башенная в Чечне суммарной установленной мощностью 70 МВт. Основными инвесторами строительства МГЭС были: ПАО «РусГидро», АО «НордГидро»; ООО «Южэнергострой». Проектированием и строительством МГЭС мощностью от 10 кВт до 6 МВт также занималось АО «ИНСЭТ» (г. Санкт-Петербург).

Геотермальная энергетика России в 2022г. имела три эксплуатируемых ГеоЭС на Камчатке (Паужетская, Верхне-Мутновская, Мутновская) общей установленной мощностью 74 МВт с годовой выработкой электроэнергии 0,422 ТВт·ч/год [3]. В стране эксплуатировались три пароводяных и 26 водяных месторождений, на которых работали 161 геотермальная скважина. Добыча геотермального пара в 2021 составила 13 млн.т., а геотермальной воды – 25,7 млн.м³. Геотермальное теплоснабжение в 2021г. имело установленную мощность 110 МВт с выработкой тепловой энергии 0,28 ТВт·ч/год. Геотермальные ресурсы в России исследуются в основном Институтом вулканологии и сейсмологии Дальневосточного научного центра РАН в Петропавловске-Камчатском и Институтом проблем геотермии и возобновляемой энергетики ОИВТ РАН в Махачкале. Добычу пароводяной смеси и геотермальной воды на Камчатке ведет АО «Тепло Земли» (г. Петропавловск-Камчатский), в Дагестане – ООО «Геоэкопром» (г. Махачкала), в Краснодарском, Ставропольском краях и в Адыгее – АО «Нефтегазгеотерм» (п. Мостовской Краснодарский край). Эксплуатацию ГеоЭС осуществляет филиал «Возобновляемая энергетика» ПАО «Камчатскэнерго», геотермального теплоснабжения на Камчатке – АО «Тепло Земли», в Дагестане – ООО «Геоэкопром».

Биоэнергетика России, согласно отчету международного агентства IRENA, в 2022 г. имела установленную мощность 1373 МВт [3]. Достоверная статистика по электрогенерации на основе биомассы, биогаза, свалочного газа в 2021 г. отсутствовала. На рис.3 представлены диаграммы выработки тепловой энергии на биомассе (дрова и древесные отходы, брикеты, пеллеты) и геотермальной энергии по данным [4]. Суммарная выработка тепловой энергии при сжигании биомассы в 2022 г. составила 29836 ГВт·ч; в том числе на дровах и древесных отходах 29000 ГВт·ч, брикетах 748 ГВт·ч, пеллетах 88 ГВт·ч. Самая мощная в России котельная (96 МВт) на древесных отходах работала в пос. Ветлужский Костромской области, а на пеллетах в пос. Катунино Архангельской области (20 МВт). Наибольшее число котельных на дровах и древесных отходах эксплуатировалось в Архангельской области общей мощностью 1110 МВт, что составляло 37% от установленной мощности всех котельных региона. Максимальная установленная мощность отдельных БиоЭС составляла 6 МВт (мини-ТЭЦ «Белый ручей» в Вологодской области, мини-ТЭЦ в г.г. Морозовск,

Миллерово Ростовской области). В России налажено серийное производство паровых и водогрейных котлов на дровах, древесных отходах, брикетах, пеллетах.

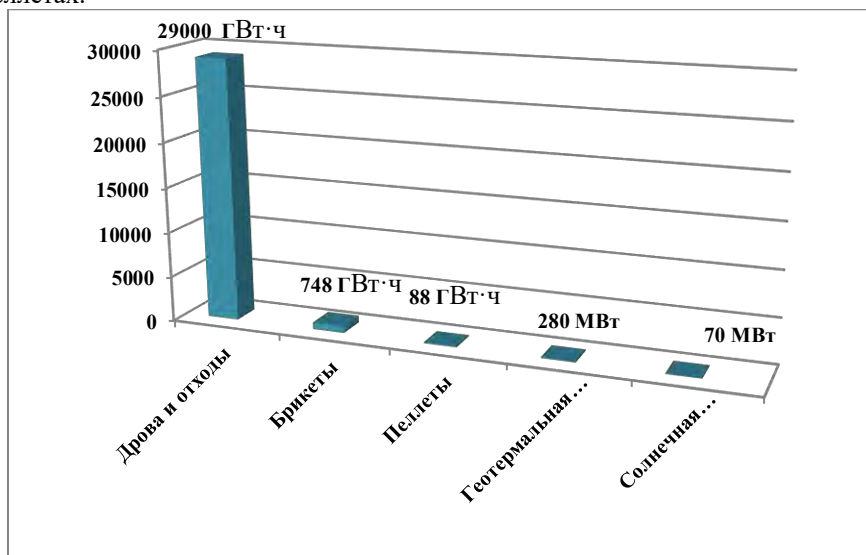


Рис. 3. Выработка тепловой энергии на основе ВИЭ и мощность тепловых установок (геотермальной и солнечной энергетики) России в 2022 г.

Научные исследования по ВЭ в основном выполняют Объединённый институт высоких температур (ОИВТ) РАН в Москве (солнечная, водородная и биоэнергетика) и его филиал – Институт геотермальной и возобновляемой энергетики в Махачкале. Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ» (бывший ВИЭСХ) в Москве специализируется на биоэнергетике. Научными разработками в области ВИЭ в 2022г. занимались также 8 вузов, ведущих подготовку специалистов по ВЭ: НИУ «МЭИ» (Москва), МГУ (Москва), СПбПУ (Санкт-Петербург), УРФУ (Екатеринбург), ЮУрГУ (Челябинск), СевГУ (Севастополь), Симферопольский ФУ, КубГАУ (Краснодар). В 2021 г. вузами России по всем специальностям ВЭ было подготовлено 119 бакалавров и 97 магистров, а в семи аспирантурах учились 79 человек [5].

3 Возобновляемая энергетика Казахстана

Суммарная установленная мощность 130 электростанций на основе ВИЭ Казахстана в 2022г. составляла 2400 МВт при годовой выработке электрической энергии 5111 млн кВт·ч. 44 системных СЭС при установленной мощности 1148 МВт в том же году выработали 1763 млн кВт·ч/год, а 46 системных ВЭС соответственно 958 МВт и 2411 млн.кВт·ч /год. 37 малых ГЭС имели установленную мощность 280 МВт с выработкой 934 млн. кВт·ч/год.

Общая мощность трех БиоЭС составляла 1,77 МВт. Доля выработки электростанций на ВИЭ в 2022г. достигла 4,53% от общей выработки электроэнергии в стране [2]. На рис. 4 представлены указанные выше значения по видам электрогенерации.

Ресурсная база электрогенерации на ВИЭ представлена в отчете USAiD (Агентство по международному развитию США), ветровой энергии в Атласе 2009г., солнечной – в Атласе, разработанном казахстанскими специалистами.

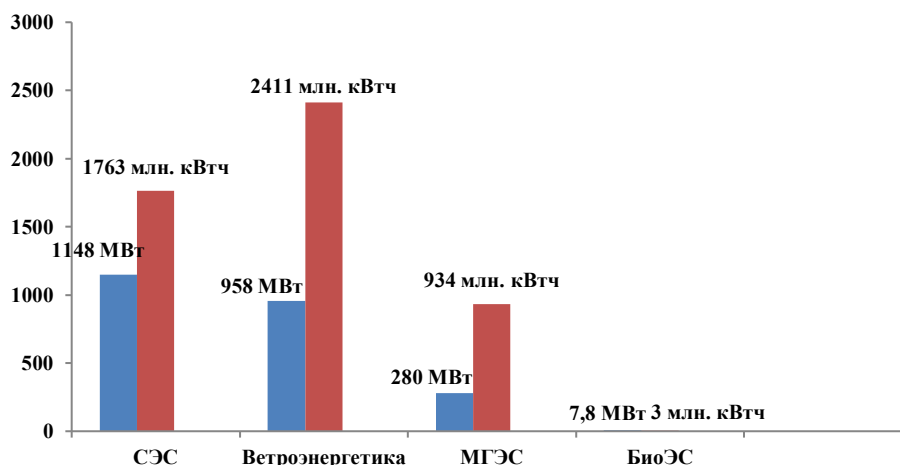


Рис. 4. Установленные мощности и выработка электрической энергии на основе ВИЭ Казахстана в 2022 г.

Госрегулирование ВЭ в Казахстане осуществляется в соответствии с законом №165-IV от 04.07.2004г. «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» и Концепцией перехода республики Казахстан к «зеленой» энергетике от 30.05.2013г [6]. Основные принципы госрегулирования: гарантированный сбыт электроэнергии по специальным тарифам и обеспечение налоговых льгот. Структурой госрегулирования являлось ТОО «Расчетный финансовый центр возобновляемой энергетики» (РФЦ). У генераторов ВЭ электроэнергия приобреталась ТОО «РФЦ» по аукционным ценам. Оптовые энергоснабжающие организации закупали у него электроэнергию по установленному государством тарифу поддержки ВИЭ, и реализовали по так называемому «предельному тарифу со сквозной надбавкой на ВИЭ». На аукционных торгах 2022г. при общей заявленной мощности электрогенерации на ВИЭ 440 МВт, было отобрано 15 проектов, в том числе, ВЭС – 400 МВт, СЭС – 40 МВт. В 2022г. были введены в эксплуатацию 12 объектов ВИЭ суммарной мощностью 385 МВт. Налоговые льготы состояли из пониженных НДС, земельного и подоходного налогов. Инвестиционные льготы достигали 30% сметной стоимости. Государственные натурные гранты включали земельные участки и здания. Для домашних хозяйств, не подключенных к электросетям,

при мощности до 5 кВт практиковался возврат государством до 50% инвестиций в ВЭ [3].

Подготовку специалистов по ВИЭ (бакалавров, магистров, инженеров) вели три учебных заведения Алматинский университет энергетики и связи (бакалавры); Казахстано-немецкий университет в г. Алматы (бакалавры, магистры); Рудненский индустриальный институт (инженеры).

Солнечная энергетика Казахстана применяет в основном ФЭМ китайских и российских производителей. В республике создан комплекс производства ФЭМ от выплавки кварца (до 3260 т./год) на ТОО «KazSilicon» в Алматинской области; производству модулей до 60 МВт/год (ТОО «KazPV», г. Усть-Каменогорск), солнечных коллекторов до 50 МВт (г. Нур-Султан). В 2021 г. была осуществлена приватизация данного комплекса. Крупнейшие СЭС в 2021 г. Имели мощности по 100 МВт. Их проектирование выполняли алматинские институты АО «КазНИПИИЭС «Энергия», ТОО «Институт Казсельэнергопроект». Монтаж СЭС в основном вели зарубежные фирмы, а эксплуатацию обеспечивали небольшие частные компании, самая крупная из которых АО «Самрук – Энерго» владела тремя СЭС. Солнечное теплоснабжение в республике Казахстан обеспечивается в основном термосифонными гелиоустановками горячего водоснабжения (ГВС) многоквартирных жилых домов с солнечными коллекторами в большинстве своем китайских производителей. Централизованные гелиоустановки ГВС работали на котельной в Алматы (260 м²), в Доме ребенка в г. Кызылорда (72 м²).

Ветроэнергетика Республики Казахстан состояла из системных ВЭС, самая крупная из которых – Жанатальская мощностью 100 МВт. Оборудование ВЭС – зарубежных производителей. Проектирование ведется теми же институтами, что и СЭС. Строительство ВЭС осуществляется зарубежными организациями, а их эксплуатация – небольшими частными организациями, самая крупная из которых «Самрук – Энерго» владеет двумя ВЭС.

В Казахстане к малой энергетике относят МГЭС единичной мощностью до 35 МВт. В 2022г. в стране работали 37 МГЭС общей установленной мощностью 280 МВт с годовой выработкой электроэнергии 934 млн. кВт·ч/год. МГЭС проектировались алматинскими институтами ТОО «Институт Казсельэнергопроект», ТОО «Казгидро», АО «КазНИИЭнергетики». Оборудование МГЭС в Республике Казахстан не производится.

Региональными лидерами ВЭ республики Казахстан являются Жамбылская область – 260 МВт; Алматинская область – 243 МВт и Карагандинская область – 201 МВт. Комплекс ВЭ работал в г. Шымкенте: СЭС «Айкель» – 20 МВт, СЭС городского водозабора – 200 кВт, МГЭС сбросного канала канализационных очистных сооружений (КОС) – 2 МВт, БиоЭС КОС– 400 кВт.

4 Национальные особенности развития возобновляемой энергетики

В России и в Казахстане рынок ВЭ создан на основе западноевропейского опыта, источник финансирования ВЭ в этих странах – тарифы на электроэнергию и в конечном итоге средства населения. В каждой стране работали госоператоры оптового рынка ВЭ, которые обеспечивают доступ производителей электрогенерации на ВИЭ в электрические сети, проводят аукционы инвесторов, осуществляют оплату произведенной электроэнергии. Законодательство стран регламентирует требования к инвесторам и обязанности госоператоров ВЭ. В России оптовый и розничный рынки ВЭ разделены, однако решение о сооружении электрогенерации на ВИЭ принимается только по согласованию с региональными руководителями и электросетями в объеме компенсации определенного процента потерь в электросетях. Особенностью российских требований к инвесторам является локализация производства оборудования (до 60 – 70%). Анализ открытой информации результатов эксплуатации российских сетевых СЭС и ВЭС показал, что сроки их окупаемости в 2021 г. были от 2 – 3 лет. В 2022 г. ФЭМ производились ГК «Хевел» и ООО «Солар Системс», имевшими свои заводы в России. Эти заводы не обеспечивали полного технологического цикла производства и зависели от поставщиков Китая. Оборудование для ВЭУ в России производилось на шести заводах.

Отличием казахстанской модели управления ВЭ является четырехступенчатая система формирования тарифов от производителей ВИЭ, госоператора ВЭ, оптовых энергоснабжающих организаций и конечных потребителей. В требованиях к инвесторам ВЭ отсутствуют условия локализации производства оборудования. Сооружение СЭС и ВЭС ведется в основном зарубежными фирмами. Малая гидроэнергетика Казахстана была создана преимущественно в советское время.

В России в области ВЭ в 2022 г. работали в основном национальные научные организации: ОИВТ РАН с филиалом – Институтом геотермальной и возобновляемой энергии в Махачкале; учреждение РАН «ВИМ» и восемь вузов с соответствующими кафедрами и научно-образовательными центрами.

5 Выводы

1. В России и в Казахстане государственная поддержка развития ВЭ началась с 2003 – 2004 г.г. с использованием европейского опыта. В 2022 г. значительных успехов по установленной мощности электрогенерации на основе ВИЭ достигла Россия – 5,7 ГВт, на втором месте Казахстан – 2,11 ГВт. Выработка электроэнергии СЭС и ВЭС России в 2021г. составила 4,13 ТВт·ч/год, а Казахстана – 3,42 ТВт·ч/год. Данные по выработке тепловой энергии на основе ВИЭ имелись только для РФ – 29836 ГВт·ч/год.

2. Отличием государственной системы управления развитием ВЭ России является требование по локализации производства оборудования. В результате в стране в 2022г. работали два завода по фотоэнергетике и шесть заводов по производству оборудования ветроэнергетики. Система формирования тарифов на ВЭ в Казахстане в отличие от России имела четыре ступени на пути от генератора ВИЭ до конечного потребителя.

3. В структуре электрогенерации на основе ВИЭ Казахстана на первом месте солнечная энергетика, а в России – ветроэнергетика.

4. Солнечная энергетика двух стран в своей основе имеет системные СЭС. В России установленная мощность системных СЭС в 2022г. составила 2,11 ГВт, а в Казахстане 1,148 ГВт. Производство оборудования фотоэнергетики было организовано на двух российских заводах.

5. В развитии ветроэнергетики по установленной мощности лидирует Россия – 2,3 ГВт, на втором месте Казахстан – 0,958 ГВт. При этом в России работали шесть заводов по производству оборудования ВЭУ.

Литература

1. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году (на основе оперативных данных). Системный оператор Единой Энергетической системы. www.so.ets.ru.
2. Министерство энергетики Республики Казахстан. Развитие возобновляемых источников энергии. www.gov.kz.
3. Бутузов В.А., Томаров Г.В., Алхасов А.Б., Алиев Р.М., Бадавов Г.Б. Геотермальная энергетика России: ресурсная база, электроэнергетика, теплоснабжение (обзор)//Теплоэнергетика. 2022. №1. с.3-17.
4. Бутузов В.А. Результаты развития возобновляемой энергетики в России в 2020-2021 г.г.// Энергетик. 2022. №7. с.23-28.
5. Бутузов В.А. Возобновляемая энергетика России: образование и подготовка кадров//Энергетик. 2022. №8. с.33-42.
6. ТОО «Расчетно-финансовый центр по поддержке ВИЭ». www.rfc.Kegoc.kz

References

1. Otchet o funkcionirovanii EES Rossii v 2022godu (na osnove operativnykh dannyx). Sistemnyj operator Edinoj Energeticheskoy sistemy. www.so.ets.ru.
2. Ministerstvo energetiki Respubliki Kazaxstan. Razvitie vozobnovlyaemykh istochnikov energii. www.gov.kz.
3. Butuzov V.A. Tomarov G.V. Alxasov A.B. Aliev R.M. Badavov G.B. Geotermalnaya energetika Rossii resursnaya baza elektroenergetika teplosnabzhenie (ob-zor)Teploenergetika. 2022. 1. s.3-17.
4. Butuzov V.A. Rezultaty razvitiya vozobnovlyaemoj energetiki v Rossii v 2020-2021 g.g. Energetik. 2022. 7. s.23-28.
5. Butuzov V.A. Vozobnovlyaemaya energetika Rossii obrazovanie i podgotovka kadrovEnergetik. 2022. 8. s.33-42.
6. TOO «Raschetno-finansovyy centr po podderzhke VIE». www.rfc.Kegoc.kz

Results of Renewable Energy Development in Russia and Kazakhstan in 2022

Vitaly Butuzov

FGBOU Kuban' State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

E-mail: ets@nextmail.ru

Аннотация. Among the post-Soviet countries, the active development of renewable energy (RE) is carried out in Russia and Kazakhstan. The values of installed power generation capacities in 2022 on the basis of RES are given: in Russia according to the system operator of the UES of the Russian Federation, expert assessments; in Kazakhstan according to the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. The features of the state regulation of the VE market of these states in the conduct of auctions, the functioning of state operators, the formation of "green" tariffs, tax and other preferences are analyzed. The peculiarities of localization of the production of SES and WPP equipment in Russia, the multi-stage structure of "green" tariffs of Kazakhstan are noted. The main national laws, potential assessments, results of training of scientific and engineering personnel, work of leading scientific and design organizations are presented.

Ключевые слова: renewable energy (RE), WPP, SPP, MSPP, GeoPP, BioPP, RES, auctions, "green" tariffs, investors.

Новая стадия глобализма и социо-природные циклы

¹Бушуев Виталий Васильевич^[0000-0001-9288-4699]
^{1,2}Соловьев Дмитрий Александрович^[0000-0001-5591-3067].

¹Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН),
г. Москва, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

E-mail: vital@guies.ru, solovev@ocean.ru

Аннотация. Современный мир представляет собой единую глобальную систему, связанную транспортными, денежными, миграционными и информационными потоками, причем роль последних особенно стремительно возрастает. Как предполагается, на текущем этапе глобализации человечество сталкивается с кризисом так называемого глобального управления, нарушением баланса между глобализацией и национальным суверенитетом стран, который возможно преодолеть только путем создания системы эффективного глобального управления с учетом опыта исследования социо-природной цикличности эпох.

Ключевые слова: глобализация, социальные циклы, природные циклы, экономический кризис, структурные изменения экономики, антикризисные меры, ответственное развитие

1 Введение

История глобализации начинается с первых контактов соседей (родов, племён, этносов). Эти контакты приобретали различные формы и форматы: обмена, войны и мира, территориальных перемещений народов и т.д. Чаще всего выделяют глобализационные процессы в период, последовавший за эпохой Великих географических открытий и формированием торговых путей в Новый свет. Ведь именно после открытия Америки мирохозяйственные связи постепенно охватили всю планету и сделали мировую экономику глобальной. Говоря о современной глобализации, принято выделять как минимум две волны. Начало первой относят к 1850 году, а ее окончание к 1914 году, когда Первая мировая война нарушила привычный ход международных связей. В большинстве стран возобладали политика протекционизма. Доля торговли в мировом ВВП

сократилась до уровня 1870 года. Начало второй волны глобализации относят к 1945 году, и она, как считают представители международных институтов (МВФ, ВТО) все еще продолжается [1].

Современный этап глобализации целесообразно рассматривать – в целях наиболее полной, интегральной оценки хода и последствий его реализации – по ряду параметров: природный, экономический, политический, технологический, культурный, коммуникационный, демографический и другие. Нас же в рамках выбранной темы интересуют прежде всего такие параметры, как ритмичность и цикличность.

Волновой характер процессов относится к фундаментальным свойствам природы. Ритмичность проявляется в любых формах движения. Примеры общеизвестны. В эту «пульсацию» взаимосвязанной вселенской ритмики естественным образом вовлечены и каждый человек, и всё человечество. Универсальность принципов организации природы и общества, включая цикличность – это сходство, лежащее на поверхности. Циклы могут быть физические, биологические, физиологические, экономические, исторические и т.д.. В одном случае действуют законы тяготения, механики, термодинамики и прочие, в другом – законы естественного отбора, передачи генетической информации, биотической регуляции, обмена веществ; в третьем - законы научно-технического прогресса, смены способов производства, общественного строя и т.п. Общественное развитие – совокупный результат сознательной деятельности людей. В этом его принципиальное отличие от природных процессов. Не следует забывать и о существовании законов, логики, мышления, массового сознания и т.д.

Цикличность предполагает *повторяемость*. Окончание одного цикла знаменует начало следующего. При этом события предыдущего цикла сохраняются в опыте и фиксируются в содержании нового цикла. Но полного сходства или совпадения циклов быть не может: существует повторяемость процессов, но не конкретных событий. В то же время отдельные события могут играть ту же роль, иметь сходную функцию в типологически сходных повторяющихся процессах.

Хорошо известны примеры различных методологических подходов к вычленению и структурированию циклов общественных процессов и истории человечества (Тойнби, Шпенглер, Данилевский, Гумилев, Сорокин и др.). Но важно выявить наличие в историческом и цивилизационном процессе определенную логику, проследить и зафиксировать аналогии. Это даёт возможность выхода на широкие обобщения и выявление циклических закономерностей [2].

Конец XX – начало XXI века отмечены глубокой трансформацией всех сфер социального устройства. Затронуты духовные и ценностные структуры общественного сознания и идентичности. Возникает необходимость выработки новой системы идей, определения смысловых жизненных ориентиров в новую, информационную эпоху. Поэтому ретроспектива концепции осевого времени Ясперса сохраняет актуальность и в контексте современного социального бытия. Эта концепция вполне адекватна цивилизационному подходу как к

историческому прошлому, так и к современности. Ясперс, будучи не историком, а философом, высказал предположение, что человечество в XX веке вступило в новую фазу развития, на которой оно снова становится единым целым. Предпосылкой для этого «служит реализованная возможность всемирного общения. Эта фаза – еще не историческая реальность, но предвосхищение грядущих возможностей...» (К. Ясперс. Смысл и значение истории.)

То, что Карл Ясперс предсказал более 70 лет тому назад, становится реальностью. Однако реальный глобальный мир дает ответы не на все вопросы. Прежде всего, нет ответа на вопрос, сольются ли в будущем локальные цивилизации в единое мировое русло или же человечество будет всегда разобщено. Видимо, время ответов на подобные вопросы ещё не наступило. Однако актуальность переживаемых человечеством процессов глобализации заставляет исследователей, представляющих различные научные дисциплины и направления, изучать эти процессы с пристальным вниманием.

Мир, в котором мы живем, представляет собой единую глобальную систему, связанную транспортными, денежными, миграционными и информационными потоками, причем роль последних особенно стремительно возрастает. Однако и в далёком прошлом, когда Землю населяли отдельные малочисленные племена, разбросанные далеко друг от друга, они все же, хотя и медленно, но взаимодействовали между собой. Именно системные взаимодействия приводили к глобальной синхронизации смен эпох и фаз в истории цивилизации.

2 Турбулентности глобальных политических процессов

Глобализация – это объективное явление, не зависящее от воли и сознания людей. Её нельзя отменить или запретить волевым актом какого-либо правительства или международной организации, хотя бы и самого высокого уровня. Современный этап глобализации проявляет себя как сложная комплексная система с множеством нелинейных связей между её субъектами и объектами. Если применительно к предшествующим десятилетиям под глобализацией понимается растущая интеграция остального мира с ведущими западными странами с помощью потоков денег, товаров, услуг и рабочей силы, то глобализация новой волны отличается такими специфическими характеристиками, как расширение границ многополярного мира, рост количества и разнообразия глобальных игроков, усиление взаимосвязи и взаимозависимости региональных и глобальной систем, усиление дезинтеграции и турбулентности глобальных политических процессов [3]. Двойное действие цифровизации и децентрализации подрывает прежнюю парадигму глобализации. К негативным последствиям нынешнего этапа глобализации можно отнести рост безработицы в странах Запада, растущее неравенство доходов, бюджетный дефицит ряда стран, нарастание экологических проблем, в том числе связанных с изменениями климата. Кроме того, человечество сталкивается с кризисом так

называемого глобального управления, нарушением баланса между глобализацией и национальным суверенитетом стран, с социальным дискомфортом, пробуксовками в системе международных организаций и т.п.

Это не повод говорить о процессе деглобализации. Вместе с тем это – симптом перехода к иной модели глобализации, от моноцентричной структуры мира к полицентричной. То есть происходит переход к «неглобальной глобализации» [3]. Модель одного экономического полюса, одной системы управления заменяется многополярным миром. Компаниям приходится иметь дело с множеством экономик, с диверсифицированными организациями управления, различными правилами и технологиями.

Пандемия вируса COVID-19 стала внешним для мировой финансово-экономической системы триггером глубокого спада в большинстве ее компонентов. Вызванный им стресс продемонстрировал не только просчеты многих государств в борьбе с вирусными эпидемиями, но и разную степень готовности к преодолению кризисных явлений. Восстановление будет постепенным и спровоцирует серьезные структурные изменения на мировой арене. Как представляется, их интегральным результатом станет сдвиг траектории экономической и общественной динамики в сторону адаптации концепции ответственного развития (роста) [4].

Пандемия COVID-19 привела не просто к серии экономических локдаунов и снижению энергетического спроса, а к развалу глобального мира и самосохранению отдельных государств, в том числе в энергетическом плане.

Политически обусловленные санкции против России за украинскую операцию направлены на то, чтобы существенно снизить экспортные возможности нашей страны и исключить влияние ее энергетических ресурсов на экономику и политическую роль страны [5].

Но, если пандемия еще как-то объективно через общий экономический локдаун объясняла развал глобальной энергетики, то военное противостояние на Украине и ограничительные действия Западного мира в отношении экспорта российских энергоресурсов окончательно привели к слому международного разделения труда, в том числе и в сфере энергетики.

Политические решения США, навязанные странам Евросоюза, оказались губительны не только для России, но и для всего Западного мира. Оказалось, что надежность, безопасность и эффективность внешних поставок при отсутствии собственных ресурсов даже в условиях общего профицита мировых энергоресурсов, не имеют решающего значения по сравнению с политическими решениями. Санкции, запрещающие энергетическим компаниям экспорт угля, нефти и газа из России, по сути, продемонстрировали, что так называемый свободный рынок есть ничто по сравнению с государственными установками, имеющими совершенно не экономические, а чисто политические требования. Тем самым, западноевропейский и американский капитализм поставил крест на рыночной экономике, к которой он так активно призывал постсоветскую Россию.

3 Форсайт модели глобализации и новые кризисы

Чего ждать от прогнозируемой экспертами грядущей модели глобализации?

Особенность нынешнего времени проявляется в том, что наращивание конфликтного потенциала в мире происходит в условиях предельной зависимости и открытости национальных экономик, а также перехода к новому технологическому укладу и новой цивилизационной парадигме. Внедрение инновационных технологий будет способствовать стимулированию экономического роста и повышению эффективности использования природных ресурсов (рис.1). В связи с этим становится насущной потребность в выработке новой инвестиционной и шире – цивилизационной - парадигмы, основанной на ресурсосберегающем развитии, а также в перестройке существующих механизмов глобального регулирования.

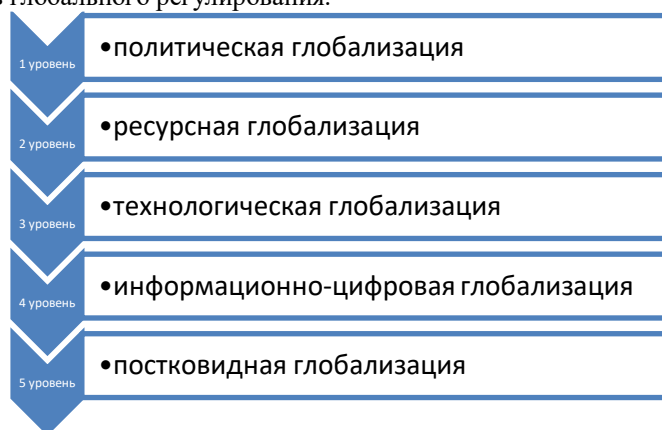


Рис. 1. Уровни глобализации

Если рассматривать эту проблематику в цивилизационном контексте, то речь должна идти об эффективном внедрении в практику достижений научной революции XXI века, оказывающих воздействие на изменение фундаментальных, включая и психофизические, свойств личности человека и социума в целом. Принципиально важно научно исследовать феномен глобализации, «покрывающий» собой и экономические, и социально-политические, и мультикультурные процессы, с точки зрения воздействия на него циклов солнечной активности. Будут ли циклы глобализации зависеть от циклов солнечной активности синхронно с другими общественными процессами? Или они обладают собственной логикой развития, испытывая объективно те же космические и биосферные воздействия, что и социум? От ответа на этот вопрос будут зависеть и подходы к решению практических задач, возникающих в обществе в ответ на глобализационные процессы.

При наступлении нового мирового кризиса спад производства будет более глубоким и длительным. Особенно это проявится в тех странах, которые в большей мере вовлечены в процесс глобализации и отличаются значительным

объёмом виртуальной экономики. Уже сейчас поступают сигналы о начале рецессии не только в развивающихся странах (например Аргентине или Турции), но и в развитых – США, Италии, Франции, Республике Корея и даже в Германии (хотя и весьма слабые), которая была основным бенефициаром посткризисных 2010-х годов. Наш прогноз говорит и об ожидаемом в середине 20-х годов текущего века мировом экономическом кризисе, который может затронуть базовые «столпы» мировой экономики – США и Китай. Для выхода из кризиса потребуется перестройка структуры экономики (в пользу сетевых структур) и переход на новую технологическую, информационную и эргатическую (человечно-машинную) базу. От успешности этого перехода будет зависеть конкурентоспособность экономики. Существенно возрастут затраты на экологические решения.

Кризис будет сопровождаться тяжелыми социальными последствиями в результате сокращения производства, увеличения числа банкротств. Рост безработицы, особенно среди молодежи, вызовет обострение социально-политической обстановки в пораженных кризисом странах. Более острыми станут противоречия между ростом миграционных потоков (в том числе и инициированных странами-реципиентами) и вводимых государствами значительных структурных, количественных, финансовых и социальных ограничений в сфере миграции.

Учитывая антиглобалистские тенденции, требования приоритета национальных экономических интересов (включая и популистские лозунги – вспомним Д. Трампа с его «Америкой превыше всего» или движение за выход Великобритании из состава Евросоюза – Брексит и т.п.) приведет к сокращению объемов мировой торговли и иностранных инвестиций. Усилится конкурентная борьба между национальными экономиками и интеграционными объединениями.

Экономический кризис будет иметь значительные геополитические и цивилизационные последствия. Как заметил президент Франции Э. Макрон в августе 2019 года, «время гегемонии Запада кончилось, лидерство переходит к цивилизациям Востока» [6], [7]. На смену индустриальной мировой цивилизации придёт интегральная, социогуманистическая цивилизация на базе диалога и партнерства.

Для реализации такого партнерства цивилизаций потребуется значительное повышение роли интеграционных объединений, прежде всего ООН и её институтов как регуляторов мирового экономического развития и мировой политики. На основе научных исследований передовых научных школ необходимо разрабатывать ключевые направления преодоления кризисных явлений, в том числе и являющихся следствием неадекватного ответа на вызовы глобализации, а часто вообще отсутствием такового со стороны государственных структур, причем даже в тех странах, которых эти вызовы затрагивают в наибольшей степени (если не считать подобным ответом такой курьёз, как Брексит, организованный крайне сумбурно и с совершенно неясной перспективой прежде всего для самой Великобритании, но и для Евросоюза в целом).

Помимо ООН к решению проблем глобализации следовало бы активнее подключать и другие международные форматы, как-то: Группа двадцати, региональные организации с их собственной повесткой (например ШОС, БРИКС), Евразийский союз (цивилизационная проблематика, включая глобализацию, могла бы сделать его более интересным для новых потенциальных членов) и другие.

Вместе с тем в качестве относительно длительной тенденции можно ожидать усиления антиглобалистских движений, откат глобализации в её нынешнем виде в целях защиты национальных экономик.

Первоначально и современный проект глобализации казался осуществлением давней мечты человека о едином человеческом Доме – планете Земля. Однако в ходе конкретизации проекта быстро выяснилось, что реальная глобализация ведет к закреплению неравенства и исходной несправедливости, к консервации отставания одних стран и упрочению мирового лидерства других [8].

Реальные результаты глобализации и разочарование в ней, ощущение её исчерпанности при использовании прежних средств и прежней идеологии, её несостоятельность перед экономическими кризисами и т.д. вынуждают даже её адептов к пересмотру приоритетов глобализации.

Невозможность найти новые средства при сохранении прежних целей порождает рассуждения исследователей уже о *постглобализации*. Ставится вопрос: что будет представлять собой эта постглобализация? В ней видят проявление кризиса самой глобальной общности человечества, признаки кризиса идеологии и практики глобализации. По мнению известного специалиста по мир-системному анализу М.А. Чешкова, это – больше, чем кризис. Мы, считает он, имеем дело с фундаментальным сбоем универсальной эволюции, сбоем, угрожающим бытию человечества как целого [9].

Как собственно глобализация, так и ее кризис имеют собственное культурное и – шире – цивилизационное измерение. Ведь одним из ключевых моментов современного этапа глобализации является универсализация норм, культур, поведения, институтов и систем управления, «товаризация» социальных отношений. Объективно глобализация приводит к стиранию идентичности. Это вызывает реакцию отторжения глобалистских тенденций и стремление к сохранению идентичности в разнообразных её проявлениях: этническом, религиозном, гендерном и т.д. Поэтому актуальный тренд глобализации – это борьба между политикой идентичности и универсализацией.

4 Глобальные процессы и международная безопасность

Глобальные процессы, сопровождающиеся обострением социальных и межнациональных противоречий, ставят под угрозу самобытность стран и народов. Опасность межцивилизационного раскола становится реальной. Глобальный мир, стремясь к культурной стандартизации, проблематизирует

существование национальных государств как устоявшейся формы общежития, провоцирует усиление антиглобалистской позиции меньшинств, движений и организаций (религиозных, культурных, националистических и др.), развитие сепаратистских движений, направленных на закономерное возрождение и укрепление этнокультурной и национальной идентичностей [10]. Имеет место своего рода «диалектический парадокс»: с одной стороны, глобализация делает мир все более единым, переводя его состояние, подобное органически единому; с другой – она же запускает механизм «инволюции культур», то есть фактическую локализацию культур по странам и регионам [11].

На первый взгляд, современные информационные технологии должны были бы существенно облегчать доступ к многообразным культурам. Тем более что глобализация охватывает практически все сферы жизнедеятельности общества и отдельного человека. Она формирует мировую экономику как целостный организм, объективно ведет к выработке единого стандарта мировой культуры, унификации ценностно-нормативных и поведенческих моделей. Теоретики глобализации преподносят её как единственную возможность спасения человечества от грозящих ему катастроф. Стоит, однако, задаться вопросом: насколько теория отвечает реалиям?

Одной из особенностей современного этапа глобализации является агрессивность ключевых агентов глобализации (США и стан западноевропейские страны), усугубляющая деструктивные процессы с целью модификации национально-культурных идентичностей и разрушения основ национальных культур. Все явственнее становится контраст между технологическими, включая военные, достижениями и своекорыстными по сути целями, между пафосной риторикой и отсутствием моральных ограничений ради получения собственной выгоды. В итоге глобализация приводит к усилению конкуренции мировых держав. Каждая из них выдает свои собственные интересы за глобальные с целью утверждения своих лидирующих позиций в мире [12]. Процессы глобализации не только не снимают, но еще больше обостряют стремление многих государств участвовать в глобальных взаимодействиях на преимущественных условиях и с минимальными уступками.

Одним из проявлений кризиса текущего цикла глобализации явился провал политики мультикультурализма как концептуальной основы государственной культурной политики и межкультурного диалога. Принцип мультикультурализма означает, что представители культуры большинства *должны позволить* представителям культур меньшинства быть полноценными членами общества, а представители культур меньшинства *должны хотеть* быть участниками общественной жизни, а не просто присутствовать. Для сохранения единства мультикультурного общества следует акцентировать внимание на элементах общности, а не на разобщающих факторах [13]. Мультикультурализм должен был бы способствовать утверждению принципов толерантности как уважения к иной системе ценностей, иного мировосприятия и образа жизни.

В реальности осуществление идеологии мультикультурализма происходило в условиях все более заметного проявления конфликтного потенциала глобализации, сложного взаимодействия цивилизационно разных культур.

Оптимизм глобалистов явно не оправдывался. Взаимодействие культур проходит в рамках уже оформившихся оппозиций «глобализм-локализм», «современное – традиционное», «западное – восточное», «архаичное» и «современное» и т.п. Не был ли прав Л.Н. Гумилев, утверждая, что общечеловеческая культура возможна лишь при предельном упрощении (за счёт уничтожения национальных культур)? Но предел упрощения системы – это её гибель[14].

Для того чтобы дать адекватные ответы на актуальные вопросы, связанные с межкультурным взаимодействием как существенным элементом цивилизационной эволюции, ученым и профильным экспертам стоит сосредоточить внимание на исследовании системных сдвигов в современном мировом развитии, определяющих контуры и сценарии будущего. Это необходимо не только для возможности прогнозирования будущего миропорядка, но и для выработки на государственном уровне мер противодействия негативным тенденциям, обращения деструктивных процессов в конструктивные.

5 Россия и процессы глобализации

Россия как один из ключевых игроков в многополярном мире не может оставаться в стороне от общемировых глобализационных процессов. Следует ли ей вырабатывать свои собственные, самобытные ответы на вызовы глобализации или искать их во взаимодействии как с международными экономическими и политическими институтами, так и с мировым научным и экспертным сообществом?

Среди аналитиков все большее распространение получает тезис, согласно которому нынешний этап глобализации – это реализация сценария, продвигаемого западными странами во главе с США. Не углубляясь в эту неоднозначную проблематику, следует все-таки задуматься над тем, не ведет ли некритичное копирование западных вариантов решения проблем глобализации к утрате российской культурной специфики, к разрушению «культурного кода» и ментальных моделей русской цивилизации. Уничтожение духовного мира, объединяющего российский социум, может привести к утрате субъектом культуры воли к консолидации, необходимой для ответа на вызовы нашего века.

Но и отказ от заимствования приемлемого для России зарубежного опыта решения проблем глобализации был бы ошибкой. Несмотря на очевидную специфику российских проблем, многие явления, связанные с глобализацией, типологически универсальны. И другие страны в силу объективных причин уже накопили более солидный – во временном и практическом отношении – опыт разрешения междивизиационных (миграционных, межкультурных, религиозных, этнических) проблем.

Одним из потенциально конфликтогенных вызовов современного мира является нарастание среди широких масс не только тревожных настроений относительно своего будущего в мире новых технологий в условиях социальной поляризации обществ, но и все чаще дающее о себе знать требование

справедливого распределения национального достояния, равноправного доступа к социальным благам – медицине, образованию, достижениям культуры в самом широком смысле, включая требования адекватного решения экологических проблем.

В этой связи едва ли не на первый план выступает такое противоречие мирового порядка, как противопоставление богатства и бедности. По данным Всемирного банка из 7,4 млрд человек населения Земли 1,3 млрд живут за чертой бедности (1.25 американских долларов в день), а еще 2,7 млрд человек вынуждены жить меньше чем на 2 доллара в день. То есть фактически около 40% населения планеты живут за чертой бедности. Статистика свидетельствует о том, что современная Россия – на одном из первых мест по глубине социальной, имущественной дифференциации: на долю 1% самых богатых россиян приходится 70% всех личных активов в России (в мире в целом этот показатель составляет 46%, в Африке – 44%, в США – 37, в Китае и Европе – 32%, в Японии – 17%)[15].

В отчете «О бедности», подготовленном для конференции в Давосе (2017), отмечено, что всего 8 человек на планете (!) владеют богатством, эквивалентном сумме личных средств 3,6 млрд беднейших жителей Земли. Факт сам по себе шокирующий. Причем не только с точки зрения морали, но, прежде всего, в плане возможных последствий такого расслоения. Если демократия подвергается меркантилизации, то есть очевидному и скрытому влиянию капитала на политическую власть, то это разоблачает миф о либеральном порядке, согласно которому граждане могут своими голосами реально влиять на политику.

Невольно возникают фундаментальные вопросы: станет ли XXI век эпохой справедливости и равенства? Или же преимущество окажется у стран с развитыми технологиями, включая информационные? Смогут ли их догнать другие? Или их отставание будет еще больше консервироваться и закрепляться?

В этой связи жесткие санкции, запрещающие поставки российских углеводородов на европейский рынок при отсутствии собственных ресурсов и их хранилищ привели к резкому взлету цен на рынках Европы и самих США[5]. Кризис усилился политическими решениями запрета ввода газопровода «Северный поток-2» и ограничениями на поставки оборудования действующего газопровода «Северный поток-1», прекращением страхования танкеров, перевозящих СПГ. В результате, цены на нефтяном и газовых рынках Европы выросли в 5–6 раз, что привело к остановке многих энергоемких предприятий, в том числе производящих удобрения для сельского хозяйства. В результате, заблокированная цепочка связей «газ – удобрения» стала причиной возможного продовольственного кризиса в Европе и Африке.

Так, сугубо политические решения США использовать энергетические санкции якобы против России, запретив ей экспорт углеводородов в Европу, на самом деле больше всего ударили именно по европейской экономике, вызвав социальную напряженность у населения, создав невосполнимый дефицит, прежде всего, газа для промышленности и ЖКХ европейских стран. При этом американцы рассчитывали не только разорить Россию за счет ожидаемого снижения доходов нашего бюджета от сокращения экспорта, но и попытаться

навязать европейским «союзникам» свой сжиженный газ. Но это не удалось. Российские ресурсы оказались востребованными в других регионах мира, в частности, в Китае и Индии, производство нефти в России только выросло в 2022 году. Доходы от поставок нефти почти перекрыли проседание экспорта газа. Так что экономический удар против России повис в воздухе, а сами страны-санкционеры оказались в нокауте.

Экономика России выстояла, а дефицит энергоресурсов в Европе ведет ее к социально-экономическому коллапсу.

6 Заключение

Ограниченные рамки статьи, авторы вынуждены оставить без рассмотрения многие другие аспекты глобализации, в частности: зависимость её цикличности и от циклов солнечной активности; защита и протекционизм, экономический рост, торговля, пути устойчивого развития, политика глобального сотрудничества и управления, поиски ответов на новые вызовы глобализации, новое соотношение между национальными политическими интересами и глобальной экономикой и т.д., не говоря уже о таком фундаментальном аспекте, как место глобализации в мировой цивилизационной эволюции. К стратегической проблематике развития России, в частности, относится и такой вопрос: каким образом можно и нужно с минимальными издержками включиться в глобализацию, чтобы внешне принудительный императив глобализации превратился в преимущество? Однако мы всё же решили остановиться на одном, неоднозначно воспринимаемом как представителями научного сообщества, так и политическими деятелями, таком аспекте глобализации, как создание системы эффективного глобального управления на фоне социо-природной цикличности эпох.

Литература

1. Прокофьев И.В., Каратаев С.В., Грибова Н.В., Захаров П.В., Трошин Н.Н., Холодков В.М., Дмитриева А.Б. Будущее глобализации под угрозой? // Проблемы национальной стратегии. 2018. № 3. С. 11–56.
2. Азроянц Э.А. Глобализация как процесс [Электронный ресурс]. . 2021 URL: http://ss.xsp.ru/st/001/index_1.php (дата обращения: 10.03.2021).
3. Леонова О.Г. Концептуализация понятия “глобализация” в современной науке // Век глобализации. 2018. № 1 (25).
4. Дынкин А.А., Телегина Е.А. Шок пандемии и посткризисный мир // Мировая экономика и международные отношения. 2020. № 8(64). С. 5–16.
5. Бушуев В.В. Энергетика - стабилизирующий фактор в нестабильном мире // Энергетическая политика. 2022. № 8(174). С. 6–19. DOI:10.46920/2409-

- 5516_2022_8174_6.
6. Яковец Ю.В. Прогноз мирового экономического кризиса и стратегические приоритеты антикризисных программ // Стратегические приоритеты. 2019. № 2. С. 53–65.
 7. Вершинин С.В. О некоторых аспектах мирового развития на современном этапе // Мировое развитие: проблемы предсказуемости и управляемости: XIX Международные Лихачевские научные чтения (г. Санкт-Петербург, 22-24 мая 2019 г.). СПб.: СПбГУП. 2019. С. 59–62.
 8. Самохвалова В.И. Идеология единого мира // Из истории глобализационных проектов. 2016.
 9. Чешков М.А. Глобалистика: предмет, проблемы и перспективы // Общественные науки и современность. 1998. № 2. С. 129–139.
 10. Миронов В.В. Диалог культур или глобализационный монолог? // Диалог культур и партнерство цивилизаций: XIV Международные Лихачевские научные чтения, 15-20 мая 2014 г. 2014. С. 592.
 11. Капустина Л.Б. Глобализация и глобальная культура: два десятилетия под прицелом аналитиков // Управленческое консультирование. 2010. № 4.
 12. Запесоцкий А.С. Культурологическое осмысление процессов глобализации // Мировое развитие: проблемы предсказуемости и управляемости. 2019. С. 110–117.
 13. Шнайдер Э. Мультикультурализм в Германии // Россия и мусульманский мир. 2012. № 11.
 14. Гумилев Л. Ритмы Евразии: эпохи и цивилизации. Litres. 2017.
 15. Бондарь Н.С. Кризис современного конституционализма: в поисках путей преодоления. 2014.

References

1. Prokofiev I.V., Karataev S.V., Gribova N.V., Zakharov P.V., Troshin N.N., Kholodkov V.M., Dmitrieva A.B. The future of globalization is at risk? // Problems of the national strategy. 2018. No. 3. S. 11–56.
2. Azroants E.A. Globalization as a process [Electronic resource]. . 2021url: http://ss.xsp.ru/st/001/index_1.php (date of circulation: 10.03.2021).
3. Leonova O.G. Conceptualization of the concept of “globalization” in modern science // Age of Globalization. 2018. No. 1 (25).
4. Dumpin A.A., Telegin E.A. The shock of the pandemic and the post -crisis world // World Economy and International Relations. 2020. No. 8 (64). S. 5–16.
5. Bushuev V.V. Energy is a stabilizing factor in an unstable world // Energy Policy. 2022. No. 8 (174). S. 6–19. DOI: 10.46920/2409-5516_2022_8174_6.
6. Yakovets Yu.V. The forecast of the global economic crisis and strategic priorities of anti -crisis programs // Strategic priorities. 2019. No. 2. S. 53–65.

7. Vershinin S.V. About some aspects of world development at the present stage // World Development: Problems of predictability and controllability: XIX International Likhachevsky Scientific Readings (St. Petersburg, May 22-24, 2019). SPb.: SPbGUP. 2019. S. 59–62.
8. Samokhvalova V.I. The ideology of the Unified World // From the history of globalization projects. 2016.
9. Czechkov M.A. Globalistics: subject, problems and prospects // Social Sciences and modernity. 1998. No. 2. S. 129–139.
10. Mironov V.V. Dialogue of cultures or globalization monologue? // Dialogue of cultures and partnership of civilizations: XIV International Likhachevsky Scientific Readings, May 15-20, 2014, 2014. S. 592.
11. Kapustina L.B. Globalization and global culture: two decades under the sight of analysts // Management Consulting. 2010. No. 4.
12. Zapesotsky A.S. Cultural understanding of the processes of globalization // World Development: Problems of predictability and controllability. 2019. S. 110–117.
13. Schneider E. Multi -grinding in Germany // Russia and the Muslim world. 2012. No. 11.
14. Gumilev L. Rhythms of Eurasia: era and civilization .Litres. 2017.
15. Bondar N.S. Crisis of modern constitutionalism: in search of ways to overcome. 2014.

The New Stage of Globalism and Socio-Natural Cycles

¹ Bushuev Vitaly Vasilievich [0000-0001-9288-4699],
^{1,2} Soloviev Dmitry Alexandrovich [0000-0001-5591-3067]

^{1,2} Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: vital@guies.ru, solovev@ocean.ru

Abstract. The modern world is a single global system connected by transport, money, migration and information flows, and the role of the latter is especially rapidly increasing. It is assumed that at the current stage of globalization, humanity is facing a crisis of so-called global governance, a violation of the balance between globalization and the national sovereignty of countries, which can be overcome only by creating a system of effective global governance, taking into account the experience of studying the socio-natural cyclicity of epochs.

Key words: globalization, social cycles, natural cycles, economic crisis, structural changes in the economy, anti-crisis measures, responsible development

Зональные факторы развития возобновляемой энергетики на примере Западной Европы

Синюгин Олег Анатольевич ^[0000-0001-5874-4342]1,2

Дегтярев Кирилл Станиславович ^[0000-0002-1738-6320]1,3

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²E-mail: sinyugin.oleg@yandex.ru, ³E-mail: kir11111@rambler.ru

Аннотация. В статье анализируется влияние зональных географических факторов на объём производства электроэнергии в группе стран Западной Европы, а также выявляется вклад в развитие возобновляемой энергетики общего экономического уровня страны, параметров территории и населения. Для решения поставленной задачи использованы данные по площадям, населению, ВВП, географическому положению и условиям исследуемых стран, мощностям и производству электроэнергии из разных источников по странам. В результате выявлены природные особенности развития возобновляемой энергетики в ряде западноевропейских стран.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, Западная Европа, природные условия, природная зональность, экономическое развитие

1 Введение

Целью данной работы является оценка физико- и экономико-географических факторов развития возобновляемой энергетики, сопоставление вкладов различных факторов, выявление географических составляющих, определяющих производство энергии из возобновляемых источников, включая природную зональность, географическое положение, экономико-географические особенности и уровень экономического развития.

Объектом исследования стали 16 стран «старой» Западной Европы: Финляндии, Швеции, Норвегии, Дании, Германии, Австрии, Швейцарии, Нидерландов, Бельгии, Франции, Великобритании, Ирландии, Греции, Италии, Испании и Португалия (рис. 1).

Данные страны не входили до 1991 года в социалистический блок (за исключением восточной части нынешней Германии), их объединяют достаточно давние и тесные связи, сходство политической и экономической повестки (также

их, за исключением Норвегии, Великобритании и Швейцарии, объединяет членство в ЕС), в том числе – в сфере экологии и энергетического перехода.



Рис. 1. Стран Западной Европы, рассматриваемая в статье: 1 – Финляндия, 2 – Швеция, 3 – Норвегия, 4 – Дания, 5 – Германия, 6 – Австрия, 7 – Швейцария, 8 – Нидерланды, 9 – Бельгия, 10 – Франция, 11 – Великобритания, 12 – Ирландия, 13 – Греция, 14 – Италия, 15 – Испания, 16 – Португалия.

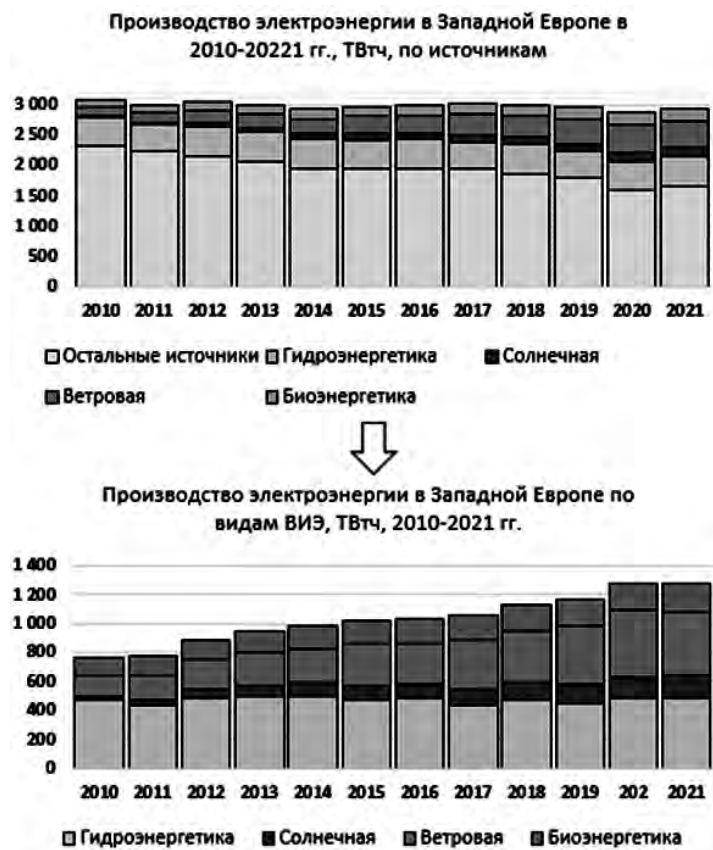


Рис. 2. Производство электроэнергии (ТВтч) в группе стран Западной Европы по источникам в 2010-2021 гг. (составлено автором на основе данных [1])

Выбор этих стран в качестве объекта исследования обусловлен рядом причин.

Во-первых, среди крупнейших стран мира Западная Европа – макрорегион с наиболее развитой возобновляемой энергетикой и, в целом, наиболее развитым неуглеродным сектором энергетики в мире. В целом по группе данных стран доля неуглеродных источников (атомная энергия + ВИЭ) в производстве электроэнергии превышает 67% (для сравнения, в США – 39%, Китае – 35%, Индии – 22%, Японии – 35%, России – 39%), в том числе на долю всех ВИЭ приходится 44%, а на ВИЭ без учёта гидроэнергетики – более 27%) [1].

История развития возобновляемой энергетики в этих странах, охватывающая несколько десятков лет, прошла фазы наиболее активного роста, связанного с эффектом низкой базы, и в последнее десятилетие обнаруживает признаки выхода на плато (рис. 2-3).

Производство гидроэлектроэнергии в Западной Европе уже достаточно давно практически не растёт. Равно, как и в целом производство электроэнергии,

обнаруживающее, скорее, тенденцию к сокращению. Рост производства электроэнергии на биоресурсах вышел на средний уровень около 5% в год, рост выработки электроэнергии на ветроэлектростанциях уже не превышает 10% в год. При этом в 2016 и 2021 гг. наблюдалось даже сокращение выработки, связанное с погодными условиями (т.е. низкие скорости ветра в определённые периоды уже не компенсировались вводом в строй новых мощностей). Быстрорастущим направлением остаётся солнечная энергетика, но годовые темпы роста производства солнечной энергии также упали со значений около 90% в начале 2010-х до уровня около 10% в год, начиная с 2015-2016 гг. (несмотря на продолжающееся сокращение стоимости солнечных батарей).

В этом смысле данная группа стран может рассматриваться как своего рода модель или ориентир для других регионов мира в плане энергетического перехода к неуглеродной экономике.

Темпы роста производства электроэнергии из разных источников в 2010-2021 гг.

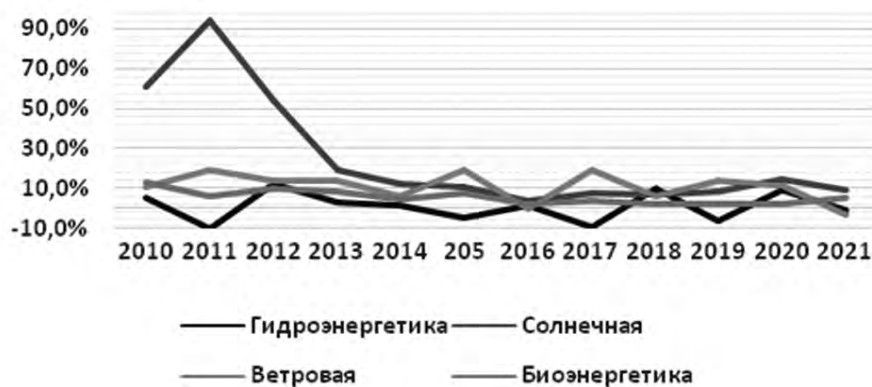


Рис. 3. Темпы роста (в % к предыдущему году) производства электроэнергии из возобновляемых источников в группе западноевропейских стран (составлено автором на основе данных [1])

Во-вторых, сопоставление со странами Западной Европы имеет значение непосредственно для России в силу сходства природных условий: северных регионов нашей страны – с северными странами Европы, южных регионов – с южными средиземноморскими европейскими территориями. В этом смысле при развитии возобновляемой энергетики в России можно до определённой степени ориентироваться на западноевропейский опыт. Кроме того, есть и существенные, не только природные, но и экономические различия внутри группы западноевропейских стран, что также имеет сходство с неравномерностью развития российских регионов, и данный аспект также может быть учтён при разработке программ развития неуглеродной (в том числе возобновляемой) энергетики.

2 Общая физико-географическая, экономическая и энергетическая характеристика рассматриваемой группы стран

Группа исследуемых стран принадлежит одному макрорегиону, отличается высокой степенью политической и экономической интеграции. При этом, они заметно различаются как природными условиями, так и экономическими показателями (табл.1).

Протяжённость территории, занимаемой данными странами, по широте – примерно с 70° до 35° с.ш. (более 3500 км с севера на юг), что определяет кардинальные различия в режимах поступления солнечной энергии и температур по сезонам. В частности, среднегодовое поступление солнечной радиации на горизонтальную поверхность варьируется от менее 700 кВтч/м^2 на севере Скандинавии и северо-западе Великобритании до 1800 кВтч/м^2 [2] и выше на юге Испании и Италии и в альпийских высокогорных районах.

Северная и средняя части лежат в зоне умеренного морского (Норвегия, Дания, западная часть Германии, Нидерланды, Бельгия, Великобритания, Ирландия, северная и центральная части Франции) и умеренно-континентального (Швеция, Финляндия, большая часть Германии, Австрия, Швейцария) климата, южная (Греция, Италия, юг Франции, Испания и Португалия) – в зоне субтропического средиземноморского климата. Благодаря близости океана и региональной специфики атмосферной циркуляции большая часть Западной Европы отличается большим количеством осадков и избыточным увлажнением. Среднегодовое количество осадков почти повсеместно (за исключением отдельных внутренних районов Испании и Италии) превышает 500 мм, а в приатлантических, а также горных районах превышает 1000 мм с максимальными значениями до 1500-3000 мм в Норвегии, на западе Великобритании и в Ирландии, Австрии, Швейцарии, отдельных районах Греции и Италии, на востоке и юге Франции, отдельных районах севера Испании и на севере Португалии [3].

Горы выступают в качестве орографического барьера на пути влажных атлантических воздушных масс. Страны с преобладанием горного рельефа расположены в северной и южной частях западноевропейского субконтинента – Норвегия, Швеция (Скандинавские горы), Швейцария, Австрия, Греция, Италия, Испания (Альпийско-Пиренейский горный пояс).

Западная Европа отличается высокими среднегодовыми скоростями ветра, практически повсеместно превышающими 7 м/с (на высоте 50 метров) и превышающими 10 м/с в береговых районах; наблюдается тенденция снижения скоростей ветра от прибрежных к внутриконтинентальным районам [2].

Страны Западной Европы обнаруживают существенные различия по абсолютным и душевым показателям валового внутреннего продукта (ВВП) и производства электроэнергии (табл. 1-2) а также структурой производства электроэнергии по источникам (табл.3).

Таблица 1. Основные параметры западноевропейских государств (на 2021 год)

Страна	Площадь, тыс. км ² [4]	Население , млн. [5]	ВВП, млрд. евро [6]	Производство электроэнергии, ТВтч [1]
Финляндия	338,1	5,5	253	72,6
Швеция	447,4	10,5	530	169,9
Норвегия	385,2	5,4	408	157,1
Дания	44,5	5,9	335	33,4
Германия	357,4	84,4	3 571	584,5
Австрия	83,9	8,9	403	73,8
Швейцария	41,3	8,7	687	64,9
Нидерланды	41,2	17,5	861	121,6
Бельгия	30,5	11,6	507	100,2
Франция	551,7	64,5	2 484	547,2
Великобритания	242,5	67,3	2 527	309,9
Ирландия	70,3	5,0	422	31,5
Греция	131,9	10,4	183	55,8
Италия	301,3	59,2	1 781	287,2
Испания	489,5	47,5	1 205	272,1
Португалия	88,4	10,3	211	49,7
Всего	3645,1	422,7	16367	2931,5

Показатели душевого ВВП варьируются в диапазоне от 17-20 тыс. евро (Греция и Португалия), что примерно вдвое ниже средневзвешенного показателя по группе стран, до 75-85 тыс. евро (Ирландия, Норвегия, Швейцария), или примерно вдвое выше средней величины (табл.2).

Аналогично, и душевое производство электроэнергии при средневзвешенном показателе около 7000 кВтч варьируется от величин менее или около 5000 кВтч (Великобритания, Италия, Португалия, Греция) до 13000-30000 кВтч (Финляндия, Швеция, Норвегия).

Существует средняя положительная корреляция между душевыми показателями ВВП и производства электроэнергии - коэффициент корреляции (КК) составляет 0,44.

Корреляция между плотностью населения и душевым ВВП практически отсутствует (КК = -0,09), тогда, как между плотностью населения и душевым производством электроэнергии она средне отрицательна (КК = -0,43). Последнее, вероятно, означает связь с более суровыми природными условиями, требующими производства энергии в большем объеме: страны с наиболее холодным климатом, наименьшей плотностью населения (в 10-15 раз ниже среднего показателя по данной группе стран) и, в то же время, максимальными показателями душевого производства электроэнергии – Финляндия, Швеция и Норвегия.

Таблица 2. Основные душевые показатели западноевропейских государств (рассчитано автором по данным, приведённым в табл. 1).

Страна	Плотность населения, чел./км ²	ВВП на душу населения, евро	Пр-во ЭЭ на душу населения, кВтч
Финляндия	16,4	45 689	13 121
Швеция	23,4	50 669	16 233
Норвегия	14,0	75 468	29 075
Дания	131,6	57 143	5 704
Германия	236,2	42 302	6 925
Австрия	106,4	45 210	8 276
Швейцария	210,5	79 056	7 468
Нидерланды	424,8	49 179	6 949
Бельгия	380,6	43 660	8 629
Франция	117,0	38 487	8 480
Великобритания	277,5	37 553	4 605
Ирландия	71,0	84 534	6 315
Греция	79,2	17 503	5 340
Италия	196,6	30 068	4 848
Испания	97,0	25 377	5 731
Португалия	116,4	20 532	4 829
Средневзвешенное	190,7	38 723	6 936

3 Анализ структуры производства электроэнергии по источникам и выявление зональных факторов

Не менее контрастны и различия в структуре производства электроэнергии по источникам (табл. 3). Доля углеводородных (газ, нефть и уголь) источников в производстве электроэнергии варьируется от величин менее 2% (Норвегия, Швеция) до выше 60% (Греция, Ирландия, Италия, Нидерланды) при среднем значении 33%. Среди неуглеродных источников наибольший разброс показателей характерен для атомной энергии – её доля составляет от 0% в половине стран до почти 70% во Франции (где это основная составляющая неуглеродного вектора при минимальной среди других стран доле ВИЭ в производстве электроэнергии – 22%) при среднем 24%, и гидроэнергии – разброс от 0-2% (Дания, Нидерланды, Бельгия, Великобритания) до более 50% (Австрия, Швейцария) и даже более 90% (Норвегия) при средней величине менее 17%.

Что касается остальных ВИЭ (солнечная, ветровая и биоэнергия), то их средняя совокупная доля для данной группы стран составляет чуть более 27%, при этом только в одной стране – Дании, она выше 40% (и составляет 78%), а значения менее 10% - всего в двух странах: Норвегии и Швейцарии (по 8%), где

неуглеродный сектор представлен, главным образом, гидроэнергетикой (см. выше).

Доля солнечной энергетики меняется от значений менее 1% (Норвегия, Ирландия, Финляндия, Швеция) до более 8% (Испания, Нидерланды, Греция, Италия, Германия) при среднем 5,5%; ветроэнергетики – от менее 1% в Швейцарии до 48% в Дании при среднем 15%; биоэнергетики – от менее 1% в Греции и Норвегии до 19% в Финляндии и более 26% в Дании при среднем 6,7%.

Таблица 3. Структура производства электроэнергии в западноевропейских странах по источникам (%), 2021

Страна	Эл.	Угл.	Ат.	Гид.	Сол.	Вет.	Био	ВИЭ*
Финляндия	73	15,1%	32,8%	21,6%	0,4%	11,3%	18,7%	30,5%
Швеция	170	1,9%	31,2%	42,1%	0,9%	16,1%	7,8%	24,8%
Норвегия	157	1,1%	0,0%	91,1%	0,1%	7,5%	0,2%	7,8%
Дания	33	22,0%	0,0%	0,0%	3,8%	48,0%	26,2%	78,0%
Германия	585	47,7%	11,8%	3,3%	8,4%	20,1%	8,7%	37,2%
Австрия	74	24,0%	0,0%	58,0%	2,9%	9,1%	5,9%	18,0%
Швейцария	65	7,6%	28,5%	56,0%	4,6%	0,2%	3,0%	7,8%
Нидерланды	122	63,8%	3,1%	0,1%	9,4%	14,7%	8,9%	33,0%
Бельгия	100	26,8%	50,5%	0,4%	5,6%	11,9%	4,9%	22,4%
Франция	547	8,6%	69,3%	10,6%	2,7%	6,8%	2,0%	11,5%
Великобрит.	310	45,9%	14,8%	1,6%	4,0%	20,8%	12,9%	37,7%
Ирландия	31	63,5%	0,0%	2,4%	0,2%	30,8%	3,1%	34,1%
Греция	56	61,2%	0,0%	10,4%	9,3%	18,8%	0,3%	28,4%
Италия	287	60,1%	0,0%	15,0%	8,7%	7,2%	9,0%	24,9%
Испания	272	33,2%	20,8%	10,9%	9,9%	22,9%	2,4%	35,2%
Португалия	50	37,6%	0,0%	23,9%	4,4%	26,6%	7,5%	38,6%
Среднее	2 931	32,6%	23,9%	16,5%	5,5%	14,9%	6,7%	27,1%

Эл. – производство электроэнергии, всего, ТВтч; Угл. – углеводородное топливо; Ат. – атомная энергия; Гид. – гидроэлектроэнергия; Сол. – солнечная энергия; Вет. – ветровая энергия; Био – биоэнергия; ВИЭ* – всего ВИЭ без учёта гидроэлектроэнергии.

В выявленных различиях в доле разных ВИЭ в местном производстве электроэнергии просматривается наличие природной зональности (рис. 4-7).

Так, максимальные показатели доли для гидроэнергетики максимальны в странах с сочетанием высокого увлажнения (как следствие – развитой и полноводной речной сети) и горного рельефа (как следствие – высокой энергии водотоков). Всего на 4 страны, в максимальной степени отвечающие этим условиям (Норвегия, Швеция, Австрия, Швейцария), приходится 61% всего производства гидроэлектроэнергии (в т.ч. 30% - только в Норвегии) в западноевропейской группе стран, тогда, как их суммарная доля в общем производстве электроэнергии составляет всего 16%, т.е. их коэффициент специализации в гидроэнергетике составляет $61/16 = 3,8$.

Для солнечной энергетики наиболее высокие показатели доли в общем производстве характерны в целом для более южных стран, расположенных в

зонах с более высоким поступлением солнечной энергии. В данном случае фиксируется сильная отрицательная корреляция между средней широтой страны и долей солнечной энергетики в общем производстве электроэнергии, $КК = -0,69$.

Доля гидроэнергетики в производстве электроэнергии

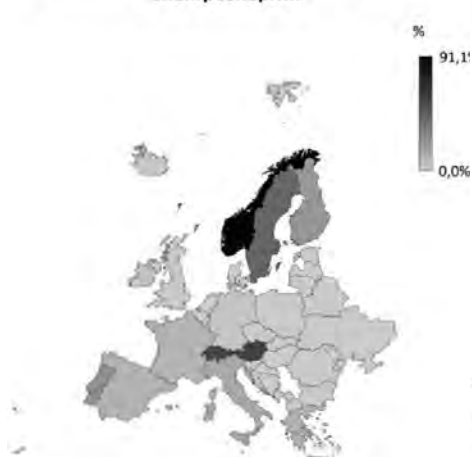


Рис. 4. Доля гидроэнергетики в производстве электроэнергии в странах Западной Европы

Доля солнечной энергетики в производстве электроэнергии



Рис. 5. Доля солнечной энергетики в производстве электроэнергии в странах Западной Европы

Доля ветроэнергетики в производстве электроэнергии



Рис. 6. Доля ветроэнергетики в производстве электроэнергии в странах Западной Европы

Доля биоэнергетики в производстве электроэнергии



Рис. 7. Доля биоэнергетики в производстве электроэнергии в странах Западной Европы

Доля ветроэнергетики также выше в среднем в странах, в большей степени экспонированных к атлантической береговой линии, отличающихся более высокими средними скоростями ветра (рис.6).

Что касается биоэнергетики, в данном случае трудно (если в принципе возможно) выявить какой-либо ведущий фактор. Основные источники сырья для биоэнергетики – отходы сельского хозяйства и лесопереработки, из чего мы можем сделать предварительный вывод, что важной является комбинация развитого сельского хозяйства и лесоперерабатывающего комплекса (что просматривается на примере Финляндии).

Другим стимулирующим фактором развития энергетики на основе данного источника является дефицит других ресурсов. Например, исключительно высокая доля ветровой и биоэнергетики в Дании, вероятно, связана с отсутствием достаточных ресурсов для развития солнечной и гидроэнергетики. Напротив, низкая доля других ВИЭ в Австрии и Швейцарии обусловлена достаточными ресурсами для развития неуглеродного сектора за счёт гидроэнергетики, а в Норвегии монопольные позиции гидроэнергетики в неуглеродном секторе обусловлены, помимо исключительно большого объёма гидроресурсов, отсутствием потенциала развития солнечной и биоэнергетики.

Сопоставим это с другой группой часто называемых факторов развития возобновляемой энергетики и проверим следующие гипотезы, также с помощью корреляционного анализа (табл. 4):

- 1) Возобновляемая энергетика более развита в странах с более высоким общим уровнем экономического развития;
- 2) Возобновляемая энергия требует больших площадей – в связи с этим, можно предположить, что доля ВИЭ будет выше в странах с менее высокой плотностью населения;
- 3) ВИЭ недостаточно надёжны и не могут обеспечивать потребности крупных потребителей, поэтому их доля выше там, где ниже общая потребность в энергии и, соответственно, ниже объёмы производства электроэнергии в целом.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между долями разных источников энергии в общем производстве электроэнергии (%) и показателями: душевого ВВП (евро/чел.), плотности населения (чел./км²) и общего объёма производства электроэнергии (ТВтч)

Источник энергии/Показатель	ВВП на душу населения	Плотность населения	Общий объём производства электроэнергии
Всего неуглеродные источники	0,31	-0,41	0,00
Атомная энергия	-0,04	0,10	0,40
Всего ВИЭ	0,37	-0,53	-0,39
Гидроэнергия	0,40	-0,47	-0,22
Всего ВИЭ (без гидроэнергии)	-0,17	0,07	-0,15
Солнечная энергия	-0,59	0,54	0,25

Источник энергии/Показатель	ВВП на душу населения	Плотность населения	Общий объём производства электроэнергии
Ветровая энергия	-0,05	-0,10	-0,21
Биоэнергия	-0,02	0,07	-0,14

Существует средняя положительная корреляция между долей ВИЭ и ВВП на душу населения, но она достигается исключительно за счёт гидроэнергии – вероятно, благодаря тому, что страны с наибольшими гидроэнергоресурсами (Норвегия, Швеция, Финляндия, Австрия, Швейцария) выделяются также более высокими значениями душевого ВВП. В остальных случаях корреляция практически отсутствует, а в случае с солнечной энергетикой является даже средне отрицательной – в свою очередь, это обусловлено в среднем менее высокими ВВП стран южной части Европы (см. выше), обладающих, в то же время, большей концентрацией солнечных ресурсов. В то же время, следует учитывать и положительную взаимосвязь экономического развития и душевого производства электроэнергии (см. выше), т.е. в среднем на долю жителей стран с более высоким душевым ВВП приходится и больше производства электроэнергии из ВИЭ в абсолютных величинах.

В случае с плотностью населения наблюдается средняя отрицательная корреляция с долей ВИЭ, но также исключительно за счёт гидроэнергии – благодаря тому, что Норвегия, Швеция и Финляндия отличаются также низкой плотностью населения.

Обращает на себя внимание средняя положительная корреляция плотности населения и доли солнечной энергии. Вероятно, причина заключается в том, что три страны с высокой долей солнечной энергии (несмотря на среднеширотное положение) – Германия, Нидерланды и Бельгия, отличаются и наибольшими показателями плотности населения в Европе, а также и превышающими средние показатели душевого ВВП.

Что касается корреляционной связи доли ВИЭ в целом с общим объёмом производства электроэнергии в стране, то она в целом средне отрицательна – т.е., действительно, можно сделать вывод, что страны с большими объёмами производства электроэнергии в меньшей степени используют возобновляемые источники, при этом низкая доля ВИЭ компенсируется высокой долей атомной энергии. Также обращает на себя наличие не отрицательной, а слабой положительной корреляции между общим производством электроэнергии и долей отдельно взятой солнечной энергии. В случае с атомной энергией ключевую роль играет фактор Франции, являющейся, наряду с Германией, крупнейшим производителем энергии в Западной Европе. В случае с солнечной энергетикой – вероятно, фактор Германии с высокой долей солнечной энергии (см. выше).

Анализ показывает, что высокий уровень экономического развития является стимулирующим фактором развития возобновляемой энергетики. При этом высокая плотность населения (как следствие – высокая плотность инфраструктуры и вероятность возникновения дефицита площадей) не выявляется в качестве лимитирующего фактора развития энергетики на основе ВИЭ, в частности, ветровой и солнечной.

Добавим, что солнечная энергетика может быть достаточно компактной, учитывая сравнительно (с ветроэнергетикой) высокую плотность производства энергии и возможность размещения солнечных батарей, в том числе, на крышах зданий.

В отличие от неё, ветроэнергетика требует существенно больших площадей, однако это в значительной степени компенсируется возможностью использования пространств между мачтами ветрогенераторов – в том числе, для целей сельского хозяйства и размещения генерирующих мощностей на других источниках – в том числе, солнечных батарей.

Теоретически, при среднем расстоянии между мачтами порядка 2 км (1 мачта на 4 км²), средней мощности размещённого на ней генератора в 2 МВт и покрытии ими 1 млн. км², что составит 27% общей площади рассматриваемых стран (табл. 1), общая мощность ветроустановок составит (250 тыс. генераторов по 2 МВт) 500 тыс. МВт (0,5 ТВт) или 500 млн. кВт. При среднем коэффициенте использования установленной мощности (КИУМ), равном 25% - как следствие, выработке порядка 2200 кВтч на 1 кВт установленной мощности, общее производство электроэнергии должно составить 2200*500 млн. кВтч = 1,1 трлн. кВтч или 1100 ТВтч. Это составило бы 38% всего текущего производства электроэнергии в данных странах (табл. 1), что в 2,5 раза выше нынешнего среднего показателя для ветроэнергетики (табл. 3). Таким образом, можно говорить о сохранении на данный момент пространственного ресурса для роста и ветровой, и солнечной энергетике в Западной Европе, хотя в разных её странах в различной степени.

В большей степени, определяющим фактором являются возобновляемые ресурсы на данной территории, природные условия, обуславливающие производительность и стабильность работы энергетических систем на основе ВИЭ – солнечный, ветровой и гидрологический режимы.

4 Зональные факторы продуктивности электростанций на ВИЭ

Наглядная иллюстрация природно-зонального фактора развития возобновляемой энергетике – различная производительность генерирующих мощностей (различия в КИУМ – коэффициенте использования установленной мощности), рассчитанная нами на основе сопоставления данных по установленным мощностям и производству электроэнергии для солнечных (СЭС) и ветровых (ВЭС) электростанций [1] по методике, описанной ранее в [7]. Использована средняя величина КИУМ за период 2011-2021 гг. Расчёт показывает высокую степень зависимости продуктивности и солнечных, и ветровых станций от природных условий (табл. 5).

Таблица 5. Средний КИУМ солнечных (СЭС) и ветровых электростанций (ВЭС) по странам Западной Европы

Страна	КИУМ СЭС	КИУМ ВЭС
Финляндия	н/д	29,7%
Швеция	12,6%	29,3%
Норвегия	н/д	30,2%
Дания	10,7%	29,5%
Германия	10,5%	21,3%
Австрия	12,9%	23,7%
Швейцария	10,5%	н/д
Нидерланды	10,8%	26,9%
Бельгия	10,9%	28,8%
Франция	12,4%	23,6%
Великобритания	10,3%	31,0%
Ирландия	н/д	29,0%
Греция	17,5%	25,9%
Италия	13,7%	20,3%
Испания	29,9%	25,1%
Португалия	20,0%	28,1%

Для солнечных электростанций видно различие в КИУМ в пользу стран, занимающих более низкоширотное положение (рис.8) – от 10-13% до 20-29%.

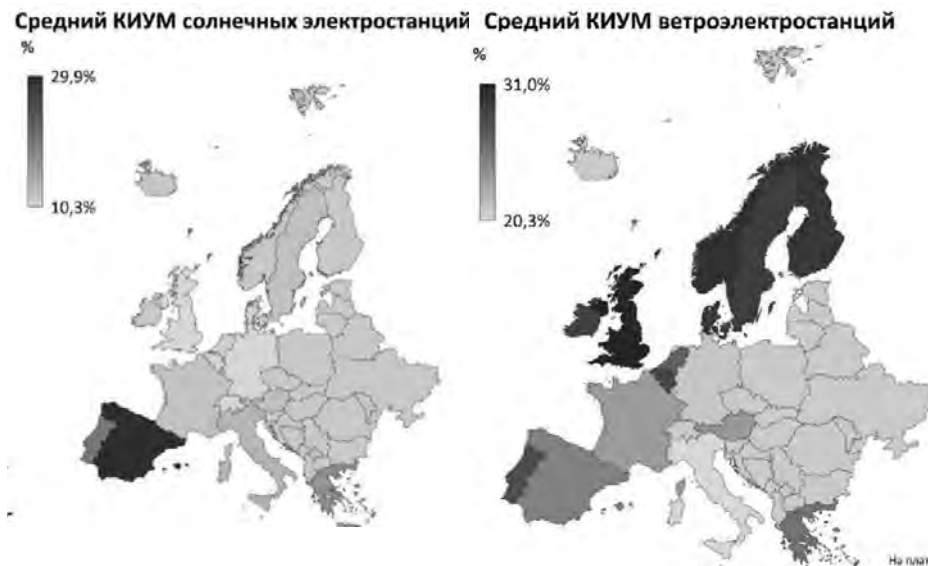


Рис. 8. Средний КИУМ солнечных электростанций по странам Западной Европы

Рис. 9. Средний КИУМ ветровых электростанций по странам Западной Европы

По ВЭС различия в КИУМ менее контрастны – от 20% до 30% (рис.9), но также прослеживается взаимосвязь производительности с положением страны относительно атлантической береговой линии и зональной системы атмосферной циркуляции – максимальный КИУМ характерен, в основном, для ВЭС северного и северо-западного секторов Западной Европы и островных государств.

Менее высокий КИУМ при равных инвестиционных и эксплуатационных затратах на обслуживание станции означает и примерно пропорционально более высокая цена на получаемую электроэнергию – как следствие, естественным представляется смещение в перспективе производства в регионы, где оно менее затратно.

Если обратиться к динамике процесса, например, по солнечной энергетике, то в Германии – наиболее экономически развитой стране Западной Европы, при этом с мощным «зелёным» общественно-политическим движением, выработка электроэнергии на СЭС фиксируется с 2000 года, тогда, как в других странах – с 2008[1]. За последние 10-15 лет произошло заметное сокращение разрыва в объёмах производства в пользу стран, находящихся в более благоприятных природных условиях (Испания, Португалия, Италия, Греция), хотя и менее развитых экономически и менее сконцентрированных на «зелёной повестке». С высокой вероятностью можно ожидать продолжения этих процессов, тем более, что за последние 10-15 лет произошло кардинальное снижение инвестиционных затрат для генерирующих мощностей на основе ВИЭ (прежде всего, для солнечных батарей), что резко снизило экономические барьеры на пути развития возобновляемой энергетики.

5 Выводы

Анализ факторов развития возобновляемой энергетики в странах Западной Европы показывает:

1. Высокий уровень экономического развития является стимулирующим фактором развития возобновляемой энергетики; при этом, страны с более высоким душевым ВВП в среднем имеют сходные доли ВИЭ в общем объёме производства электроэнергии, что и страны, менее экономически развитые, но отличаются большими объёмами душевого производства электроэнергии и, как следствие - душевого производства и возобновляемой энергии.

2. Высокая плотность населения (как следствие – высокая плотность инфраструктуры и вероятность возникновения дефицита площадей) не выявляется в качестве лимитирующего фактора развития энергетики на основе ВИЭ, в частности, ветровой и солнечной. В странах Западной Европы сохраняется пространственный ресурс для дальнейшей установки генерирующих мощностей на основе ВИЭ.

3. Страны с большими объёмами производства электроэнергии в среднем отличаются меньшей долей ВИЭ, но более высокой долей атомной энергии.

4. Доля данного ВИЭ в общем производстве электроэнергии в высокой степени зависит, с одной стороны, от обеспеченности данным ресурсом, с другой

– возможностями развития других направлений. В частности, страны с высоким уровнем обеспечения гидроэнергоресурсами и высокой долей гидроэнергетики отличаются сравнительно низкими значениями доли других ВИЭ, а более развитая биоэнергетика и ветроэнергетика в большей степени характерна для стран, не обладающих большими гидро- и солнечными ресурсами.

5. На первое место среди факторов развития возобновляемой энергетики входят зональные географические факторы, определяющие обеспеченность возобновляемыми энергетическими ресурсами и, как следствие, производительность электростанций и стоимость энергии, получаемой из ВИЭ.

6. Наиболее яркие примеры этого: более высокие показатели производительности солнечных станций, а также доли солнечной энергетики в странах, занимающих более высокоширотное положение; более высокая производительность и доля в энергетике ветроэлектростанций в странах, занимающих приатлантическое положение и отличающихся более высокими скоростями ветра; более высокая доля гидроэнергетики в странах, обладающих наибольшими гидроэнергоресурсами.

7. В будущем вероятно дальнейшее смещение производства энергии на основе тех или иных ВИЭ под действием физико-географических факторов в зоны, более благоприятные для производства.

Литература

1. BP Statistical Review of World Energy – 2022.
2. NASA Power – Data Access Viewer. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>, дата обращения 07.04.2023.
3. Географический справочник. URL: <http://geo.historic.ru/>, дата обращения 07.04.2023.
4. Countries in Europe by Area. URL: <https://www.statista.com/statistics/1277259/countries-europe-area/>, дата обращения 07.04.2023.
5. UN World Population Prospects. URL: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>, дата обращения 07.04.2023.
6. Gross domestic product at current market prices of selected European countries in 2021. URL: <https://www.statista.com/statistics/685925/gdp-of-european-countries/>, дата обращения 07.04.2023.
7. М.Ю. Берёзкин, К.С. Дегтярев, О.А. Синюгин — Подходы к оценке инвестиционных затрат на глобальный энергетический переход // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2022 - №1. – с.4-17.

References

1. BP Statistical Review of World Energy – 2022.
2. NASA Power – Data Access Viewer. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>, access 07.04.2023.
3. Geographical Reference. URL: <http://geo.historic.ru/>, access 07.04.2023.

4. Countries in Europe by Area. URL: <https://www.statista.com/statistics/1277259/countries-europe-area/>, access 07.04.2023.
5. UN World Population Prospects. URL: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>, access 07.04.2023.
6. Gross domestic product at current market prices of selected European countries in 2021. URL: <https://www.statista.com/statistics/685925/gdp-of-european-countries/>, access 07.04.2023.
7. M. Berezkin, K. Degtyarev, O. Sinyugin. An Approach to the Estimation of Investment Costs for the Global Energy Transition // Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №1(2022), pp. 4-17.

Zonal Drivers of Renewable Energy on the Example of Western Europe

^{1,2}Oleg Sinyugin, ^{1,3}Kirill Degtyarev

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: ²sinyugin.oleg@yandex.ru, ³kir1111@rambler.ru

Abstract. The article analyzes the influence of zonal geographical factors on the electricity production in a group of Western European countries, and identifies the contribution to the development of renewable energy of the general economic level of the country, the parameters of its territory and population. To solve this problem, there were used the data on the areas, population, GDP, geographical location and conditions of the studied countries, capacities and electricity production from different sources by country. The conclusion is about the leading role of natural zonality in the directions of renewable energy development.

Keywords: renewable energy, Western Europe, natural conditions, natural zonality, economic development.

Инсоляционная контрастность как фактор изменения глобального климата Земли

Федоров Валерий Михайлович ^[0000-0002-5140-5142]^{1,2}, Залиханов Алим Михайлович ^[0000-0003-2305-7408]^{1,3}, Фролов Денис Максимович ^[0000-0002-0307-8175]^{1,4}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²E-mail: fedorov.msu@mail.ru, ³E-mail: bulungu@yandex.ru,

⁴E-mail: frolov@geogr.msu.ru

Аннотация. На основе связи широтного распределения годовой инсоляции и приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) рассчитаны годовые инсоляционные температуры на период с 1900 по 2016 гг. Показано, что тенденции изменения ПТВ определяются многолетними изменениями контрастности инсоляционных температур и инсоляционной контрастностью (ИК-фактор). Многолетние изменения инсоляционной контрастности обобщенно, по областям источника и стока тепла, отражают многолетние изменения меридионального градиента инсоляции регулирующего меридиональный перенос тепла в системе океан – атмосфера. Показано, что тенденция увеличения аномалии ПТВ и наблюдаемое глобальное потепление климата, в основном, определяются естественными причинами, и связаны с уменьшением наклона оси вращения Земли. Представлена общая схема механизма изменения температурного режима Земли и полушарий. Определено, что при отмечаемой тенденции увеличения контрастности инсоляционных температур и инсоляционной контрастности, меридиональный градиент температуры в Северном полушарии уменьшается, а в Южном полушарии увеличивается.

Ключевые слова: изменение климата, инсоляция, инсоляционные температуры, приповерхностная температура воздуха, инсоляционная контрастность, меридиональный градиент температуры, тенденции и причины изменения.

1 Введение

Проблема изменения климата и, прежде всего его температурного режима, в настоящее время становится одной из важнейших проблем человеческой цивилизации. Эта проблема затрагивает многие сферы жизни человека и общества: здоровья, психологические, социально-экономические и политические аспекты. Этим определяется особая научная актуальность проблемы, связанной с изменением климата, причинами изменений и последствий этих изменений. Вопрос о причинах наблюдаемого глобального потепления является ключевым в исследованиях климатических изменений и прогнозировании изменении климата [1; 2; 3; 4].

Известно, что основным источником энергии природной системы Земли является лучистая энергия Солнца. Климат является осредненной по пространству и по времени характеристикой состояния природной среды. Солнечной радиацией определяется радиационный и тепловой баланс Земли [5; 6; 7]. На поверхности Земли лучистая энергия частично отражается и поглощается, трансформируясь в тепловую энергию, а также в потенциальную и кинетическую энергию водных и воздушных масс. Дальнейшее перераспределение тепла в природной системе Земли (в атмосфере и океане) связано с механизмами теплообмена: меридиональным переносом тепла, теплообменом в системе океан – материк, связанного с реверсивной сезонной сменой областей холода и тепла, теплообменом в системе океан – атмосфера, межполушарного теплообмена и др. [8; 9; 10; 11; 12].

С XX века отмечается тенденция повышения глобальной приповерхностной температуры воздуха (ПТВ). Широко распространено мнение о том, что основной причиной потепления глобального климата является «парниковый» эффект, связанный, главным образом, с эмиссией парниковых газов, определяемой антропогенным фактором [13]. В то же время, не подвергается сомнению то, что солнечная радиация имеет важнейшее значение в генезисе климата. Кроме того, известно, что основным парниковым газом является водяной пар. При отмечаемом глобальном потеплении увеличивается испарение и повышается содержание водяного пара в атмосфере [14]. Содержание водяного пара в атмосфере в среднем на 3 порядка превышает содержание CO₂ связанного с деятельностью человека. Приблизительно $\frac{3}{4}$ длинноволновой радиации удерживается в атмосфере водяным паром и только около 0,4% двуокисью углерода антропогенного происхождения [15]. Таким образом, солнечная

радиация и парниковый эффект планеты (связанный в основном с содержанием водяного пара в атмосфере) являются главными климатообразующими факторами. В динамике этих факторов и следует искать причины и факторы изменений современного глобального климата Земли [11].

Целью работы является определение связи многолетних изменений приповерхностной температуры воздуха Земли и полушарий с многолетними изменениями контрастности инсоляционной температуры (ТКи) и инсоляционной контрастности (ИК) в глобальном масштабе.

2 Методика исследований

Проведен расчет годовой приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) на основе данных инсоляции. Основная задача, связанная с расчетами годовой инсоляционной приповерхностной температуры воздуха, – определение влияния инсоляции и ее изменений, связанных с небесно-механическими процессами (орбитальным движением Земли и изменением, влияющих на инсоляцию Земли, характеристик этого движения), на формирование и изменение годовых ПТВ Земли и полушарий. Таким образом, из общей совокупности, влияющих на термическое состояние природной системы Земли факторов, выделяется и исследуется инсоляционный фактор, определяется его роль в формировании и изменении глобальных годовых ПТВ, отражающих состояние и динамику термического режима природной системы Земли.

В качестве исходных климатических данных принимались средние для широтных зон значения ПТВ за базовый период 1961–1990 гг., приведенные в массиве абсолютных температур университета Восточной Англии и метеобюро Хедли [16; 17; 18; 19; 20] (табл. 1). Климатическая норма ПТВ за период 1961–1990 гг. отражает свойственные ей характеристики парникового эффекта, солнечной активности и механизмов теплообмена, участвующих в формировании среднемесячной и среднегодовой температуры и ее распределении механизмами теплообмена по широтам и сезонам. Однако при расчетах годовых инсоляционных ПТВ в прошлое и будущее учитывались только изменения инсоляции (приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации). Изменение парникового эффекта, солнечной активности и механизмов теплообмена (меридиональный перенос тепла, теплообмен между океаном и атмосферой и др.) за пределами климатической нормы 1961–1990 гг. не учитывалось.

Рассчитанные для 5-ти градусных широтных зон земного эллипсоида (без учета атмосферы) значения инсоляции (средние за период с 1961 по 1990 гг.) сопоставлялись с климатической нормой ПТВ за период 1961–1990 гг. (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1. Распределение годовых норм ПТВ [19] и инсоляции [21] по широтным зонам (среднее за период с 1961 по 1990 гг.)

Географическая широта, град.	Северное полушарие		Южное полушарие	
	ПТВ, °С	Инсоляция, Дж/м ²	ПТВ, °С	Инсоляция, Дж/м ²
0–5	26,15	1,316E+10	25,97	1,315E+10
5–10	26,35	1,307E+10	25,77	1,307E+10
10–15	26,42	1,289E+10	24,91	1,289E+10
15–20	25,66	1,262E+10	23,77	1,262E+10
20–25	24,03	1,226E+10	22,25	1,226E+10
25–30	21,27	1,182E+10	20,25	1,182E+10
30–35	17,09	1,131E+10	17,79	1,131E+10
35–40	13,62	1,072E+10	15,02	1,072E+10
40–45	10,07	1,008E+10	11,55	1,008E+10
45–50	6,16	9,376E+09	7,85	9,376E+09
50–55	3,12	8,637E+09	4,31	8,637E+09
55–60	0,48	7,879E+09	0,92	7,878E+09
60–65	-4,60	7,135E+09	-3,35	7,135E+09
65–70	-8,83	6,494E+09	10,76	6,494E+09
70–75	12,09	6,058E+09	24,68	6,058E+09
75–80	15,14	5,763E+09	34,66	5,763E+09
80–85	16,73	5,576E+09	38,96	5,576E+09
85–90	17,07	5,485E+09	46,18	5,485E+09

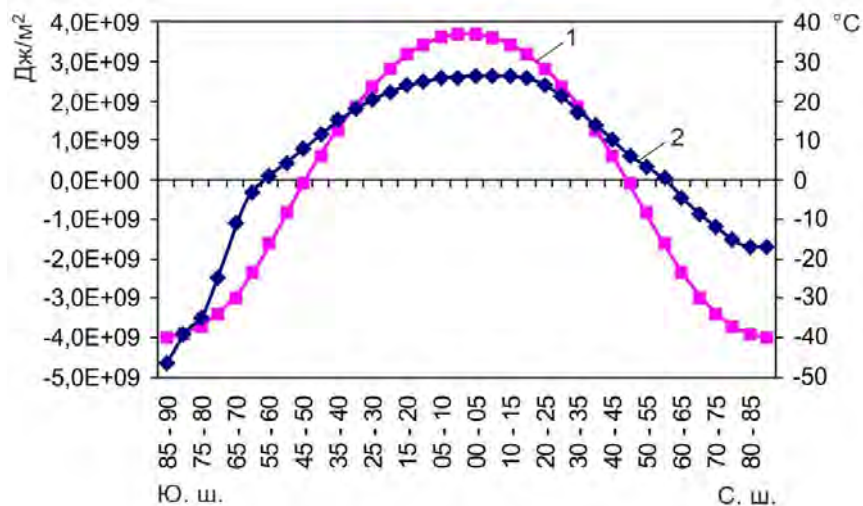


Рис. 1. Распределение по широтным зонам относительно среднего для 5-ти градусной широтной зоны значения за период с 1961 по 1990 гг. инсоляции (1) и абсолютных значений ПТВ (2)

Распределение ПТВ по широтным зонам характеризуется тесной корреляционной связью с распределением приходящей на земной эллипсоид солнечной радиации (рис. 1). Коэффициент корреляции (R) климатической нормы ПТВ (1961–1990 гг.) и приходящей солнечной радиации по всему широтному диапазону (90° с.ш. – 90° ю.ш.) характеризуется значением 0,942, для Северного полушария – 0,997, для Южного полушария – 0,942. Уравнения регрессии определялись на основе раздельной аппроксимации трех широтных диапазонов Земли (так достигалась оптимальная аппроксимация). Для аппроксимации годовых значений ПТВ в диапазоне широтных зон от 85° – 90° с.ш. до 10° – 15° с.ш. использовался полином 6-й степени. В диапазоне от 5° – 10° с.ш. до 55° – 60° ю.ш. и в диапазоне от 60° – 65° ю.ш. до 85° – 90° ю.ш. – полиномы 3-й степени.

Значения коэффициента детерминации (R^2) оказались всех трех широтных диапазонов равным 0,99. Это согласуется с результатами сопоставления рассчитанных по данным наблюдений и осредненных по полушарию и за год изменений планетарного радиационного баланса, связанных с облачностью. Оказалось, что имеет место практически полная компенсация. То есть, при глобальном масштабе усреднения влияние облаков на радиационный режим мало [22]. Широтные диапазоны аппроксимации отражают неоднородную структуру подстилающей поверхности Земли в полушариях (различные соотношения континентов и океанов в полушариях, ледовый континент Антарктида),

проявляющуюся в характере связи приповерхностной температуры воздуха с инсоляцией [23].

По полученным полиномиальным уравнениям регрессии для 5-ти градусных широтных зон по данным инсоляции были рассчитаны (учитывающие только изменение инсоляции) годовые значения ПТВ для периода с 1900 по 2016 гг. Исходными астрономическими данными для расчетов инсоляции были склонение и эклиптическая долгота Солнца, расстояние от Земли до Солнца, разность хода равномерно текущего (координатного времени – СТ) и всемирного корректируемого времени (UT) [24; 25]. Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80 – Geodetic Reference System, 1980) с длинами полуосей равными 6378137 м (большие) и 6356752 м (малая). Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1° , по широте 1° , по времени $1/360$ часть продолжительности тропического года. Значение солнечной постоянной (среднее многолетнее значение TSI) принималось равным 1361 Вт/м^2 [18]. Изменение активности Солнца не учитывалось [26; 11].

Рассчитанные значения инсоляции (солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы – ВГА) для 5-ти градусных широтных зон для периода с 1900 по 2016 гг. использовались в полученных уравнениях регрессии в качестве аргумента. Расчет инсоляционной температуры полушарий и Земли состоял в следующем. По уравнениям регрессии и данным инсоляции рассчитывались средние (для выбранной нормы) значения температуры для 5-ти градусных широтных зон (табл. 1). Эти значения умножались на средний косинус широты каждой зоны ($\cos \varphi$). Затем (делением на 18 – число широтных зон в полушарии) находилось среднее для 5-ти градусной широтной зоны значение для полушария, которое затем делилось на среднее по всем широтным зонам полушария значение $\cos \varphi$ ($\cos 45^\circ$). При расчете, таким образом, учитывается изменение площади широтной зоны в зависимости от географической широты и кривизны поверхности. Так рассчитывалась инсоляционная температура полушарий. Для Земли инсоляционная температура рассчитывалась как среднее по полушариям [27].

Рассчитанная с использованием уравнений регрессии по данным инсоляции годовая норма ПТВ для периода с 1961 по 1990 гг. составляет $13,97^\circ\text{C}$ для Земли, $14,54^\circ\text{C}$ для Северного и $13,40^\circ\text{C}$ для Южного полушария. По данным архива абсолютных температур, нормы ПТВ (фактические нормы) на интервале с 1961 по 1990 гг. составляют для Земли – $13,97^\circ\text{C}$, для Северного полушария – $14,59^\circ\text{C}$, для Южного – $13,36^\circ\text{C}$. Разность между фактическими и рассчитанными значениями составила 0,003 для Земли, 0,044 – для Северного полушария и -0,04 – для Южного полушария (ошибки аппроксимации). Рассчитанные, с учетом изменения только инсоляционного фактора (изменений инсоляции, определяемых небесно-механическими процессами), годовые ПТВ названы нами годовыми инсоляционными температурами [23].

Таким образом, инсоляционная ПТВ – это приповерхностная температура воздуха при стационарной и неизменной по составу атмосфере. Инсоляционные ПТВ отражают роль только инсоляционного фактора, учитывают парниковый эффект, солнечную активность, механизмы теплообмена и состояние природной системы, характерные для нормы 1961–1990 гг., и не учитывают предшествующие и дальнейшие изменения солнечной активности, парникового эффекта (связанного с составом атмосферы) и механизмов теплообмена. В связи с тем, что основным источником энергии гидрометеорологических процессов является приходящая от Солнца радиация, теоретическая оценка радиационного фактора формирования и многолетних изменений ПТВ, отражающей состояние термического режима современного глобального климата, представляется важной.

3 Результаты исследований и их обсуждение

По найденным уравнениям регрессии [23] рассчитывались годовые инсоляционные ПТВ для каждого года в интервале с 1900 по 2017 гг., обеспеченном достоверными метеоданными [16; 17; 18; 19; 20]. Также рассчитывались абсолютные значения годовой ПТВ (для полушарий и Земли). Эти расчеты выполнялись алгебраическим сложением значений аномалии ПТВ, представленных в массиве HadCRUT4 [28], с рассчитанной по массиву абсолютных температур нормой ПТВ для базового периода 1961–1990 гг. (рис. 2).

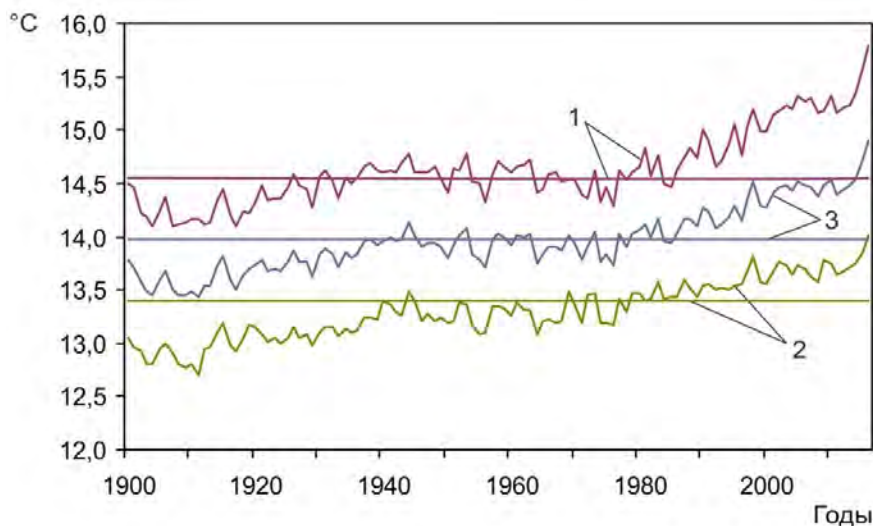


Рис. 2. Фактические (ломаные линии) и инсоляционные (прямые линии) годовые ПТВ: 1 – Северное полушарие, 2 – Южное полушарие, 3 – Земля.

В Северном полушарии в среднем фактические ПТВ превышают инсоляционные температуры. В Южном полушарии, наоборот, фактические ПТВ в среднем уступают инсоляционным температурам. Вычитанием из фактических значений ПТВ (для периода с 1900 по 2017 гг.) соответствующих значений инсоляционной ПТВ находилась разность между абсолютными значениями фактической и инсоляционной ПТВ. Полученные значения разности фактической и инсоляционной ПТВ сравнивались с данными аномалии ПТВ [29], представленными в массиве HadCRUT4 (рис. 3).

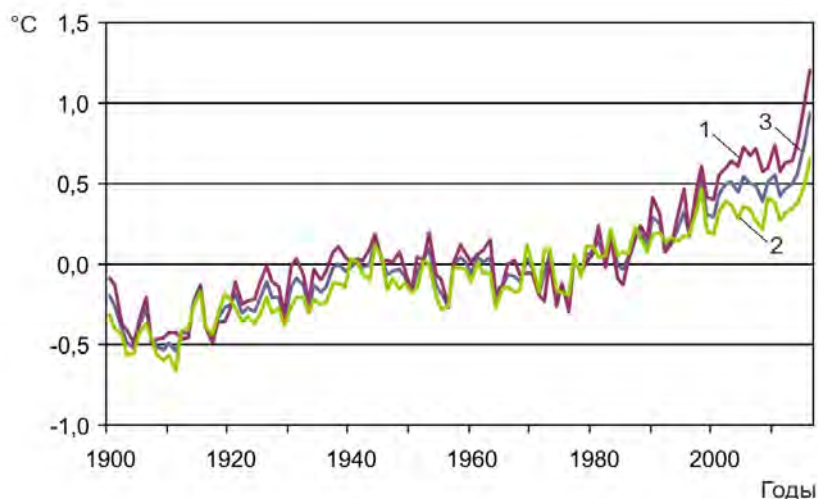


Рис. 3. Изменение аномалии ПТВ по данным HadCRUT4 [29]; 1 – Северное полушарие, 2 – Южное полушарие, 3 – Земля

Оказалось, что аномалия ПТВ (рис. 3) и разность фактических и инсоляционных ПТВ (рис. 4) корреляционно тесно связаны (коэффициент корреляции равен 0,999). Вычитанием рассчитанной разности фактических и инсоляционных ПТВ (рис. 4) из соответствующих фактических значений аномалии ПТВ (рис. 3) [29] были получены характеристики их различий. Для Земли расхождение в среднем составляет $-0,003^{\circ}\text{C}$, для северного полушария $-0,044^{\circ}\text{C}$, для южного полушария $0,04^{\circ}\text{C}$.

Рассчитанная для периода 1961–1990 гг. инсоляционная норма ПТВ в Южном полушарии превышает фактическую норму ПТВ этого периода на $0,04^{\circ}\text{C}$. В Северном полушарии она уступает ей на $0,044^{\circ}\text{C}$. Фактическая норма ПТВ Земли оказалась на $0,003^{\circ}\text{C}$ выше рассчитанной для нее инсоляционной нормы. Таким образом, среднее расхождение между фактическими значениями аномалии ПТВ

и разностью фактических и инсоляционных ПТВ совпадает по абсолютным значениям с отмеченными выше ошибками аппроксимации. То есть, аномалии ПТВ и разности фактических и инсоляционных ПТВ приблизительно равны. Иными словами, фактические ПТВ отличаются от инсоляционных ПТВ на величину аномалий ПТВ. Следовательно, причиной аномалий ПТВ не являются вариации в приходящей солнечной радиации.

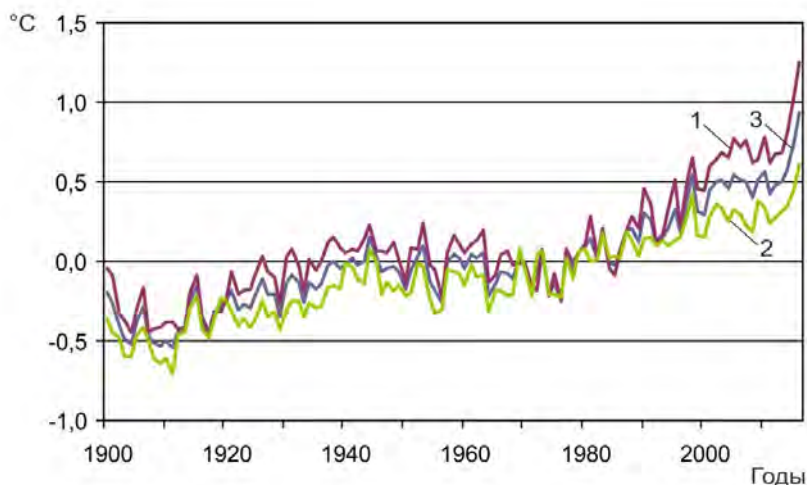


Рис. 4. Разность между фактическими и инсоляционными годовыми значениями ПТВ (1 – Северное полушарие, 2 – Южное полушарие, 3 – Земля).

Тем не менее, этот упрощенный принцип (чем больше солнечная радиация, тем теплее, чем меньше – тем холоднее) справедлив для годового (лето всегда теплее зимы) и чаще всего суточного цикла [12]. Равенство многолетних аномалий ПТВ и разностей фактической и инсоляционной ПТВ, свидетельствует о том, что причины многолетних изменений ПТВ не связаны с вариациями приходящей радиации.

В среднем по модулю значения фактической аномалии ПТВ составляют $0,234^{\circ}\text{C}$, $0,254^{\circ}\text{C}$ и $0,238^{\circ}\text{C}$ для Земли, Северного и Южного полушария соответственно. Средние для интервала (1900–2017 г.) аномалии ПТВ составляют для Северного полушария $+0,048^{\circ}\text{C}$, для Южного полушария $-0,063^{\circ}\text{C}$, для Земли $-0,007^{\circ}\text{C}$. Таким образом, средние значения аномалии ПТВ в полушариях имеют противоположные по знаку значения.

Для определения фактора определяющего многолетние изменения ПТВ рассчитывалась контрастность годовых инсоляционных температур ($T_{ки}$) как разность годовых инсоляционных ПТВ в экваториальной (0° – 5°) и полярной (85° – 90°) зонах. Температурная контрастность ($T_{ки}$) в Северном полушарии (рис. 3) увеличивается с 1900 г. по 2017 г. от $43,44^{\circ}\text{C}$ до $43,48^{\circ}\text{C}$ (на $0,04^{\circ}\text{C}$, или

на 0,09%). В Южном полушарии $T_{Ки}$ увеличивается от 70,73°C до 70,87°C (увеличение составляет 0,14°C, или 0,20%). То есть, увеличение $T_{Ки}$ в период с 1900 по 2017 гг. в Южном полушарии почти в 3,5 раза превышает увеличение $T_{Ки}$ в Северном полушарии (рис. 5).

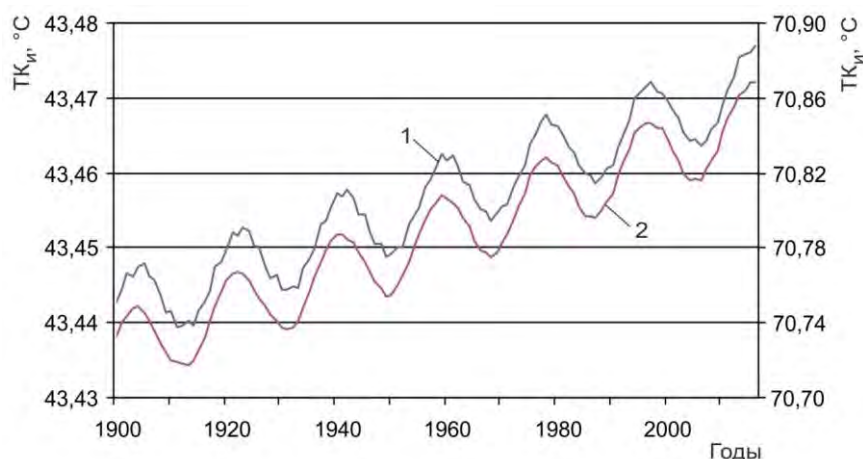


Рис. 5. Изменение $T_{Ки}$ в Северном (1) и Южном (2) полушарии

Представленные на рис. 3 временные ряды фактической аномалии ПТВ имеют высокую положительную корреляцию (вероятность 0,99) с соответствующими временными рядами годовых значений $T_{Ки}$. В Северном полушарии коэффициент корреляции (R) равен 0,794, в Южном полушарии 0,869. Для Земли ($T_{Ки}$ находилось как среднее по полушариям) R равен 0,843. Сходные значения коэффициента корреляции характерны и для рядов разности фактической и инсоляционной годовой ПТВ и $T_{Ки}$. Они имеют значения R , равные 0,794 и 0,871 и 0,844 соответственно. Следовательно, изменения аномалии ПТВ во времени определяются изменением $T_{Ки}$ (рассчитанной по инсоляции и являющейся аналогом меридионального градиента инсоляции), что подтверждается тесной и положительной корреляционной связью между ними.

Проведен корреляционный анализ рядов фактической годовой ПТВ и аномалии ПТВ в диапазоне от 1900 до 2017 гг. с приходящей солнечной радиацией и инсоляционной контрастностью (ИК) (табл. 2). Под инсоляционной контрастностью (ИК) нами понимается разность годовой инсоляции в широтном диапазоне $0^\circ-45^\circ$ и в широтном диапазоне $45^\circ-90^\circ$ в полушариях. Эта величина отражает разность инсоляции в области, являющейся источником тепла и инсоляции в области стока тепла. ИК обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражает изменение меридионального градиента инсоляции [10; 30; 31].

Во временных рядах фактической ПТВ, ее аномалии и инсоляции (приходящей на ВГА солнечной радиации) Земли и полушарий связь не обнаруживается

($R < 0,01$). Одновременно отмечается тесная положительная связь временных рядов фактической годовой ПТВ, ее аномалии и инсоляционной контрастности (табл. 2).

Таблица 2. Значения коэффициента корреляции годовой инсоляции, ИК и ТК_и с годовой ПТВ и аномалией ПТВ

Параметр	Фактическая ПТВ			Аномалия ПТВ		
	Земля	СП	ЮП	Земля	СП	ЮП
Инсоляция	0,003	0,010	- 0,001	0,003	0,010	- 0,001
ИК	0,835	0,786	0,856	0,835	0,786	0,856
ТК _и	0,843	0,794	0,869	0,843	0,794	0,869

Средние значения аномалии фактических ПТВ имеют противоположные значения в Северном и Южном полушарии. Это указывает на то, что механизм меридионального переноса тепла по-разному проявляется и, влияет на температурный режим в полушариях. То есть, эффекты от перераспределения приходящего от Солнца тепла, определяемого меридиональным переносом тепла, в полушариях имеют существенные различия.

Меридиональный перенос тепла (МПТ) осуществляется как регулярным переносом в ОЦА (общая циркуляция атмосферы) – ячейки Хэдли, Ферреля, полярные ячейки, так и вихревыми образованиями (тропические и внетропические циклоны) [11], из-за большей неоднородности подстилающей поверхности в Северном полушарии там, в значительно большей степени, чем в относительно однородном Южном полушарии, МПТ осуществляется тропическими и внетропическими циклонами. Кроме того, как показывают выполненные ранее исследования [11], увеличение меридионального градиента инсоляции (которым регулируется МПТ) отмечается в зимние полугодия в полярных ячейках, а в летние полугодия она снижается. Увеличение годового меридионального градиента инсоляции (переноса тепла) отмечается в областях локализации циркуляционных ячеек Хэдли и Ферреля. Неоднородность подстилающей поверхности в полушариях характеризуется соотношением площади континентов и океанов. В Северном полушарии 39,3% его площади приходится на сушу и 60,7% на океан, в Южном полушарии площадь суши составляет – 19,1%, площадь океана 80,9%. Так ежегодное количество тропических циклонов в Северном полушарии (Северная Атлантика и северо-западная часть Тихого океана) в среднем составляет около 60. В Южном полушарии тропических циклонов значительно меньше – 6–8 [11]. В Южном полушарии меридиональный перенос тепла блокируется мощным западно-восточным переносом «ревущие сороковые», существование которого связано с

однородностью полушария и высоким меридиональным градиентом температуры (значительно превышающим меридиональный градиент температуры в Северном полушарии). Так же МПТ в Южном полушарии блокируется циркумполярным антарктическим течением. Поэтому, несмотря на более высокие значения меридионального градиента температуры (и $TK_{\text{И}}$) в Южном полушарии, эффект меридионального переноса тепла здесь выражен слабее, чем в Северном полушарии.

Многолетние изменения фактической ПТВ (ее аномалии) не связаны с изменением инсоляции Земли и полушарий, но тесно связано с изменением $TK_{\text{И}}$ и ИК. При этом, отмечается линейная связь $TK_{\text{И}}$ и ИК (рис. 6).

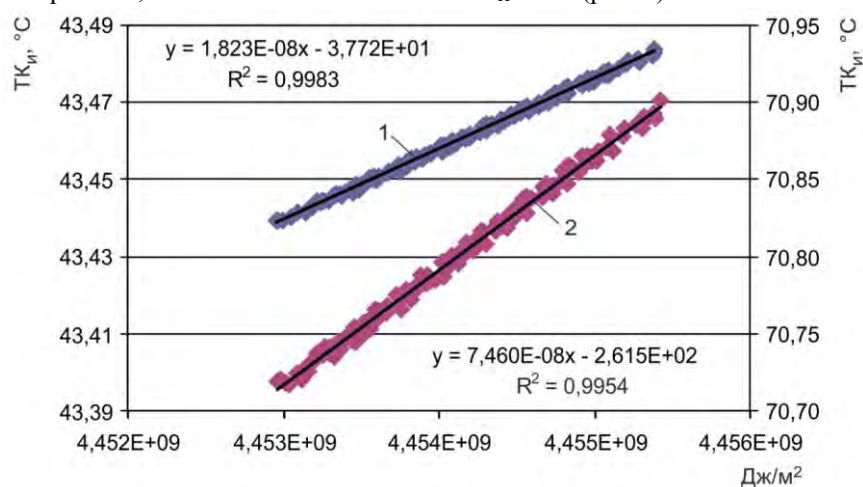


Рис. 6. Связь $TK_{\text{И}}$ и ИК в Северном (1) и Южном (2) полушарии

Многолетние изменения фактической ПТВ, аномалии ПТВ и разности фактической и инсоляционной ПТВ (по сути равной аномалии ПТВ) тесно связаны с многолетними изменениями $TK_{\text{И}}$ и ИК, которые линейно связаны между собой. Из этого следует, что многолетние изменения аномалии ПТВ, в основном определяются многолетними изменениями ИК, которую можно считать основным фактором тенденции многолетних изменений ПТВ. Показатель инсоляции (ИК), обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражает изменение меридионального градиента инсоляции на ВГА. ИК линейно связана с изменением наклона оси вращения Земли [10; 11; 30; 31]. Поскольку солнечная радиация является основным источником энергии гидрометеорологических процессов, отмеченные корреляционные связи следует считать и причинно – следственными.

Как следует из проведенного анализа годовые инсоляционные ПТВ уменьшаются, но увеличивается температурная контрастность ($TK_{\text{И}}$). Анализ

изменения фактических годовых ПТВ в областях, являющихся источниками (0° – 45°) и стока (45° – 90°) тепла показывает, иной характер распределения фактических ПТВ [28]. Для фактических ПТВ (в отличие от инсоляционных ПТВ) в период с 1900 по 2017 гг. отмечается тенденция к увеличению.

Оценка распределения фактической ПТВ проводилась по данным с 1960 года, которые признаются наиболее достоверными в массиве HadCRUT4. Этот период имеет меньше пропусков данных, как по месяцам, так и по 5-ти градусным широтным зонам, чем представленный в массиве более ранний период. По данным массива рассчитывались годовые значения глобальной ПТВ для областей, являющихся источником (0° – 45° широты) и стоком (45° – 90° широты) тепла в каждом полушарии. Расчеты для этих областей выполнялись аналогично расчетам годовых инсоляционных ПТВ для полушарий. Однако, в этом случае среднегодовые температуры находились для «половинок» каждого полушария. Полученные для широтных зон среднегодовые значения ПТВ умножались на средние для 5-ти градусных широтных зон косинусы широты. Затем находилось среднее для 5-ти градусной широтной зоны (по 9-ти зонам) значение, которое делилось на косинус $22,5^{\circ}$ для расчетов температуры в области источника тепла и на косинус $62,5^{\circ}$ при расчетах температуры в области стока тепла [27].

Из анализа полученных результатов следует, что фактические годовые ПТВ в Северном полушарии медленно увеличиваются как в области являющейся источником тепла, так и в области стока тепла (рис. 7).

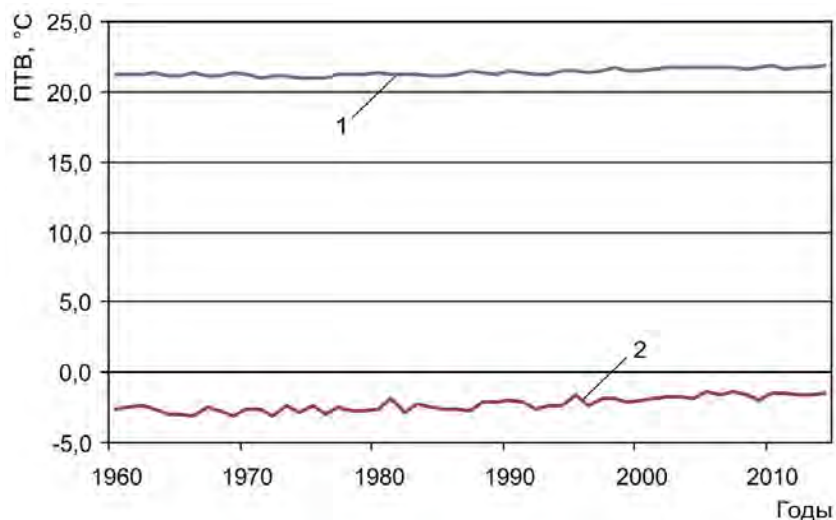


Рис. 7. Изменение годовой ПТВ в Северном полушарии (1 – в области источника тепла, 2 – в области стока тепла)

Также в Северном полушарии на протяжении этого периода уменьшается температурная контрастность годовых фактических ПТВ (ТК_ф) – разность годовых фактических ПТВ в экваториальной (0°–5°) и полярной (85°–90°) зонах полушария (рис. 8).

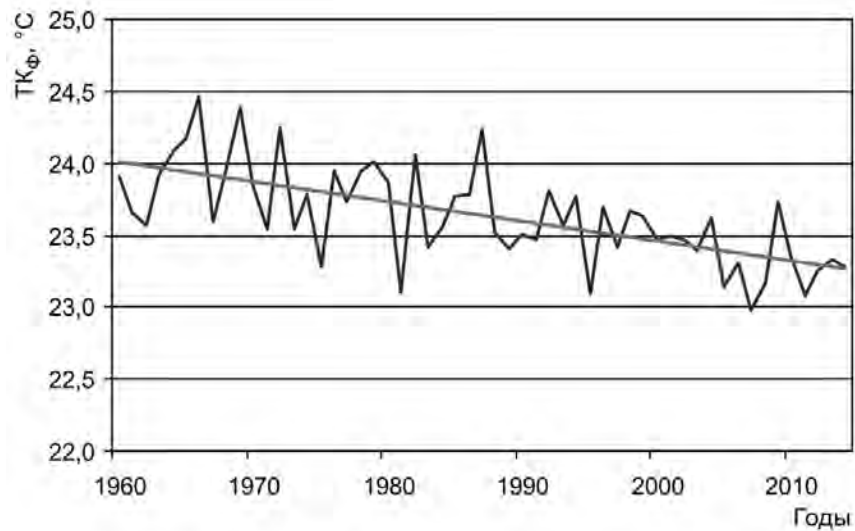


Рис. 8. Изменение температурной контрастности (ТК_ф) в Северном полушарии

Это связано с тем, что в Северном полушарии увеличение ПТВ в области стока тепла превосходит увеличение ПТВ в области источника тепла. В Южном полушарии наблюдается несколько иная картина. Фактические годовые ПТВ также увеличиваются, как в области источника тепла, так и в области стока тепла (рис. 9).

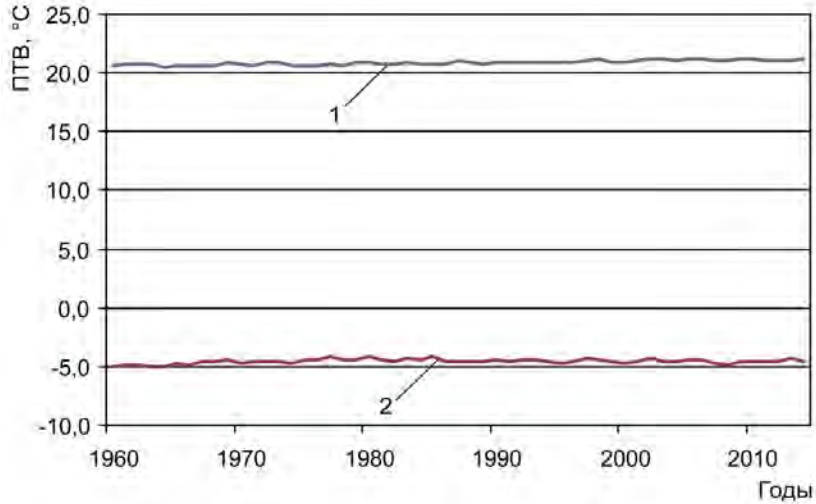


Рис. 9. Изменение годовой фактической ПТВ в Южном полушарии (1 – в области источника тепла, 2 – в области стока тепла)

Однако, температурная контрастность здесь, в отличие от Северного полушария увеличивается (рис. 10).

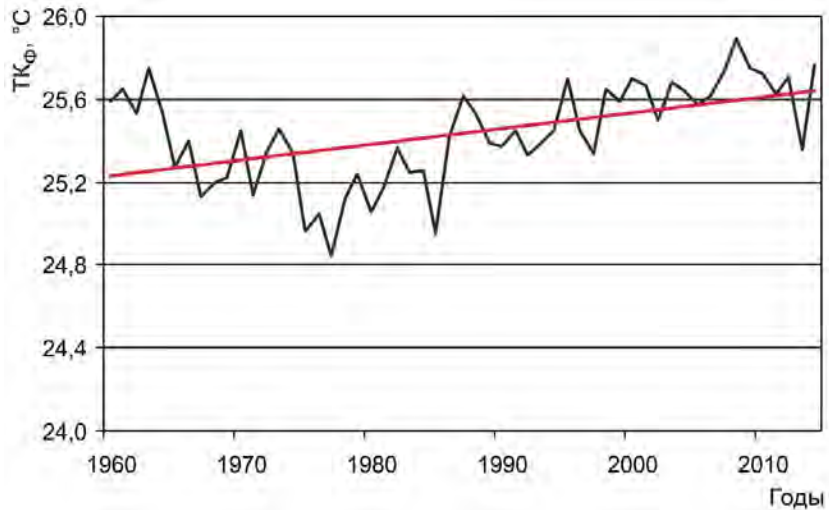


Рис. 10. Изменение температурной контрастности (TK_ф) в Южном полушарии

Это связано с тем, что увеличение ПТВ в области источника тепла превосходит увеличение ПТВ в области его стока (из-за блокировки меридионального переноса радиационного тепла мощным зональным потоком). Отмечается

высокая корреляционная связь многолетних изменений фактической годовой ПТВ с многолетними изменениями годовой ИК в Северном полушарии. В области источника тепла R равен 0,827. В области стока тепла – 0,841. В Южном полушарии соответствующие значения R (с годовой ИК этого полушария) равны 0,876 и 0,307.

Из сравнения результатов расчетов годовых инсоляционных ПТВ с фактическими данными следует, что фактические ПТВ в Северном полушарии изменяются в противофазе с инсоляционными ПТВ. Также в противофазе изменяются $TK_{и}$ и $TK_{ф}$. Годовые значения инсоляционной ПТВ уменьшаются, а значения фактической ПТВ увеличиваются (как в области источника, так и в области стока тепла). Годовая $TK_{и}$ увеличивается в Северном и Южном полушарии. Годовая $TK_{ф}$ уменьшается в Северном полушарии и увеличивается в Южном. В Северном полушарии годовая ИК (линейно связанная с $TK_{и}$), таким образом, увеличивается, а температурная контрастность между областями являющимися источником и стока тепла сокращается (из-за усиления меридионального переноса тепла, определяемого увеличением меридионального градиента инсоляции или ИК линейно связанной с наклоном оси вращения). В Южном полушарии фактические ПТВ слабо увеличиваются в области источника и стока тепла, но $TK_{ф}$ возрастает (при возрастании и $TK_{и}$). Это определяется тем, что в Южном полушарии эффект меридионального переноса тепла (МПП) выражен слабее, чем в Северном полушарии. Это, как отмечалось выше, связано с блокирующим зональным переносом («ревущие сороковые»), циркумполярным антарктическим течением, наличием ледового континента Антарктида, океаничностью южного полушария, небольшим числом тропических циклонов.

Увеличение ПТВ в области источника тепла является следствием увеличения прихода солнечной радиации в эту область. Увеличение ПТВ в областях стока является следствием усиления меридионального переноса тепла [10; 11; 30; 31]. При этом МПП (при сходной годовой инсоляции и ИК) имеет существенные различия, которые связаны с отмеченными отличиями в природных системах Северного и Южного полушарий Земли. В связи с этим отмечается отрицательная связь ИК с меридиональным градиентом температуры в Северном полушарии и положительная связь в Южном полушарии.

Физический механизм найденной нами тесной корреляционной связи многолетних изменений ПТВ с инсоляционной контрастностью, в обобщенном виде может сводиться к следующему. Связанное с уменьшением угла наклона увеличение ИК, управляющей меридиональным переносом тепла или интенсивностью работы «тепловой машины первого рода», приводит к увеличению переноса тепла (циркуляционными процессами в атмосфере и вихревыми образованиями) из низких широт в высокие [11]. Следует учесть, что площади областей стока тепла в полушариях приблизительно в 2,7 раза меньше

площади областей источников тепла. Поэтому переносимое из низких широт в высокие радиационное тепло распределяется по меньшей площади и его удельные характеристики возрастают ($\text{Дж}/\text{м}^2$, $\text{Вт}/\text{м}^2$). В результате меридионального переноса тепла температура поверхности океана и приповерхностная температура воздуха в областях стока тепла увеличивается (явное тепло). Это приводит к увеличению испарения, повышению содержания водяного пара в атмосфере и усилению парникового эффекта. Результатом этого является дополнительное увеличение температуры и т.д. (по спирали). Этот процесс, многократно повторяясь, усиливает потепление глобального климата. Кроме того, в результате конденсации из-за адвекции теплых воздушных масс в высокие широты выделяется скрытое тепло, которое вносит дополнительный вклад в схему радиационного теплообмена в атмосфере (рис. 11).



Рис. 11. Принципиальная схема радиационного теплообмена в атмосфере

Три связанных нижних блока в схеме представляют собой климатический детектор, приводящий к усилению глобального потепления. Кроме того, процесс потепления усиливается и обратными положительными связями из-за сокращения площади морских льдов и ледников и уменьшения планетарного альбедо. Повышение температуры в областях стока тепла связано не только с

меридиональным переносом тепла (явное тепло), но и с процессами конденсации водяного пара в атмосфере (скрытое тепло) при меридиональном движении воздушных масс из низких широт в высокие. Представленная схема подтверждается отмеченными тесными связями ПТВ с ТК_И и ИК, тесными связями ИК с углом наклона оси вращения и логикой климатических знаний. Схема может быть использована в качестве понятийного алгоритма в физико-математических моделях климата.

Из-за физико-географических различий в полушариях эволюция климата в них несколько отличается. Так, во-первых, вихревых образований (тропических и внетропических циклонов) в Северном полушарии больше, чем в Южном полушарии (в котором подстилающая поверхность более однородна). Во-вторых, в Южном полушарии меридиональный перенос тепла заметно блокируется зональной циркуляцией («ревущие сороковые» в атмосфере и циркумантарктическое течение в океане). Поэтому процессы потепления более заметно проявляются в Северном полушарии.

4 Заключение

Инсоляционные годовые ПТВ отличаются от фактических годовых ПТВ на величину аномалии ПТВ. Многолетние изменения аномалии ПТВ, отражающие многолетние изменения глобального климата (его температурного режима), в основном, определяются многолетними изменениями ТК_И и ИК. Иными словами, тенденции изменения глобальной температуры в XX столетии и в настоящее время определяется распределением приходящей солнечной радиации по широтам – инсоляционной контрастностью.

Многолетние изменения инсоляционной контрастности обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражают многолетние изменения меридионального градиента инсоляции. Меридиональным градиентом инсоляции регулируется меридиональный перенос тепла в системе океан – атмосфера (МПТ). ТК_И линейно связана с ИК. Инсоляционная контрастность, в свою очередь, линейно связана с наклоном оси вращения Земли. Из этого следует, что многолетние изменения (увеличение) аномалии ПТВ и наблюдаемое глобальное потепление климата, в основном, определяются естественными причинами и связаны с уменьшением наклона оси вращения Земли. Противофазные тенденции измерения меридионального градиента температуры в Северном и Южном полушарии связаны с различиями в характере подстилающей поверхности (или со структурными различиями природных систем Южного и Северного полушария).

Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой «Эволюция, современное состояние и прогноз развития береговой зоны Российской Арктики» (121051100167-1)

Литература

1. Монин А.С. Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 246 с.
2. Кондратьев К.Я. Глобальный климат и его изменения. Л.: Наука, 1987. 232 с.
3. Кондратьев К.Я. Глобальный климат. СПб.: Наука, 1992. 359 с.
4. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физ. Наук, 2000. Т. 170. № 4. С. 419–445.
5. Будыко М.И. Радиационные факторы современных изменений климата // Известия АН СССР. Серия географическая, 1968. № 5. С. 36–41.
6. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 408 с.
7. Кондратьев К.Я. Радиационные факторы современных изменений глобального климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. 279 с.
8. Шулейкин В.В. Физика моря. М.: АН СССР, 1953. 990 с.
9. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 200 с.
10. Фёдоров В.М. Проблема меридионального переноса тепла в астрономической теории климата // Геофизические процессы и биосфера, 2019 а. Т. 18. № 3. С. 117–128. DOI:10.21455/GPB1019.3-8.
11. Федоров В.М. Эволюция современного глобального климата Земли и ее возможные причины //Геориск, 2020. Т.14. № 4. С. 16 – 29. DOI: 10.25296/1997-8669-2020-14-4-16-29.
12. Федоров В.М. Голоценовый парадокс в астрономической теории климата и проблемы орбитальной настройки // Геофизические процессы и биосфера, 2021. Т. 20. № 1. С. 95–194. DOI: 10.21455/GPB2021.1-9.
13. Climate Change. Chapter 8. Anthropogenic and natural radiative forcing. 2013. P. 659–740.
14. Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике. Фундаментальная и прикладная климатология, 2015. № 1. С. 11–26.
15. Галин В.Я. Параметризация радиационных процессов в атмосферной модели ИВМ РАН. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 1998. Т. 34. № 3. С. 380–389.
16. Jones P.D., New M., Parker D.E., Martin S., Rigor I.G. Surface air temperature and its variations over the last 150 years // Reviews of Geophysics, 1999. V.37. P. 173–199. DOI:10.1029/1999RG900002.
17. Jones P.D., Osborn T.J., Briffa K.R., Folland C.K., Horton B., Alexander L.V., Parker D.E., Rayner N.A. Adjusting for sampling density in grid-box land and ocean surface temperature time series // J. Geophys. Res., 2001. V. 106. P. 3371–3380. DOI:10.1029/2000JD900564
18. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850 // J. Geophys. Res., 2006. V. 111. D12106. DOI: 10.1029/2005JD006548.
19. Jones P.D., Lister D.H., Osborn T.J., Harpham C., Salmon M., Morice C.P. Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2010 // J. Geophys. Res., 2012. V. 117. D05127. DOI: 10.1029/2011JD017139.

20. Temperature data (HadCRUD4, CRUTEM4) Climatic Research Unit global temperature.– Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. – URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/absolute.nc> Режим доступа: (12.04.2023).
21. Солнечная радиация и климат Земли. URL: <http://www.solar-climate.com>. Режим доступа: (12.04.2023).
22. Мохов И.И. О влиянии облачности на энергетический баланс климатической системы // Метеорология и гидрология, 1982. № 8. С. 34–39.
23. Fedorov V.M., Grebennikov P.B. Calculation of long-term averages of surface air temperature based on insolation data // Izvestiya atmospheric and oceanic. 2017. V. 53. № 8. P. 757–768. DOI: 10.1134/S0001433817080047.
24. Giorgini J.D., Yeomans D.K., Chamberlin A.B., Chodas P.W., Jacobson R.A., Keesey M.S., Lieske J.H., Ostro S.J., Standish E.M., Wimberly R.N. JPL's On-Line Solar System Data Service // Bulletin of the American Astronomical Society, 1996. V. 28(3). P. 1158.
25. NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). URL: <http://ssd.jpl.nasa.gov>. Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США. Режим доступа: (12.04.2023).
26. Федоров В.М., Костин А.А. Вычисление инсоляции Земли для периода от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э // Процессы в геосредах, 2019. № 2. С. 254–262
27. Rudolf B., Scheider U. Calculation of gridded precipitation data for the global land-surface using in-situ gauge observations // Proceedings IPWG. Monterey, 2004. P. 1 – 14.
28. Met Office Hadley Centre observations datasets. Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. URL: <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/data/current/download.html>.– Режим доступа: (12.04.2023).
29. Climatic Research Unit (University of East Anglia) and Met Office. Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. URL: <http://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature> Режим доступа: (12.04.2023).
30. Федоров В.М. Многолетние изменения в переносе лучистой энергии на верхней границе атмосферы // Процессы в геосредах, 2019 б. – № 1 (19). – С. 107–111.
31. Федоров В.М. Астрономическая климатология. М., Московский университет, 2002. 236 с.

Литература

1. Monin A.S. Vvedenie v teoriyu klimata. L. Gidrometeoizdat 1982. 246 s.
2. Kondratev K.Ya. Globalnyj klimat i ego izmeneniya. L. Nauka 1987. 232 s.
3. Kondratev K.Ya. Globalnyj klimat. SPb. Nauka 1992. 359 s.
4. Monin A.S. Shishkov Yu.A. Klimat kak problema fiziki Uspexi fiz. Nauk 2000. T. 170. 4. S. 419–445.
5. Budyko M.I. Radiacionnye faktory sovremennykh izmenenij klimata Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya 1968. 5. S. 36–41.
6. Monin A.S. Shishkov Yu.A. Istoriya klimata. L. Gidrometeoizdat 1979. 408 s
7. Kondratev K.Ya. Radiacionnye faktory sovremennykh izmenenij globalnogo klimata. – L. Gidrometeoizdat 1980. 279 s.
8. Shulejkin V.V. Fizika morya. M. AN SSSR 1953. 990 s.
9. Sidorenkov N.S. Atmosfernnye processy i vrashhenie Zemli. SPb. Gidrometeoidat 2002. 200 s.

10. Fyodorov V.M. Problema meridionalnogo perenosa tepla v astronomicheskoy teorii klimata Geofizicheskie processy i biosfera 2019 a. T. 18. 3. S. 117–128. DOI10.21455GPB1019.3-8.
11. Fedorov V.M. E"voluciya sovremennogo globalnogo klimata Zemli i ee vozmozhnye prichiny Georisk 2020. T.14. 4. S. 16 – 29. DOI 10.252961997-8669-2020-14-4-16-29.
12. Fedorov V.M. Golocenovyj paradoks v astronomicheskoy teorii klimata i problemy orbitalnoj nastrojki Geofizicheskie processy i biosfera 2021. T. 20. 1. S. 95–194. DOI 10.21455GPB2021.1-9.
13. Climate Change. Chapter 8. Anthropogenic and natural radiative forcing. 2013. R. 659–740.
14. Alekseev G.V. Proyavlenie i usilenie globalnogo potepleniya v Arktike. Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya 2015. 1. S. 11–26.
15. Galin V.Ya. Parametrizatsiya radiacionnykh processov v atmosfernoj modeli IVM RAN. Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana 1998. T. 34. 3. S. 380–389.
16. Jones P.D. New M. Parker D.E. Martin S. Rigor I.G. Surface air temperature and its variations over the last 150 years Reviews of Geophysics 1999. V.37. P. 173–199. DOI10.10291999RG900002.
17. Jones P.D. Osborn T.J. Briffa K.R. Folland C.K. Horton B. Alexander L.V. Parker D.E. Rayner N.A. Adjusting for sampling density in grid-box land and ocean surface temperature time series J. Geophys. Res. 2001. V. 106. P. 3371–3380. DOI10.10292000JD900564
18. Brohan P. Kennedy J.J. Harris I. Tett S.F.B. Jones P.D. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes a new dataset from 1850 J. Geophys. Res. 2006. V. 111. D12106. DOI 10.10292005JD006548.
19. Jones P.D. Lister D.H. Osborn T.J. Harpham C. Salmon M. Morice C.P. Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations an extensive revision and an update to 2010 J. Geophys. Res. 2012. V. 117. D05127. DOI 10.10292011JD017139.
20. Temperature data (HadCRUT4 CRUTEM4) Climatic Research Unit global temperature.– E"lektronnyj resurs universiteta Vostochnoj Anglii i meteobyuro Xedli. – URL <http://www.cru.uea.ac.uk/crudat/temperature/absolute.nc> Rezhim dostupa (12.04.2023).
21. Solnechnaya radiatsiya i klimat Zemli. URL <http://www.solar-climate.com>. Rezhim dostupa (12.04.2023).
22. Moxov I.I. O vliyaniy oblachnosti na energeticheskij balans klimaticheskoy sistemy Meteorologiya i gidrologiya 1982. 8. S. 34–39.
23. Fedorov V.M. Grebennikov P.B. Calculation of long-term averages of surface air temperature based on insolation data Izvestiya atmospheric and oceanic. 2017. V. 53. 8. P. 757–768. DOI 10.1134/S0001433817080047.
24. Giorgini J.D. Yeomans D.K. Chamberlin A.B. Chodas P.W. Jacobson R.A. Keesey M.S. Lieske J.H. Ostro S.J. Standish E.M. Wimberly R.N. JPL's On-Line Solar System Data Service Bulletin of the American Astronomical Society 1996. V. 28(3). P. 1158.
25. NASA Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). URL <http://ssd.jpl.nasa.gov>. E"lektronnyj resurs nacionalnogo aerokosmicheskogo agentstva SShA. Rezhim dostupa (12.04.2023).
26. Fedorov V.M. Kostin A.A. Vychislenie insolyatsii Zemli dlya perioda ot 3000 g. do n.e. do 2999 g. n.e Processy v geosredax 2019. 2. S. 254–262
27. Rudolf B. Scheider U. Calculation of gridded precipitation data for the global land-surface using in-situ gauge observations Proceedings IPWG, Monterey 2004. P. 1 – 14.
28. Met Office Hadley Centre observations datasets. E"lektronnyj resurs universiteta Vostochnoj Anglii i meteobyuro Xedli. URL <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4data/current/download.html>.– Rezhim dostupa (12.04.2023).

29. Climatic Research Unit (University of East Anglia) and Met Office. E"lektronnyj resurs universiteta Vostochnoj Anglii i meteobyuro Xedli. URL <http://crudata.uea.ac.uk/crudat/temperature> Rezhim dostupa (12.04.2023).
30. Fedorov V.M. Mnogoletnie izmeneniya v perenose luchistoj energii na verxnej granice atmosfery Processy v geosredax 2019 b. – 1 (19). – S. 107–111.
31. Fedorov V.M. Astronomicheskaya klimatologiya. M. Moskovskij universitet 2002. 236 s.

Insolation Contrast as a Driver of Global Climate Change

Valery Fedorov^{1,2}, Alim Zalikhanov^{1,3}, Denis Frolov^{1,4}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²E-mail: fedorov.msu@mail.ru, ³E-mail: bulungu@yandex.ru,

⁴E-mail: frolov@geogr.msu.ru

Abstract. Based on the relationship between the latitudinal distribution of annual insolation and near-surface air temperature (NSAT), annual insolation temperatures for the period from 1900 to 2016 are calculated. The study shows that the trends in the change of NSAT are determined by long-term changes in the contrast of insolation temperatures and insolation contrast (IR factor). Long-term changes in insolation contrast generically, in the areas of heat source and sink, reflect long-term changes in the meridional gradient of insolation regulating meridional heat transfer in the ocean–atmosphere system. It is shown that the tendency of the increase in the PTV anomaly and the observed global warming of the climate are mainly determined by natural causes, and are associated with a decrease in the inclination of the Earth's axis of rotation.

The work presents general scheme of the mechanism of changing the temperature regime of the Earth and the hemispheres. It is determined that with the observed tendency to increase the contrast of insolation temperatures and insolation contrast, the meridional temperature gradient decreases in the Northern Hemisphere, and increases in the Southern hemisphere.

Keywords: climate change, insolation, insolation temperatures, near-surface air temperature, insolation contrast, meridional temperature gradient, trends and causes of change.

**Исследование пространственно-временной
неоднородности снежной толщи на площадке
Метеорологической обсерватории МГУ зимой 2022/23
года**

Фролов Денис Максимович ^[0000-0002-0307-8175]^{1,2}, Сократов Сергей Альфредович
^[0000-0001-9265-2935]¹, Кошурников Андрей Викторович ^[0000-0001-6160-7795]¹, Гагарин
Владимир Евгеньевич^[0000-0001-8100-4000]¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²E-mail: denisfrolov@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты полевых исследований, проведенных на метеоплощадке МГУ за зимний период 2022/2023. Целью наблюдений являлось изучение развития снежной толщи и ее пространственной изменчивости за один зимний сезон. Полевые исследования заключались в анализе стратиграфических слоев снежной толщи и измерении их плотности. Полученные данные позволили охарактеризовать и оценить изменения снежных слоев, их структуру и плотность в пространственно-временном отношении. Результаты работы отображены на графиках пространственно-временной изменчивости снежного покрова за 2022/2023, проанализирована эволюция снежной толщи за зимний период. Анализ наблюдений отражает действительно высокую пространственную и временную изменчивость снежного покрова зимой, что позволяет не только оценить и сравнить полученные данные с прошлыми исследованиями, но и дополнить и усовершенствовать уже имеющуюся информацию о неоднородности снежного покрова.

Ключевые слова: снежный покров, пространственно- временные неоднородности

1 Введение

К настоящему времени пространственно-временные изменения снежного покрова становится возможным моделировать для различных территорий, основываясь на полученных ранее данных о физических и стратиграфических свойствах снежной толщи, а также опираясь на метеорологическую информацию по территории. Проведившиеся ранее исследования с использованием современного оборудования и технологий, которые позволили выявить закономерности пространственной изменчивости снежного покрова, дают возможность представлять неоднородность снежной толщи по времени и в пространстве с большой точностью и без необходимости полевых работ [1, 2]. Однако для проведения наиболее точной верификации результатов всё-таки требуется произведение натуральных наблюдений.

2 Материалы и методы

В недавно опубликованном очередном ежегодном докладе Росгидромета о состоянии климата на территории России в 2022 году [3] говорится об ускорение климатических изменений в России. В частности, 2022 год для России в целом занял 5-е место в ранжированном по убыванию ряду среднегодовых температур с 1936 года, аномалия среднегодовой температуры воздуха (отклонение от среднего за 1991-2020 гг.) составила $+0,87^{\circ}\text{C}$.

Так, зимний период (ноябрь-март) 2022/23 года в Москве был такой же, как и предыдущий ($-2,4^{\circ}\text{C}$), теплее, чем 2020/21 ($-3,9^{\circ}\text{C}$), но холоднее, чем 2019/20 ($1,4^{\circ}\text{C}$) зимний сезон. Далее ещё предыдущие зимние сезоны 2016/17-2018/19 были холоднее ($-3,46$ $-3,6$, $-3,1$), а 2013/14-2015/16 ($-1,08$, $-1,96$, $-1,88$ $^{\circ}\text{C}$) - были теплее. Зимние сезоны 2009/10-2012/13 ($-5,66$, $-5,08$, $-4,3$, $-5,1^{\circ}\text{C}$) были опять холоднее, чем достаточно средние с учётом потепления 2021/22 и 2022/23 (рис. 1).

За зимний период (ноябрь-март) 2022/23 года в Москве выпало среднее количество осадков (266 мм) (рис. 2). Средняя февральская толщина снежного покрова была также на среднем уровне за последние годы (32 см) (рис.3).

Поэтому в работе представлены результаты полевых исследований, проведенных на метеоплощадке МГУ за зимний период 2022/2023. Целью наблюдений являлось изучение развития снежной толщи и ее пространственной изменчивости за один зимний сезон. Полевые исследования заключались в анализе стратиграфических слоев снежной толщи и измерении их плотности.

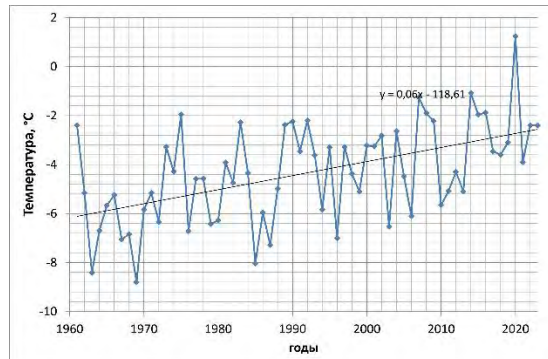


Рис. 1. Средняя температура воздуха зимних месяцев (ноябрь-март) в Москве за 1961-2023 гг.

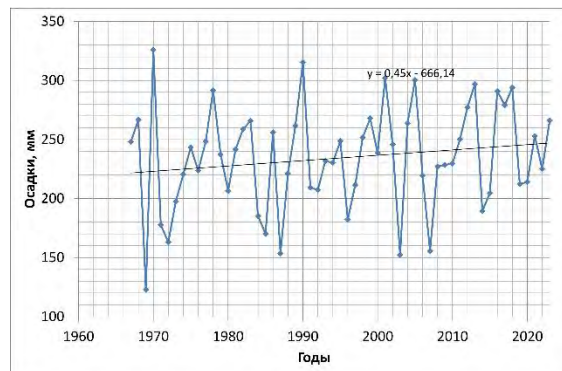


Рис. 2. Изменение суммы осадков зимних месяцев (ноябрь-март) в Москве за 1961-2023 гг.

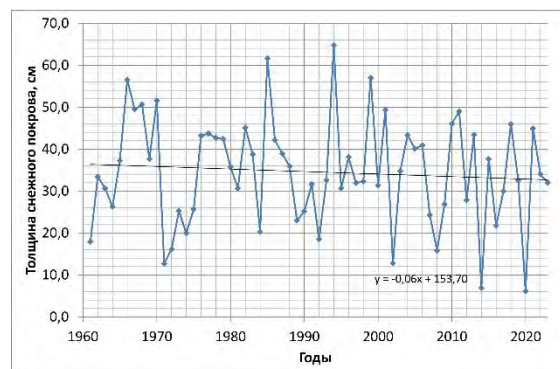


Рис. 3. Изменение средней за февраль толщины снежного покрова в Москве за 1961-2023 гг.

Зима 2022-2023 года оказалась неоднородной по температурному режиму, при относительно близкой к норме среднемесячной температуре декабря. В январе и феврале наблюдалась в основном положительная аномалия температуры на большей части европейской территории страны. В среднем температурный режим декабря оказался близким к среднегодовым значениям. По данным метеостанции ВДНХ в Москве среднемесячная температура декабря была $-4,1^{\circ}\text{C}$, что выше климатической нормы на $0,4^{\circ}\text{C}$. Среднемесячная температура января по данным метеостанции ВДНХ в Москве составила $-4,7^{\circ}\text{C}$, что выше климатической нормы на $1,5^{\circ}\text{C}$. Среднемесячная температура февраля в Москве составила $-4,1^{\circ}\text{C}$, что выше климатической нормы на $1,8^{\circ}\text{C}$. Количество осадков примерно соответствовало среднегодовым значениям для данного периода года, хотя в декабре их было примерно в два раза больше нормы и составило $31,2$ мм в ноябре, $111,4$ мм в декабре, $28,9$ мм в январе и $33,8$ мм в феврале (рис. 4).

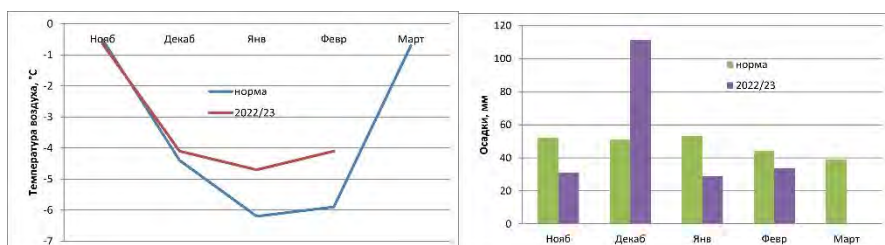


Рис. 4. Изменение температуры воздуха и количества осадков на метеостанции ВДНХ за зимний период 2022/23

Дату 15 ноября 2022 можно считать датой установления снежного покрова в Москве в зимний период 2022-2023. Это может быть одна из самых ранних дат установления устойчивого снежного покрова в Москве с начала нового века. Дата самого раннего устойчивого снежного покрова, начиная с 2000 г. — 29 октября 2016 г. Далее следуют 14 ноября 2001 и 2007 гг. и 18 ноября 2004 г.



Рис. 5. Изменение температуры воздуха, осадков и толщины снежно покрова по метеостанции ВДНХ за зимний период 2022/23

Таким образом, снежный покров в зимний сезон 2022/2023 установился в середине ноября и пролежал до конца марта. За это время волны холода с

опусканием температуры до -10 - -20°C сменялись оттепелями с небольшой положительной температурой порядка трех раз. Изменение температуры воздуха, осадков и толщины снежно покрова за зимний период 2022/23 изображено на рис. 5.

В связи с обильными декабрьскими снегопадами толщина снежного покрова 22.12.2022 по рейке на метеоплощадке МГУ составила 31 см, что явилось своеобразным рекордом снегонакопления. Дальше в январе и феврале следовали сильные перепады температуры с понижением до -20°C и оттепели, что способствовало возникновению ледяных корок и горизонтов разрыхления глубинной изморози. Почва под снегом не промерзала. Изменение температуры в воздухе и в толще снега показано на рис. 6.

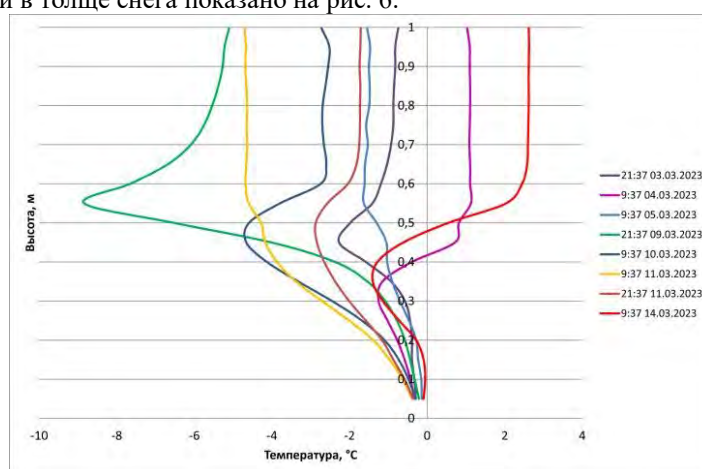


Рис. 6. Изменение температуры в воздухе и в толще снега

На графиках на рисунке 6 виден температурный минимум на границе снежной толщи и атмосферы за счёт испарения с поверхности снега как в статье [4].

3 Результаты и заключение

Изучение стратиграфии снежной толщи на метеоплощадке МГУ зимой 2022-2023 года проводилось 22 декабря, 12 и 17 января, 1 и 21 февраля и 2 и 14 марта. 17 января была также пройдена траншея. Описание шурфов приведены в таблицах 1-7:

Таблица 1. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 22 декабря 2022 года.

Слой, см	Описание
34-31	Слой состоит из формирующейся ледяной корки (инъекционной) с размером кристаллов (зёрен) до 3 мм (видимо на поверхности был иней). Поэтому поверхность больше похожа на глубинную изморозь.
31-20	Слой мокрого, рыхлого снега, образовавшийся в результате недавних снегопадов. Проникает кулак. (147, 143, 129 ср. плотность 140 кг/м ³)
20-15	Слой более плотного, но менее твёрдого снега, чем в вышележащем слое. Бывший метелевый снег. Проникает 4 пальца. (212, 205, 186 ср. плотность 201 кг/м ³)
15-14	Ветровая корка толщиной 1 см. В будущем станет ледяной, если её не размост.
14-9	Слой мокрого, менее плотного снега, чем в вышележащем слое. Проникают 4 пальца. Размер кристаллов (зёрен) 1-2 мм. (245, 228, 222 ср. плотность 232 кг/м ³)
9-7	Слой относительно рыхлого, подтаявшего снега с ограниченными кристаллами глубинной изморози. (Разрыхлённая корка) Размер кристаллов 2 мм.
7-0	Слой бывшей глубинной изморози с размером кристаллов до 3 мм и с ледяными включениями (304, 288, 290, 374 ср. плотность 314 кг/м ³)

Таблица 2. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 12 января 2023 года.

Слой, см	Описание
31-28	Слой рыхлого осевшего снега, состоит из разрушенных снежинок с размером до 2 мм (115, 116, 101, 108 ср. плотность 110 кг/м ³)
28-27	Ледяная корка
27-26	Слой рыхлого снега с размером зёрен 1 мм
26-25	Ледяная корка
25-20	Льдистый горизонт, сложенный из мелкозернистых кристаллов с ледяными агрегатами (231, 294, 270 ср. плотность 265 кг/м ³)
20-15	Мелкозернистый снег с ледяными образованиями (347, 290, 314 ср. плотность 317 кг/м ³)
15-12	Ледяная корка
12-10	Среднезернистый снег. Проникает 4 пальца. (342, 356, 340 ср. плотность 3460 кг/м ³)
10-5	Сильно льдистый горизонт, глубинная изморозь. В нижней части разрыхлённый (324, 365, 350 ср. плотность 346 кг/м ³)
5-0	Притёртая ледяная корка. Размер кристаллов (зёрен) до 3 мм. (395, 363, 387 ср. плотность 382 кг/м ³)

Таблица 3. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 17 января 2023 года.

Слой, см	Описание
30-28	Слой свежеснежавшего влажного снега
28-24	Слой среднезернистого (до 2 мм) не осевшего переработанного снега (проникают 4 пальца) (135, 122, 127 ср. плотность 128 кг/м ³)
24-22	Ледяная корка
22-17	Разрыхлённый слой среднезернистого снега (до 2 мм) с ледяными включениями (292, 256, 319 ср. плотность 289 кг/м ³)
17-15	Слабо льдистый горизонт, сложенный из среднезернистых кристаллов (до 2 мм)
15-10	Ледяная корка с размером зёрен 2-3 мм.
10-8	Разрыхлённый горизонт среднезернистого снега (до 2 мм) проходит палец
8-0	Сильно леденистый слой с размером зёрен до 3 мм и с наличием ледяных агрегатов. Палец не проходит.

Таблица 4. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 1 февраля 2023 года.

Слой, см	Описание
28-26	Слой свежеснежавшего влажного снега
26-9	Слой смёрзшегося снега с размером зёрен 2-3 мм, с начальной стадией огранки с ледяными слоями. Верх слоя (329, 281, 303 ср. плотность 304 кг/м ³) Низ слоя (440, 435, 445 ср. плотность 440 кг/м ³) Корки на горизонтах 26, 23, 17, 15, 13
9-0	Леденистый слой (370, 340, 340 ср. плотность 350 кг/м ³)

Таблица 5. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 21 февраля 2023 года.

Слой, см	Описание
41-46	Слой свежеснежавшего влажного снега На поверхности видны звездочки (51, 42, 44 ср. плотность 46 кг/м ³)
34-41	Слой осевшего снега. Проникает кулак (142, 171, 163 ср. плотность 159 кг/м ³)
26-34	Слой мелкозернистого снега с размером зёрен до 1мм (230, 208, 189. плотность 209 кг/м ³)
13-26	Твёрдый леденистый слой огранённых крупнозернистых кристаллов (до 3 мм) глубинной изморози (проникает палец) (333, 320, 300. ср. плотность 318 кг/м ³)
9-26	Твёрдый леденистый слой среднезернистых кристаллов (до 2 мм) глубинной изморози (карандаш проходит, а палец-нет) (386, 420, 342. ср. плотность 383 кг/м ³)
0-9	Сильно леденистый слой агрегатов средне-крупнозернистых (до 2-3 мм) глубинной изморози

Таблица 6. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 2 марта 2023 года.

Слой, см	Описание
35-36	Слой свежеснежавшего влажного снега. На поверхности видны дендритные кристаллы (снежинки-звездочки)
31-35	Слой осевшего снега. Смёрзшиеся оплавленные кристаллы и агрегаты. Размер зёрен 1-2 мм
19-31	Слой преобразованного снега (собираетельная перекристаллизация, округление). Размер зёрен 1-2мм. На уровне 27 см есть ещё корка. (242, 231, 250. ср. плотность 241 кг/м3)
12-19	Твёрдый леденистый горизонт (проникает карандаш) (282, 280, 225 ср. плотность 262 кг/м3)
9-12	Твёрдый леденистый слой (проникает только нож)
	Разрыхление из огранённых кристаллов глубинной изморози
0-9	Сплошная ледяная корка

Таблица 7. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 14 марта 2023 года.

Слой, см	Описание
45-49	Слой влажного осевшего снега. Видны оплавленные кристаллы (режелационное округление). Размер кристаллов (зёрен) до 2 мм. Входит 4 пальца. (145, 150,150. ср. плотность 148 кг/м3)
43-45	Ледяная корка, образовавшаяся в результате ветра и таяния. Размер зёрен до 2 мм.
39-43	Слой влажного осевшего снега с отсутствием округления. Размер зёрен 1 мм. Проникают 4 пальца. (240, 280, 239. ср. плотность 253 кг/м3)
34-39	Леденистый слой СЗ-КЗ кристаллов размером 2-3 мм в начальной стадии огранки с ледяными включениями (проникает карандаш) (343, 321, 322 ср. плотность 328 кг/м3)
24-34	Влажный среднезернистый снег с размером кристаллов 2 мм. (265, 280, 283 ср. плотность 276 кг/м3)
14-24	Слой снежных кристаллов с огранкой с размером 2-3мм и с обилием ледяных включений (проникает палец) (337, 328, 301 ср. плотность 322 кг/м3)
9-14	Слой снежных кристаллов с размером 2-3мм и с обилием ледяных включений (проникает карандаш) (358, 363, 386 ср. плотность 372 кг/м3)
0-9	Сильно леденистый слой огранённых кристаллов размером 2 мм (проникает карандаш) (371, 391, 384 ср. плотность 382 кг/м3)

Стратиграфические колонки на 22 декабря 2022 и 21 февраля 2023 изображены на рис. 7.

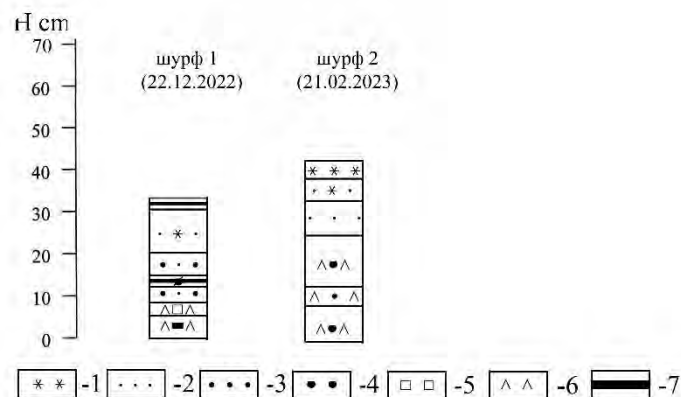


Рис. 7. Наблюдаемые разрезы снежного покрова на метеоплощадке 22 декабря 2022 и 21 февраля 2023 г. Условные обозначения: 1 – свежеснеживший снег, 2 – мелкозернистый снег (0,1-0,5 мм), 3 – среднезернистый снег (0,5-1 мм), 4 – крупнозернистый снег (1-3,5 мм); 5 – оgranённые кристаллы; 6 – кристаллы глубинной изморози 7 – ледяная корка (по международной классификации [5]).

Полученные данные позволили охарактеризовать и оценить изменения снежных слоев, их структуру и плотность в пространственно-временном отношении. Результаты работы отображены на графиках пространственно-временной изменчивости снежного покрова за 2022/2023, проанализирована эволюция снежной толщи за зимний период. Анализ наблюдений отражает действительно высокую пространственную и временную изменчивость снежного покрова зимой, что позволяет не только оценить и сравнить полученные данные с прошлыми исследованиями [6], но и дополнить и усовершенствовать уже имеющуюся информацию о неоднородности снежного покрова. Так средняя температура с 1960-х годов выросла примерно на 4 градуса (с -6 до -2), при этом среднее количество осадков несколько выросло - примерно с 225 до 250 мм, а толщина снежного покрова снизилась с 38 до 32 см.

Литература

1. Голубев В.Н., Петрушина М.Н., Фролов Д.М. Закономерности формирования стратиграфии снежного покрова // Лед и снег. — 2010. — № 1. — С. 58–72.
2. Комаров А. Ю. и др. Пространственно-временная неоднородность снежной толщи по данным пенетрометра SnowMicroPen // Лед и Снег. – 2018. – Т. 58. – №. 4. – С. 473–485.
3. Отчёт об изменении климата в РФ за 2022 год. (http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimate_RF_2022_s_podpisiyu_compressed_wit_h_cover.pdf)
4. Голубев В. Н., Фролов Д. М. Особенности миграции водяного пара на границах раздела атмосфера–снежный покров и снежный покров–подстилающий грунт // Криосфера Земли. — 2015. — Т. 19, № 1. — С. 22–29
5. Фирц Ш. и др. Международная классификация для сезонно выпадающего снега

- (руководство к описанию снежной толщи и снежного покрова). – 2012.
6. Фролов Д. М. и др. Изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи на площадке МО МГУ зимой 2018/2019 гг //Эколого-климатические характеристики атмосферы Москвы в 2018 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени МВ Ломоносова. – 2019. – С. 225-230.

References

1. Golubev V.N., Petrushina M.N., Frolov D.M. Zakonomernosti formirovaniya stratigrafii snezhnogo pokrova // Led i sneg. — 2010. — № 1. — S. 58–72.
2. Komarov A. YU. i dr. Prostranstvenno-vremennaya neodnorodnost' snezhnoy tolshchi po dannym penetrometra SnowMicroPen //Lod i Sneg. – 2018. – Т. 58. – №. 4. – S. 473-485.
3. Otchot ob izmenenii klimata v RF za 2022 god. (http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimata_RF_2022_s_podpisiyu_compressed_with_cover.pdf)
4. Golubev V. N., Frolov D. M. Osobennosti migratsii vodyanogo para na granitsakh razdela atmosfera–snezhnyy pokrov i snezhnyy pokrov–podstilayushchiy grunt // Kriosfera Zemli. — 2015. — Т. 19, № 1. — S. 22–29
5. Firts S.H. i dr. Mezhdunarodnaya klassifikatsiya dlya sezonno vypadayushchego snega (rukovodstvo k opisaniyu snezhnoy tolshchi i snezhnogo pokrova). – 2012.
6. Frolov D. M. i dr. Izucheniye prostranstvenno-vremennoy neodnorodnosti snezhnoy tolshchi na ploshchadke MO MGU zimoy 2018/2019 gg //Ekologo-klimaticheskiye kharakteristiki atmosfery Moskvy v 2018 g. po dannym Meteorologicheskoy observatorii MGU imeni MV Lomonosova. – 2019. – S. 225-230

Investigation of the Spatio-Temporal Heterogeneity of the Snow Thickness at the Site of the Lomonosov MSU in the Winter of 2022/23

Denis Frolov^{1,2}, Sergey Sokratov¹, Andrey Koshurnikov¹, Vladimir Gagarin¹

¹Lomonosov Moscow State University

²Email: denisfrolov@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of field studies conducted at the MSU meteorological site for the winter period 2022/2023. The purpose of the observations was to study the development of the snow column and its spatial variability in one winter season. Field research consisted in the analysis of stratigraphic layers of snow and measuring their density. The data obtained made it possible to characterize and evaluate changes in snow layers, their structure and density in spatiotemporal terms. The results of the work are displayed on the graphs of the spatial and temporal variability of the snow cover for 2022/2023, the evolution of the snow column over the winter period is analyzed. The analysis of observations reflects a really high spatial and temporal variability of snow cover in winter, which allows not only to evaluate and compare the data obtained with past studies, but also to supplement and improve the already available information on the heterogeneity of snow cover.

Keywords: snow cover, spatial and temporal heterogeneities.

Парусная энергетическая установка наземного базирования: определение коэффициента мощности

Чекарев Константин Владимирович [0000-0002-5140-5142]^{1,2}

Залиханов Алим Михайлович [0000-0002-2540-6045]^{1,3}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²E-mail: konstantintchekarev@yandex.ru

³E-mail: bulungu@yandex.ru

Аннотация. Установки большой мощности, преобразующие кинетическую энергию ветра в электроэнергию, из-за низкой плотности воздуха имеют большие размеры, что приводит к необходимости сооружать большие конструкции при использовании в установках 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 парусной энергетической установки наземного базирования, включающей платформы с установленными на них парусами. Проведенные экспериментальные исследования показали работоспособность входящих в экспериментальную установку систем, найдены элементы конструкции, которые могут быть использованы при реализации парусной установки наземного базирования. Разработан метод точного измерения величины коэффициента трения, что позволило найти величину сил, действующие на платформу, и определить коэффициент эффективности использования кинетической энергии воздушного потока макетом парусной энергетической установки наземного базирования. Результаты исследований представлены в данной статье.

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

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 [1], но это направление развития не получило. С развитием возобновляемой энергетики установки с преобразователем энергии в виде ветроколеса стали использоваться для производства электроэнергии, и устанавливаются как на суше, так и на море. Ветроэнергетика является одной из самых быстроразвивающихся отраслей возобновляемой энергетики. По оценкам The Global Wind Council за 2021 год [2], 2020 был рекордным по вводу новых мощностей. В большинстве действующих ветровых установках преобразование энергии ветрового потока в электроэнергию 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 100 метров. Для удержания ветроколеса таких размеров необходима прочная конструкция и соответствующее основание, чтобы выдерживать большой вес установки и ветровые нагрузки, что приводит к усложнению конструкций и увеличению их стоимости. Предлагаются различные варианты решения проблемы, связанной с большими размерами преобразователей энергии ветрового потока.

2 Актуальность исследования и постановка цели

Известен вариант ветроэнергетической морской установки повышенной мощности, в которой система жестких парусов, выполненная в виде вертикальных лопастей, удерживается на поверхности воды кольцевым понтоном, который вращается вокруг вертикальной оси [3]. В предлагаемой конструкции энергетической установки проблема создания прочной опоры при больших размерах преобразователей энергии снимается, но при этом возникает другая проблема. Установка может работать только при большом диаметре кольцевого понтона, в противном случае система наветренных лопастей будет перекрывать систему лопастей, находящихся за ними, однако при большом диаметре кольцевого понтона практически невозможно создать конструкцию, способную выдерживать волновое воздействие.

Известны варианты парусной энергетической установки, позволяющие снять проблему больших размеров преобразователя энергии ветрового потока и проблему устойчивости к волновому воздействию [4, 5, 6]. Вариант энергетической установки [5] содержит парусный катамаран, к корпусам которого снизу прикреплен гидрогенератор, выполненный в виде крыльчатки и электрогенератора. Катамаран движется циклично по дуговой траектории в

заданном угловом интервале, что позволяет увеличить эффективность преобразования энергии ветрового потока. Для движения по такой траектории катамаран выполнен в виде конструкции, симметричной относительно носа и кормы, и имеет систему изменения положения парусов и систему управления движением катамарана. Движение по дуговой траектории позволяет автоматизировать этот процесс [7]. Вариант парусной энергетической установки [6] позволяет повысить эффективность использования энергии ветрового потока за счет задания области перемещения катамарана, в которой он все время движется курсом галфвинд. Однако в предлагаемых вариантах энергетических установок их эффективность также оказывается низкой, поскольку часть энергии ветрового потока расходуется на перемещение катамарана. Кроме этого, возникают сложности с передачей вырабатываемого электричества внешнему потребителю электричества.

Эффективность парусной энергетической установки можно повысить и при этом снять проблему передачи вырабатываемой энергии внешнему потребителю, если сделать парусную энергетическую установку наземного базирования.

Известен вариант конструкции парусной энергетической установки наземного базирования [8], который является сухопутным аналогом ветроэнергетической морской установки [3]. Установка содержит платформы, соединенные в замкнутый состав, который движется по радиальному рельсовому пути. 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. Как и ветроэнергетическая морская установка [3], предлагаемая конструкция, может работать только при большом диаметре рельсового пути, поскольку при малых диаметрах система наветренных парусов будет перекрывать систему парусов, расположенную за ней, 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 так, как это сделано в парусной энергетической установке морского базирования [5]. Это означает, что платформы должны двигаться циклично в заданном интервале перемещений и иметь систему изменения положения парусов и систему управления движением платформ для того, чтобы платформы начинали двигаться в противоположную сторону в точках, ограничивающих интервал перемещений платформ. Была создана экспериментальная установка, элементы которой отработывались в процессе проведения исследований, при этом учитывался опыт и использовались элементы экспериментальной установки, на которой проводились исследования парусной энергетической установки морского базирования [5]. Экспериментальные исследования, результаты которых изложены в статье [9] показали работоспособность входящих в неё элементов. Была разработана методика и проведено определение сил, действующих на платформы путем определения скорости платформы при её движении с грузами разного веса.

Результаты этих исследований, представленные в статье [10], показали наличие ряда проблем, связанных с реализацией этой методики. Одной из них является разработка метода точного измерения величины коэффициента трения.

Нами была разработана методика точного измерения коэффициента трения, в которой к одной из сторон платформы крепилась перекинутая через блок нить с подвешенным на другом конце грузом. Величина груза подбиралась таким образом, чтобы платформа начинала медленно двигаться с постоянной скоростью. В процессе проведения предварительных экспериментов по этой методике, выяснилось, что поверхность, по которой движется платформа, должна обладать рядом свойств: она должна быть ровной, и строго горизонтальной. Было принято решение, что 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 земле, например, в районах вечной мерзлоты.

3 Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Экспериментальная установка включала генератор ветрового потока, платформы, на которых были установлены паруса, систему изменения положения парусов, направляющую систему, и систему управления движением платформ. Для проведения экспериментов с определением коэффициента трения была разработана конструкция двух типов эстакад. Платформы двигались по поверхности двух эстакад - конструкций склеенных из пластиковых профилей, расположенных на расстоянии 145 мм друг от друга, и отстоящих от горизонтальной плоскости на высоту 160 мм. В середине каждой эстакады находился направляющий рельс, выполненный из пластикового профиля сечением 12 x 12 мм, на котором была нанесена разметка с интервалом 10 см.

Генератор ветрового потока был выполнен в виде системы вытяжных вентиляторов в количестве 13 штук, расположенных рядом друг с другом на рейке, длиной 2 метра. Из-за того, что платформы двигались по эстакаде, размер вертикальных стоек, к которым крепилась рейка, был увеличен на 160 мм. На Рис.1 представлено изображение генератора ветрового потока и эстакад. Центры эстакад отстояли от генератора ветрового потока на расстоянии 50 см и 65 см. На Рис.2 представлен график распределения скоростей в вертикальных плоскостях, отстоящих от генератора ветрового потока на расстояниях 35 см, 50 см и 65 см. Как показали результаты исследований, изложенные в статье [9], несмотря на разницу распределения скоростей в этих плоскостях, эффективность воздействия ветрового потока на скорость платформ оказалась практически одинаковой.

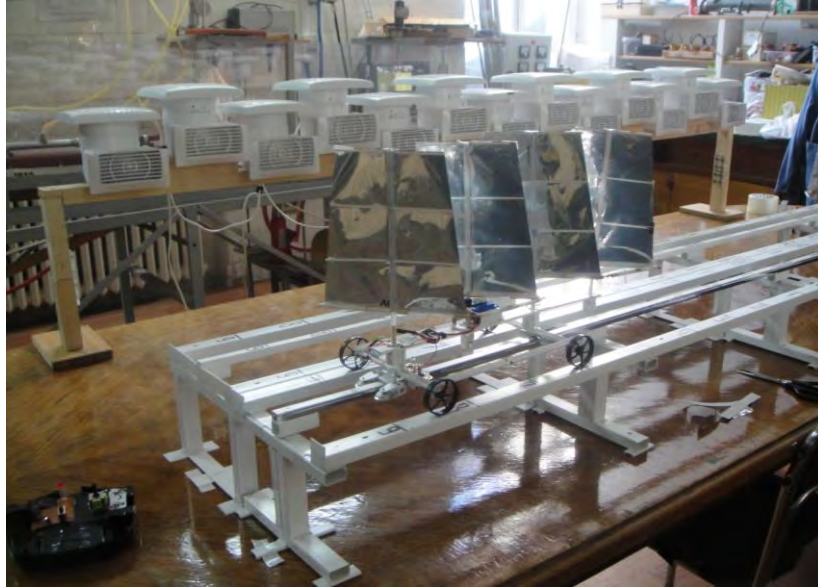


Рис. 1. Генератор ветрового потока (на дальнем фоне) и эстакады с установленной платформой.

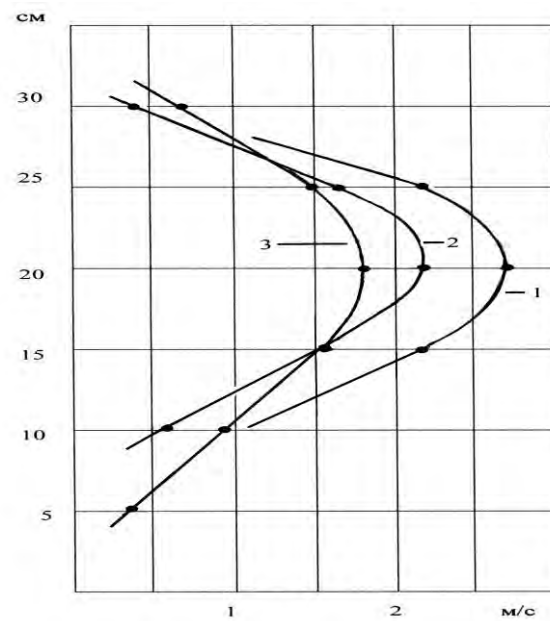


Рис. 2. График распределения скоростей в вертикальных плоскостях, отстоящих от генератора ветрового потока на расстояниях: 1) 35 см, 2) 50 см, 3) 65 см.

Экспериментальные исследования, представленные в данной статье, проводились на тех же платформах, что и эксперименты, результаты которых приведены в статье [9]. Изображение платформы представлено на Рис.3. Рамка платформы, к которой крепились 4 пластмассовых колеса диаметром 40 мм, имела размер 22 см в длину и 17 см в ширину. В середине платформы на высоте 30 мм от рамки крепилась рейка, на которой в поворотных устройствах глубиной 30 мм устанавливались мачты, выполненные в виде пластиковых трубок диаметром 5 мм и высотой 30 см. Мачты были расположены на расстоянии 11 см друг от друга. Они поворачивались вокруг своей оси с помощью системы изменения положения парусов, включавшей электромотор с редуктором, на вал которого была надета небольшая шестеренка, а на одной из мачт была закреплена шестеренка большего диаметра. В зависимости от поставленной задачи мачты могли поворачиваться в угловом диапазоне 70° - 100° . К мачтам были прикреплены паруса площадью 256 см^2 каждый. Чтобы снизить ветровую нагрузку на систему изменения положения парусов, они были симметричной формы относительно мачты, как это видно на Рис. 3. Размеры парусов составляли по высоте 24 см, по ширине внизу 16 см и вверху 11 см. Паруса были сделаны из металлизированной пленки, которая крепилась к мачте и нижней рее, и были усилены 3 ребрами. Для обеспечения одновременного изменения положения парусов нижние реи были соединены легкими перемычками.

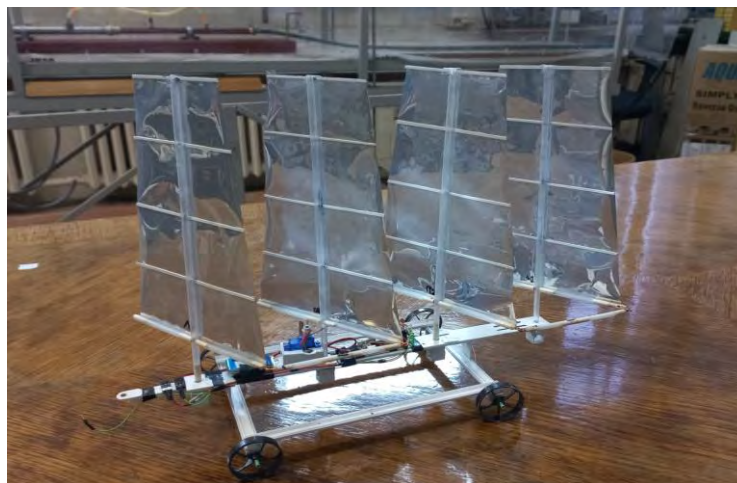


Рис. 3. Платформа с парусами.

Генератор ветрового потока и эстакады находились на горизонтальной плоскости длиной 3 метра и шириной 1,2 м. Траектория движения платформ задавалась направляющей системой, которая включала также направляющий рельс и 4 колеса диаметром 15 мм, закрепленных по 2 на коротких сторонах рамки 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.

4 Результаты экспериментов и обсуждение

Были проведены две серии экспериментов. В первой серии проводилось измерение коэффициента трения платформ по разработанной методике.

Во второй серии экспериментов проводилось исследование движения платформ с грузами разного веса. При проведении этих экспериментов движение платформ снималось на видеокамеру. По полученным записям строились графики движения платформ в зависимости от времени, по которым определялась скорость движения платформ.

Эксперименты по измерению коэффициента трения k_T платформы массой 183 г проводились с грузами 1 разного веса. Результаты измерений представлены в таблице 1, где груз 1 – это груз, утяжеляющий вес платформы, а груз 2 – это груз, при котором платформа могла двигаться с постоянной скоростью по эстакаде.

Таблица 1. Величина коэффициента трения платформы с грузами 1 разного веса.

Вес груза 1, г	0	100	200	300	400
Вес груза 2, г	4,2	6,0	7,7	9,6	11,6
коэффициент трения k_T	0,023	0,021	0,020	0,020	0,020

Как видно из таблицы 1, величина коэффициента трения зависит от веса 1, установленного на платформу. Вероятнее всего это связано с деформацией платформы.

Результаты второй серии экспериментов, в которой измерялись скорости платформы, движущейся по эстакаде с грузами 1 разного веса, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Величина скорости платформы, движущейся по эстакаде с грузами 1 разной величины.

Вес груза 1, г	0	100	200	300	400	500
Скорость платформы, см/с	59	47	38	28	20	11

На Рис. 4 приведен график движения платформы по эстакаде, направляющий рельс которой отстоит от генератора ветрового потока на расстоянии 50 см.

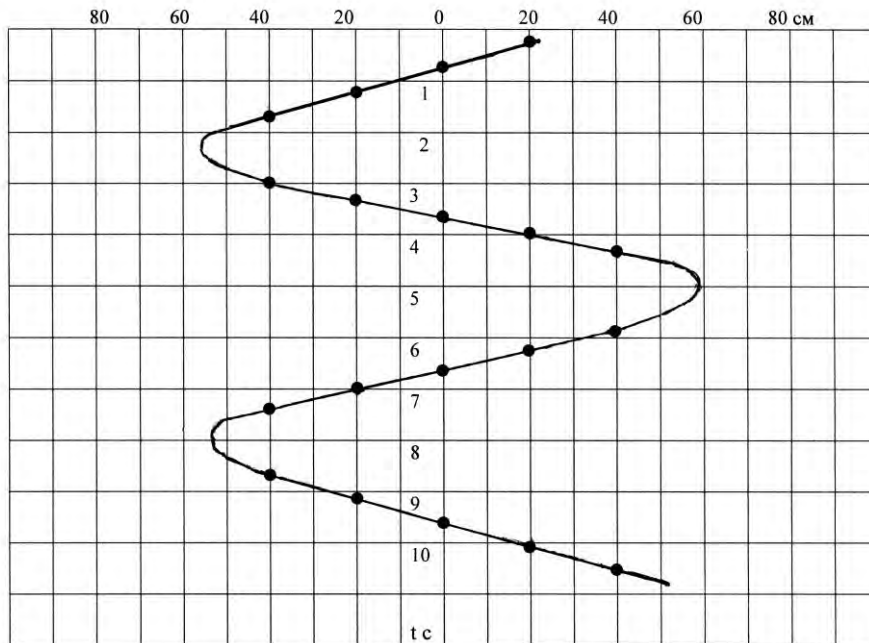


Рис. 4. График движения платформы на эстакаде, направляющий рельс которой расположен на расстоянии 50 см. от генератора ветрового потока.

На стадии равномерного движения платформы для действующих на неё сил выполняется равенство

$$F + F_T + F_C = 0 \quad (1)$$

Где:

F – аэродинамическая сила ветрового потока, действующая на паруса

$F_T = k_T mg$ – сила трения

$F_C = k_C V^2$ - сила сопротивления

V – скорость платформы

Используя равенство (1) для двух грузов с массами m_1 и m_2 можно написать соотношения

$$k_T (m_2 - m_1)g = k_C (V_1^2 - V_2^2) \quad (2)$$

$$k_C = k_T \Delta mg / \Delta V^2 \quad (3)$$

Подставляя в соотношение (3) данные из таблицы для скоростей двух грузов 200 г и 400 г, для которых, как это видно из таблицы 1, коэффициенты трения равны, можно найти значение величины коэффициента сопротивления $k_C = 0,00383 \text{ г} \cdot \text{с}^2 / \text{см}^2$.

Зная величину коэффициента сопротивления, можно вычислить величины сил, действующих на платформу массой $M=183 \text{ г}$, которая движется без груза:

$$F_T = k_T M g = 0,023 \times 183 \text{ г} = 4,2 \text{ г} = 0,042 \text{ н}$$

$$F_c = k_c V^2 = 0,00383 \text{ г} \frac{\text{см}^2}{\text{с}^2} \times 2209 \frac{\text{см}^2}{\text{с}^2} = 8,5 \text{ г} = 0,082 \text{ н}$$

$$F = 4,2 \text{ г} + 8,5 \text{ г} = 12,7 \text{ г} = 0,127 \text{ н}$$

Зная величину аэродинамической силы F , действующей на 4 паруса платформы, можно определить мощность, развиваемой этой силой и эффективность использования энергии ветрового потока макетом парусной энергетической установки наземного базирования. Мощность установки W равна произведению силы F на величину скорости платформы V .

$$W = FV \quad (4)$$

Подставляя в выражение (4) соответствующие значения получаем величину мощности установки W :

$$W = 12,7 \text{ г} \times 59 \text{ см/с} = 0,127 \text{ н} \times 0,59 \text{ м/с} = 0,0749 \text{ ватт}$$

Для определения коэффициента эффективности преобразования кинетической энергии ветрового потока при неравномерном распределении скоростей по вертикали необходимо найти среднюю скорость постоянного потока. Для её нахождения площадь паруса была разбита на полоски шириной 1 см, для каждой полосы было найдено значение скорости ветрового потока, который приходится на эту полосу. Посчитав объем воздуха, который приходится на каждую полосу и просуммировав объемы для всех полос, нашли величину средней скорости постоянного ветрового потока равную $V = 1,6 \text{ м/с}$. При вычислении кинетической энергии ветрового потока используется величина площади парусов. Площадь одного паруса s равна $s = 256 \text{ см}$. Площадь четырех парусов $4s = 256 \text{ см}^2 \times 4 = 1024 \text{ см}^2 = 0,1024 \text{ м}^2$. При угле поворота парусов 45° полученную сумму необходимо умножить на $\cos 45^\circ = 0,7$. В результате площадь парусов S , с которой взаимодействует ветровой поток, оказывается равной $S = 716 \text{ см}^2 = 0,0716 \text{ м}^2$

Масса ветрового потока, взаимодействующая с площадью S равна плотности воздуха $1,22 \text{ кг/м}^3$ умноженной на объем VS

$$M = 1,22 \text{ кг/м}^3 \times 0,0716 \text{ м}^2 \times 1,6 \text{ м/с} = 0,139 \text{ кг}$$

Для определения кинетической энергии этой массы воздуха полученную величину необходимо умножить на $V^2/2 = 1,6^2 \text{ м}^2/\text{с}^2 / 2 = 1,28 \text{ м}^2/\text{с}^2$. В результате кинетическая энергия воздушного потока W_B , приходящаяся на 4 паруса платформы за единицу времени равна

$$W_B = 0,139 \text{ кг} \times 1,28 \text{ м}^2/\text{с}^2 = 0,179 \text{ ватт}$$

Зная величину мощности W , развиваемой аэродинамической силой F , и величину кинетической энергии ветрового потока W_B , приходящую на паруса за единицу времени, можно определить коэффициент эффективности макета платформы парусной энергетической установки с 4 парусами

$$K_{\text{эф}} = W/W_B = 0,0749 \text{ ватт} / 0,179 \text{ ватт} = 0,42$$

Таким образом, коэффициент эффективности макета платформы парусной энергетической установки наземного базирования, вычисленный путем определения сил, действующих на платформу через вычисление скоростей платформы с грузами разного веса, оказался равным

$$K_{\text{эф}} = 0,42$$

5 Выводы

Разработан метод вычисления сил, действующих на парусную платформу, через определение скоростей платформы с грузами разного веса. Вычисление сил с помощью данного метода требует точного определения коэффициента трения. Была разработана методика точного измерения коэффициента трения, которая, однако, предъявляет определенные требования к поверхности, по которой движутся платформы: гладкость поверхности и ее стогую горизонтальность. Эти качества поверхности могут быть обеспечены, если платформа будет двигаться по эстакаде. С помощью разработанного метода были найдены значения коэффициентов трения, а также была вычислена величина силы воздействия на паруса со стороны ветрового потока, что позволило найти коэффициент эффективности преобразования ветрового потока. Коэффициент эффективности может быть повышен путем уменьшения силы сопротивления за счет изменения формы парусов.

Литература

1. Дигай.П. Под парусами по рельсам// Yachtrussia.com/articlts/2016/10/21/articlts_391.html
2. Global Wind Report 2021 <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>
3. Чебоксаров В.В., Кузнецов Н.Н. Гибридные ветро-солнечные морские энергетические установки // Строительство и технологическая безопасность. №18 (70), 2020. С.67-81.
4. Патент № 2722760 РФ, МПК В63В 35/44 (2006.1) / Парусная энергетическая установка, преобразующая энергию потоков двух сред; № 2019136097, Заяв. 2019.11.11 / Соловьев А.А., Чекарев К.В., Соловьев Д.А. – заявители и правообладатели // «Изобретения. Полезные модели». 2020. № 16.
5. Патент № 2745173 РФ, МПК В63В 35/44 (2006.01) / Парусная энергетическая установка; № 2020128596, заявл. 2020.08.28 / Чекарев К.В., Дегтярев К.С., Залиханов А.М. – заявители и правообладатели // «Изобретения. Полезные модели». 2021. № 9.
6. Патент № 2779605 РФ, МПК В63В 35/44 (200.01) / Парусная энергетическая установка с автоматической системой управления её движением / № 2022107300, Заявл. 21.03.2022 / Чекарев К.В., Березкин М.Ю., Залиханов А.М. - заявители и правообладатели // «Изобретения. Полезные модели». 2022. № 26.
7. Чекарев К.В., Залиханов А.М., Дегтярев К.С. Парусные энергетические установки. // География возобновляемых источников энергии. ИД «Энергия», М., 2021. С.180-197.
8. Патент № 2125182 РФ, МПК F 03 D 5/04 / Ветроэнергетическая установка; № 96123627/06, заявл. 1996.12.16 / Цыбульников С.И. - заявитель и правообладатель.
9. 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/>
10. Чекарев К. В., Залиханов А.М. Парусная энергетическая установка наземного базирования: нахождение величины сил, действующих на платформу// Окружающая среда и энерговедение, №3, 2022, С. 67- 79. <http://jeees.ru/category/journal/2022-3/>

References

1. Digaj P. Pod parusami po rel'sam// Yachrussia.com/articlts/2016/10/21/ arti-clts_391.ktml
2. Global Wind Report 2021 <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>
3. Cheboksarov V.V., Kuznecov N.N. Gibridnye vetro-solnechnye morskije energeticheskie ustanovki // Stroitel'stvo I tekhnologicheskaya bezopasnost'. №18 (70), 2020. S.67-81.
4. Patent RU 2722760 C1, B63B 35/44 (2006.1) / Sailing Power Plant Converting Flow Energy of Two Media / Application # 2019136097, 2019.11.11 / Solovev A.A., Chekarev K.V., Solovev D.A. – inventors and proprietors // Izobretenija, Poleznyja modeli / 2020 / # 16.
5. Patent RU 2745173 C1 / B63B 35/44 (2006.01) / Sailing power plant / Application: # 2020128596, 2020.08.28 / Chekarev K.V., Degtyarev K.S., Zalikhhanov A.M. – inventors and proprietors // Izobretenija, Poleznyja modeli / 2021, # 9.
6. Patent RU 2779605 C1/ B63B 35/44 (200.01) / Sailing Power Plant With Automatic Control System of its Movement / Application: # 2022107300, 21.03.2022 / Chekarev K.V., Berzkin M.Y., Zalikhhanov A.M. – inventors and proprietors // Izobretenija, Poleznyja modeli / 2022, # 26.
7. Chekarev K.V., Zalikhhanov A.M., Degtyarev K.S. Parusnye energeticheskie ustanovki. // Geografiya vozobnovlyaemyh istochnikov energii. ID «Energiya», M., 2021. S.180-197.
8. 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 //
9. Chekarev K.V., Zalikhhanov A.M. Parusnaya energeticheskaya ustanovka nazemnogo bazirovaniya // Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №2 (14), 2022. S.77-90. <http://jeees.ru/category/journal/2022-2/>
10. Chekarev K.V., Zalikhhanov A.M. Parusnaya energeticheskaya ustanovka nazemnogo bazirovaniya: nakhojdenie velichiny sil, deistviyuschih na platformu // Okruzhayushchaya sreda I energovedenie. №3 (15), 2022. S.67-79. <http://jeees.ru/category/journal/2022-3/>

Land-Based Sailing Power Plant: Determination of the Efficiency Coefficient

Konstantin Chekarev^{1,2}
Alim Zalikhanov^{1,3}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
²E-mail: konstantintchekarev@yandex.ru,
³E-mail: bulungu@yandex.ru

Abstract. High-power installations that convert kinetic wind energy into electricity have large dimensions due to low air density, which leads to the need to construct large structures when using wind wheels with a horizontal axis of rotation in installations. 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 removed. An experimental installation was developed and created to conduct research on models of a land-based sailing power plant, including platforms with sails mounted on them. The conducted experimental studies have shown the operability of the systems included in the experimental installation, structural elements have been found that can be used in the implementation of a land-based sailing installation. A system for controlling the position of sails through a contact rail has been developed, simulating the transmission of electricity to an external consumer. A method is proposed to increase the capacity of the installation by organizing the movement of platforms along two adjacent paths. The research results are presented in this article.

Keywords: windpower, renewable energy sources, wind plant, sailing power plant.