

# Окружающая среда и энерговедение

2021  
№4(12)

---

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703  
(Online)

# Окружающая среда и энергосбережение

---

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

**2021 №4(12)**

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)

## 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).  
Тикунов 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. 2021 №4(12)

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 30.11.2021.

## Издатель:

Закрытое акционерное общество "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](mailto: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», 2021

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

## Содержание

Друзья и коллеги

Профессор Виталий Бушуев – поздравление с днём рождения  
.....4

В.В. Бушуев

Введение в новое мировидение. ....7

В.А. Бутузов, П.П. Безруких, С.В. Грибков

Сто лет развития ветроэнергетики в России. Часть 2. ....18

В.М. Зайченко, Д.А. Соловьев, А.А. Чернявский

Проблемы и перспективы развития российской  
биоэнергетики. Часть 1. ....35

В.М. Фёдоров, А.М. Залиханов

Оценочный прогноз изменения температурного режима  
Земли в XXI столетии .....56

От редакции журнала «Окружающая среда и энерговедение»

Памяти Дмитрия Семёновича Стребкова.....70

## Content

Friends and colleagues

Professor Vitaly Bushuev - congratulations on his birthday .....4

V. Bushuev

Introduction to the new science of the world system .....7

V. Butuzov, P. Bezrukhik, S. Gribkov

The hundred years of wind industry development in Russia. Part 2  
.....18

V. Zaichenko, D. Solovyov, A. Chernyavsky

Problems and prospects for the development of Russian  
bioenergy. Part 1 .....35

V. Fedorov, A.Zalihanov

An estimative forecast for the change of the earth temperature  
behavior in XXI century.....56

From the editors

In memory of Dmitry Semyonovich Strebkov .....70

## Профессор Виталий Бушуев – поздравление с днём рождения

22 ноября 2021 года исполнилось 82 года со дня рождения известного российского учёного, действительного члена Инженерной академии и РАЕН, лауреата премии Правительства РФ в области науки и техники, лауреата премии имени Г.М.Кржижановского, почётного энергетика СССР, доктора технических наук, профессора Виталия Васильевича Бушуева. В.В.Бушуев является идейным вдохновителем и одним из основателей, а также членом редколлегии научного журнала «Окружающая среда и энерговедение», журнала «Энергетическая политика» и еще целого ряда российских научных изданий.



**Рис. 1.** Профессор В.В. Бушуева в лаборатории распределенной генерации ОИВТ РАН

Обладая глубокими научными знаниями и большим практическим опытом в энергетике, В.В. Бушуев четырежды входил в рабочую группу по подготовке Энергетической стратегии России (ЭС), возглавлял коллективы разработчиков (ЭС-2020 и ЭС-2030). Он — эксперт в области «энергетический форсайт».

Его философский подход к осмыслению энергетических процессов и связей «энергия — природа — человек» позволяет государству правильно формировать

основы долгосрочной энергетической политики, эффективно решать практические задачи.

В.В. Бушуев является основоположником ряда новых научных направлений на стыке энергетики и философии, запрос на которые в последнее время становится очень актуальным в научном и энергетическом сообществах. Путь к философии энергетики органично вписывается в его биографию. Он является известным российским экспертом по энергетическим системам и общей энергетике.

Виталий Васильевич родился 22 ноября 1939 года в городе Соликамске Пермской области в семье гидростроителя. Несмотря на то, что семья постоянно переезжала с одного строящегося объекта на другой и мальчику пришлось сменить девять школ, он окончил школу с золотой медалью.

В 1961 году с красным дипломом окончил Куйбышевский индустриальный институт. Получив специальность «инженер-электрик», по приглашению отправился вместе с женой на работу в Сибирский научно-исследовательский институт энергетики (СибНИИЭ, Новосибирск), где прошёл путь от старшего лаборанта до директора института. За почти 20-летний период руководства СибНИИЭ В.В. Бушуев сумел превратить рядовую периферийную организацию в один из ведущих научных центров отрасли.

СибНИИЭ занимался вопросами обеспечения надёжности параллельной работы восточного крыла Единой электроэнергетической системы страны с учётом дальних и сверхдальних электропередач СВН, а также освоением электропередач СВН и УВН (1150–1800 кВ).

Под руководством В.В. Бушуева в СибНИИЭ активно велись работы по использованию новых методов и средств управления режимами энергосистем, был создан единственный в мире высоковольтный испытательный комплекс (ВИК), где проводились испытания линейной части ВЛ УВН, новых материалов и оборудования, а также уникальный физический комплекс со СПИН в составе общей модели энергосистем.

Работы СибНИИЭ значительно опередили своё время. После распада СССР и существенного снижения общего уровня научных исследований они оказались невостребованными. Но сегодня, когда возрождается интерес к вопросам живучести энергосистем и высоковольтным электропередачам, к использованию СПИН и работам по электромагнитной совместимости, опыт СибНИИЭ может быть эффективно использован и в сегодняшних условиях.

Поворотным моментом в жизни В.В. Бушуева стало его избрание в 1989 году депутатом Верховного Совета СССР. Вплоть до окончания депутатских полномочий в 1991 году он занимал в ВС СССР пост председателя подкомитета по энергетике.

С 1992 по 1998 год работал председателем Комитета по энергосбережению, заместителем министра топлива и энергетики России, исполнял обязанности председателя Комитета нетрадиционных видов энергии и энергоресурсосбережения.

В 1998 году организовал Институт энергетической стратегии (ИЭС), который возглавляет до сих пор. Является экспертом в области «энергетический форсайт». Выполняя исследовательские проекты по заказу крупных энергокомпаний и научных организаций, ИЭС в то же время ведёт глобальные научные разработки для будущих поколений.

С 2013 по настоящее время он является главным научным сотрудником лаборатории распределенной генерации ОИВТ РАН (рис.1).

В настоящее время в Объединенном институте высоких температур В.В.Бушуев принимает активное участие в исследованиях в рамках, грантов РФФИ, Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук и Минобрнауки России. Тематика его исследований в ОИВТ РАН связана с подготовкой обобщенных предложений о направлениях и результатах фундаментальных исследований в энергетике, исходя из ее роли как инфраструктурной основы комплексного энерго-эколого-экономического развития системы «природа – общество – человек»; разработка методологии мета-системного подхода к многогранной и интеллектуальной энергетике в условиях неоиндустриализации и перехода к новому информационно-технологическому укладу; проведение форсайтных исследований (совместно с технологическими центрами ОИВТ и других институтов) по формированию нового образа энергетики будущего.

Помимо научной работы В.В. Бушуев является активным популяризатором науки: в течение ряда лет он читает лекции студентам и аспирантам РГУ нефти и газа РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина и других ВУЗов, выступает на российских и международных форумах и конференциях, ежегодно публикует научно-популярные статьи, работает с молодыми учеными и аспирантами в лаборатории распределенной генерации ОИВТ РАН.

В.В. Бушуев — автор более 200 научных трудов, в том числе 18 монографий по вопросам системологии, методологии устойчивого развития и энергоэффективности, энергетической политики и прогнозирования будущего мировой энергетики.

У Виталия Васильевича большая семья: два сына, четыре внука, два правнука. А это самая большая награда!

Редакция журнала «Окружающая среда и энерговедение», друзья и коллеги, научная и инженерная общественность, энергетики России искренне поздравляют Виталия Васильевича с днем рождения, желают ему крепкого здоровья, творческого долголетия, позитивного отношения к окружающему миру, новых свершений в области энергетической науки на благо России.

**Главный редактор журнала «Окружающая среда и энерговедение», академик**

**Залиханов М.Ч.,**

**зам. главного редактора, к.г.н**

**Дегтярев К.С.,**

**Ответственный секретарь, к.ф.-м.-н**

**Соловьев Д.А.**

**друзья и коллеги.**

## Введение в новое мировидение

Виталий Васильевич Бушуев<sup>[0000-0001-9288-4699]</sup>

Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН),  
г. Москва, 125412, Россия

E-mail: vital@guies.ru,

**Аннотация.** В статье рассматриваются актуальные философские проблемы мироустройства и связи энергии и жизни в окружающем мире: основные принципы нового мета-системного мироведения на примере экоеведения (экологического, экономического и энергетического представления о развитии нашего планетарного дома). Понятие, мироведение (экоеведение) – это совокупность научных знаний, сложившихся общепринятых сведений и индивидуальных умозрительных представлений, взглядов и интуитивных ощущений о миро-системе в целом и ее отдельных частях, законах их динамического функционирования и развития, а также система целевого видения настоящего, прошлого и будущего в целом. При этом на основе представлений о циклическом характера развития земной ойкумены и евразийской цивилизации делается попытка представить структуру нового проекта «Целевое видение нового мира» на вторую половину 21-го века и на предстоящий 36-летний период.

**Ключевые слова:** философия, энергия, эволюция, миро-система, окружающая среда

### 1 Введение

В этой работе будет предпринята попытка исследовать основные принципы нового мета-системного мироведения на примере экоеведения (экологического, экономического и энергетического представления о развитии планетарного Дома – Экоса, в котором мы живем: от греч. oikos – дом, место пребывания, ойкумена).

При этом на основе представлений о циклическом характера развития земной ойкумены и евразийской цивилизации делается попытка представить структуру нового проекта «Целевое видение нового мира» на вторую половину 21-го века и на предстоящий 36-летний период.

Далее тезисно рассмотрим основные понятия, которые используются в работе.

Мир – целостная (холистическая) «система систем» (System of System – SoS), совокупность самодостаточных, но взаимосвязанных (энерго-материально, информационно-генетически и ментально-понятийно) структурно-функциональных образований (СФО), находящихся в перманентном состоянии устойчивого развития.

Отдельные подсистемы миро-системы – это космос и земная ойкумена, геотории (замкнутые социоприродные системы) и цивилизации, биосфера и техносфера, мир разума (ноосфера) и когнитивный мир человека.

Мета-система в целом (SoS) – это фрактальная (с подобными в пространстве и во времени СФО) динамическая система, в которой «что наверху, то и внизу», «что было, то и будет».

Мироведение – это совокупность научных знаний, сложившихся общепринятых сведений и индивидуальных умозрительных представлений, взглядов и интуитивных ощущений о миро-системе в целом и ее отдельных частях, законах их динамического функционирования и развития, а также система целевого видения (форсайт) настоящего, прошлого и будущего SoS в целом.

Фрактальность миро-системы позволяет использовать для ее общего ведения представления, свойственные одной из ее составных частей («хочешь познать вселенную – познай самого человека», и наоборот). Космоведение, природоведение, социоведение и человековедение определяются одними и теми же структурно-функциональными представлениями, в частности цикличностью как отдельных СФО, так и SoS в целом.

## 2 Основные принципы мироведения и экоеведения

Мироведение основывается не на частных проявлениях отдельных подсистем SoS, а на общих образных представлениях холистической системы в целом, что позволяет выработать широкий спектр общих мировоззренческих установок, не догматическое, а живое, вечно обновляющееся понимание динамики мирового развития и сформировать возможные и необходимые действия человечества по сохранению и гармоническому обустройству общего планетарного Дома – Экоса [1].

Мировоззрение, миропонимание и мирообустройство – это идеология, методология и технология мироведения как отражение объективных внешних и внутренних процессов в миро-системе, а также активных действий жильцов планетарного Дома по предотвращению опасных для общей жизнедеятельности проявлений мировой динамики, сохранению гармонии и приумножению потенциала его устойчивого развития.

Идеология мироведения основывается на представлении миро-системы как целостной «системы систем», функционирующей и развивающейся целевым образом в соответствии с общими фрактальными космическими и социоприродными законами и адекватными им активными целенаправленными действиями человечества.



Целостность SoS поддерживается их жизнедеятельностью, направленной на достижение определенных целей [2]. Цель жизни – это не просто выживаемость и самосуществование в условиях противостояния с окружающей средой. Цель – это максимальная реализация и самовоспроизводство своих потенциальных возможностей каждой из живых систем в гармонии с их общим предназначением – обеспечить живучесть, адаптацию и саморазвитие всего объединения, в данном случае системы «природа – общество – человек». Устойчивость обеспечивается постоянством трансформаций, а развитие – согласованностью меняющихся при этом формы и содержания, потенциала и действия на уровне отдельных систем и SoS в целом.

Отличительными методологическими принципами мироведения являются холистичность (целостность) рассмотрения SoS, единство и взаимосвязь формы и содержания его отражения и восприятия, триадичность структурно-функционального представления мира как энерго-материального, культурного (информационно-духовного) и ментального (гуманитарного и когнитивного) образа, цикличность и фрактальность его динамического развития во времени и пространстве.

Мироведение пытается не расчлнить мир на части и исследовать их самостоятельное развитие, а прежде всего выявить то общее, что делает мир единым целым (хотя и состоящим из отдельных саморазвивающихся частей), сформулировать принципы их гармоничного поведения (каждому – свое - для общей пользы), а также объективные тенденции и закономерности мирового развития при сохранении и активном развитии индивидуальных особенностей и потенциальных возможностей отдельных систем SoS.

Методологически мироведение идет не по пути индукции (не от частного – к общему, не от складывания отдельных пазлов в общую картину мира), а дедуктивно – путем образного объективного и вербального представления общего планетарного Дома с его архитектурными и инфраструктурными особенностями, вписанными в социоприродный и космический рельеф. А уже затем (а точнее параллельно в закольцованном времени) – уточнение дизайна и функций отдельных «помещений и квартир в общем доме». При этом мироведение стремится избежать унификации «всего и вся», а выявить необходимое разнообразие отдельных составляющих (как цветов на поляне) для отражения не пестроты, а гармонии общей системы.

Технологически мироведение имеет дело с «системой систем», где каждая часть функционирует и развивается самостоятельно, в пределах своего миропредставления и собственных потенциальных возможностей, но вместе они решают общую целевую задачу жизнедеятельности – обеспечить качество жизни «всех и каждого» в рамках социальной справедливости и общей социоприродной гармонии. Эта задача – не из области социальных утопий, а задача нахождения баланса между уровнем материального развития и обустройства каждой из отдельных квартир общего дома и уровнем общих представлений о многообразии целевых установок индивидуальной и общей жизнедеятельности различных цивилизаций, проживающих на общей ойкумене.

Эти рассуждения могут показаться тривиальными и многократно проявляемыми в различных идеалистических и утопических опусах. Но сегодня мы уже пришли к осознанию того, что мир – это не только материальная система, где доминирует лишь экономический рост. Благополучие и качество жизни определяется именно гармонией материальных и духовных, социоприродных и интеллектуальных, личностных и коллективных начал общей жизнедеятельности в общепланетарном Доме-Экосе.

Основные вызовы современности требуют нового мироведения, нового представления о миро-системе, переживающей переход к качественно иному образу.

Миро-система иерархически состоит из космоса, социоприродной системы (Экоса) и гибридного информационного мира с когнитивным отражением окружающей нас реальности. А процессы на всех уровнях миросистемы включают в себя весь спектр материальных, энергетических и информационных явлений. Далее более подробно мы остановимся на экоеведении (представлении о динамике социоприродного Экоса).

Миллениум, открывший начало 3-го тысячелетия, – это «рубикон», отделяющий мир сугубо материального развития с количественным ростом всех параметров промышленного роста и потребления природных ресурсов, от мира с доминантой социогуманитарных предпочтений человечества: возрождения этических и этических принципов проживания в общем планетарном Доме – Экосе; ориентации на ментальное равенство, социальную справедливость и качество жизни не избранных наций и стран, а всех цивилизационных сообществ земной ойкумены; повышение роли и значения человеческого капитала (как витального – демографического, так и интеллектуального – ментального) в устойчивом развитии человечества.

С начала 21-го века в мире резко выросло число природных катастроф и техногенных аварий, экономических и социальных рецессий, экологических и биологических пандемий, что существенно подкосило доверие общества к все пожирающему «молоху» – индустриальной цивилизации.

Дисгармония между активной техногенной деятельностью человечества и качеством природной среды, между ростом интеллектуального потенциала человека и его физиологическими возможностями (в том числе и биологическим состоянием иммунной системы), между стремлением к индивидуализации личной жизни и коммуникационными потребностями общественного развития – все это привело человечество к осознанию неизбежности социоприродного взрыва в миро-системе.

Повсеместно стали распространяться и объективные представления и субъективные домыслы о «конце света», в том числе и со ссылкой на мифологические сведения «календаря майи», предсказывавшего переход мира в новое качество.

Попытка ряда стран, в том числе Китая и Индии, вырваться из социальной нищеты и отсталости, идя по пути «догоняющего развития», хотя и дала определенные положительные результаты в экономической сфере, но не устранила, а лишь усугубила дисгармонию в общей миро-системе.

Мировая коронавирусная пандемия явилась ключом к синхронизации всех кризисов (социальных и экономических, природных биологических и климатических, культурно-нравственных и националистических) во времени и триггером их повсеместного проявления.

Нынешний глобальный кризис охватил все страны и все сферы мировой жизни. Он затронул все подсистемы общей SoS: и материально-экономическое перепроизводство в странах-метрополиях при обнищании других; и интеллектуально-культурную сферу под влиянием глобального доминирования одной либеральной системы ценностей; всю биосферу, включая глобальный климат и систему здравоохранения, оказавшуюся неспособной справиться с вирусологической пандемией. Происходит переоценка и всей мировой социально-политической системы: кризис однополярного военного, экономического и информационного превосходства системы США и Западной Европы и укрепления роли Восточной Евразии (Китая и России, Индии и исламского мира); распад нынешней формы глобализации и развитие межгосударственных форм интеграции народов путем их невоенных объединений типа «большой двадцатки», ШОС, БРИКС, ЕвразЭС и новой ООН.

Отличительной особенностью нынешнего глобального кризиса является и то, что в активную жизнь вступают миллениалы, рожденные на рубеже тысячелетия. Они – не просто «дети», не принимающие установки своих «отцов». Они – представители «сетевого интернет-поколения», которые воспринимают мир через экраны своих мониторов. Их мироведение отличается стремлением к синтезу научных знаний и эзотерики, религии и неоязычества. В то же время в их подсознании сохраняются и по-новому возрождаются принципы расовой и националистической идеологии, противостояния «свой – чужой». Новая социальная психология миллениалов определяет особенности новой цивилизации, которая приходит на смену современному капиталистическому обществу.

Налицо – критическая ситуация, когда одни – не хотят, а другие – не могут жить по-старому. Наступает закат нынешней цивилизации, «високосный год» или «ночь перед рождением» нового мира.

### **3 «Високосный год» или «Ночь перед рождением»**

Когда все динамические параметры гиперболически стремятся к безудержному росту, то по общим законам развития это означает приближение к точке бифуркации – глобальному кризису, прерывающему прежний цикл, и зарождению нового цикла с качественно другим образом мира.

Все социоприродные циклы, в том числе и периоды цивилизационных изменений имеют, как правило, четыре этапа. Суточный цикл – это: утро – день – вечер – ночь; годовой: весна – лето – осень – зима. 4-х-летка заканчивается високосным годом, отличающимся завершением «светлого времени», уходом в стагнацию – спячку и паническим ожиданием предстоящих неприятностей. Проведенный в совместных работах Института энергетической стратегии и Института

исследований и экспертизы ВЭБ спектральный вейвлет-анализ различных природных и социально-экономических процессов показал значимость четырехлетнего цикла мировой динамики [3]. Именно с такой периодичностью проявляются в последнее время кризисы природных аномалий и катастроф, всплески смертности населения разных стран при эпидемиях, инфляционные колебания на биржах [4]. Эти периодические колебания представляют собой 3-ю гармонику более долгосрочных 12-летних циклов мировой динамики, совпадающих по времени с периодами солнечной активности. В свою очередь, три солнечных цикла включают в себя политический рассвет, экономический рассвет и этап социальной стагнации, нередко заканчивающийся военными конфликтами, формируя тем самым определенный 36-летний период развития общественной формации.

На рубеже тысячелетий (на протяжении 20 и 21 веков) это были периоды становления социалистических идей и индустриализации в СССР, выхода из «великой депрессии» и превращения США в могущественную мировую сверхдержаву. Такой же путь, но с некоторым опозданием прошел и Китай. Хотя различные страны проходили эти этапы неодновременно, тем не менее и миро-система в целом и ее региональные «квартиры в общем Доме» испытывают неизбежные стадии смены «времен года и времен суток». Для постсоветской России мы прошли уже два 12-летних этапа: Ельцинской либерализации (1999-2001 гг.) и Путинского экономического возрождения (2001-2013 гг.), причем последний во многом был связан с благоприятной внешней экономической конъюнктурой – спросом на наш экспорт ТЭР как со стороны Европы, так и Китая, соответственно и высокими ценами на нефть на мировом рынке. Ныне мы переживаем третий этап (2013-2025 гг.) всеобщей стагнации, усугубляющийся мировой пандемией и экономическим кризисом, санкциями Запада и отсутствием новых стратегических идей дальнейшего развития страны.

Четыре таких 36-летних периода в целом составляют большой 144-летний т.н. «имперский цикл», который характеризует определенный этап развития государственности и цивилизации в той или иной части земной ойкумены.

Мир в целом сегодня вступает в общий «високосный год» – четвертый завершающий этап такого цикла развития материальной цивилизации. Он начался 100 лет назад с повсеместной индустриализации, последующей «войны моторов» и военно-космического противостояния США и СССР. На третьем этапе мир вступил в стадию глобализации, характеризующуюся политической и экономической, технологической и финансовой, информационной и коммуникационной монополизацией со стороны США.

Но сегодня это состояние мира вступило в противоречие с интересами большинства стран и народов мира. Начавшийся «високосный год» – это период участвовавших кризисов, общей стагнации и ожидания пересмотра прежней парадигмы развития мира.

Осознание неизбежности завершения прежнего образа миро-системы и необходимых перемен мироведения особенно наглядно выразились в экологических устремлениях всех слоев общества (экология стала новой религией мира). Разразившаяся пандемия Covid-19 показала всему миру, что забота о самой жизни

стала более важной задачей общества, чем экономическое развитие. А мультикультуризм, начавшийся с бегства людей из экономически отсталых стран в индустриально развитый мир, перерос в стремление уравнивать все расы и нации в своем ментальном значении. Хештег Black Lives Matter (черные жизни имеют значение) стал в 2020 году для США своего рода лозунгом антирасизма, объединившем все слои американского общества. Неизбежно это приводит и к осознанию недопустимости столь существенного расового и экономического расслоения мира и его народов.

Принцип материальной заинтересованности, который служил долгие годы основой для частной собственности и либерализации экономики, во многом утрачивает свой потенциал развития. Богатые страны оказываются поражены ростом преступности, суицидальности и смертности от коронавирусной пандемии. Насаждаемые ими «цветные революции» в других странах вызывают обратный эффект глобализму, приводя к росту национализма, терроризма и противостояния. Сегодня уже ясно, что начинающийся «високосный год» – период пересмотра всех устоев прежнего мира, который не сводится к частичному ремонту фасада Дома-Экоса, а потребует коренной его реконструкции.

Этот период по мировой хронологии продлится весь предстоящий 36-летний период – с начала 20-х годов до середины нынешнего 21-го века.

Но любой кризис, любая даже самая темная ночь – это не только крах прежнего мира, но и новые возможности, «ночь перед рождением» нового мира. И этот рассвет должен произойти во второй половине этого века.

А для того, чтобы он наступил, недостаточно пассивно ожидать появления новых лучей света, необходимо активно формировать образ нового мира, в соответствии с целевым видением человечества и законами мировой динамики.

#### **4 От мира капитализма – к экосоциогуманизму**

Само понятие «капитализм» стараниями К.Маркса и его последователей в Советском Союзе и во всем мире приобрело во многом негативный смысл, будучи связано только с экономическим развитием за счет эксплуатации природных ресурсов, человеческого труда и заемного финансового капитала. На самом деле этимология (происхождение) этого понятия восходит к лат. *capitale* – голова, главный, верхушка, итоговый результат, богатство.

Если итоговым результатом жизнедеятельности человеческого сообщества является лишь материальное богатство, оформленное в виде имущества и денежных средств, то капитализм действительно является вчерашним днем мирового развития. Ему на смену приходит новая – экологическая и социогуманитарная парадигма развития цивилизации, мира гармонии природы, общества и человека. Эта триада является более общим представлением миро-системы, где главное – не противопоставление отдельных сфер в угоду другим, а их целостное видение как «системы систем» с их общими интеграционными процессами различных

подсистем и сохранением их индивидуальных особенностей. И это видение представляется в образе нового матриархата с его женской мягкостью, новой религиозностью и человеколюбием по сравнению с прошлым военно-промышленным периодом силового развития мира.

Налицо – женское стремление сделать наш общий Дом не только конструктивно добротным и материально состоятельным, но и красивым, уютным и доброжелательным ко всем его обитателям. Отсюда – и стремление к гармонии с внешней окружающей средой и восточная практика фэн-шуй – гармонической организации внутреннего пространства своего жилища, удобного и духовно богатого.

Разумеется, невозможно одновременно заранее представить себе образ такого планетарного Дома – Экоса, но уже сейчас можно выразить эту гармонию тремя целевыми факторами жизнедеятельности: качество жизни (эконика – материальное и духовное удобство), счастье (как стремление к единству всего со всем) и устойчивое развитие (стремление к вечному обновлению и самосовершенствованию не только в рамках земной ойкумены, но и космического предназначения человечества).

Наступление этого нового будущего неизбежно, и время его появления не за горами – начиная с середины 21-го века. Разумеется, это будет не одномоментный акт сдачи в эксплуатацию нового Дома, а перманентный процесс его становления и обустройства. Новый Дом не будет построен руками инопланетян – это задача земного человечества со множеством его интересов и возможностей. Но план такого строительства уже можно и нужно обсуждать сегодня. Ибо «ночь перед рождением» по историческим меркам коротка – всего условно каких-либо 36 лет. А утро нового мира – это время нового поколения, которое придет на смену миллениалам. Новый мир – это мир энерго-материальных реалий и вербально-информационных образов.

Не предвзято полного представления образа этого нового мира, можно попытаться дать несколько характерных эскизов, которые должны найти отражение в будущей картине.

Это, прежде всего:

1. Переход от доминанты сугубо материального развития – к комплексному устойчивому эко-социогуманитарному развитию мира. Новые представления о смысле и качестве жизни, социальной справедливости и счастье, о роли традиций и инноваций в общественном развитии, о роли веры и знаний, природного и человеческого капитала, материального и духовного богатства, о роли свободы и необходимости, личности и семьи, о космическом предназначении человечества.
2. Реализация новой парадигмы: от противопоставления экологии и экономики – к развитию эконики на принципах гармонии всех составляющих миро-системы: природы – общества и человека. Новая парадигма не носит исключительно ограничительного де-конструктивного (децентрализация, декарбонизация, дегуманизация – роботизация) характера. Она носит созидательный характер (событие, сотрудничество, со-развитие)

на принципах гармонии и устойчивого развития. Гармония предполагает сбалансированный рост качества жизни и общих материальных и духовных благ общества за счет повышения эффективности жизнедеятельности всех его субъектов. Необходима выработка общих индикаторов экологического (эколого-экономического) развития с оценкой объективных и субъективных факторов миропонимания (знаний и ведических представлений) нового Дома – Экоса. «Умная» социоприродная среда – «умный» (на принципах фэн шуй) дом – «умная» личность как активные составляющие нового мира.

3. Новые виды замкнутых (циклических) энергетических трансформаций (ресурсный и человеческий капитал – жизнедеятельность – культурный и информационно-технологический потенциал устойчивого развития). Космический фактор – организация геоторий как саморазвивающихся систем ойкумены – ноосфера как энерго-информационная библиотека знаний и идей, откуда человечество черпает новые представления для саморазвития и куда оно вносит результаты своей творческой деятельности. Энергоинформационная цивилизация будущего.
4. Переход от всеобщей глобализации мироустройства к интеграции жизнедеятельности отдельных стран и народов на основе их биосоциальных и культурно-ментальных различий, взаимоуважения и социальной справедливости. От борьбы – к партнерству цивилизаций как новый принцип эволюционного развития нового мира.
5. Постепенный переход от централизованного государства как главной структурной единицы организации миро-системы к сетевым формам взаимодействия социума в едином планетарном Доме – Экосе. Сетевая организация мировой науки, здравоохранения и культурно-информационного сотрудничества.
6. Новые технологические уклады и инфраструктурные схемы организации жизнедеятельности в системе «природа – общество – человек». Интегрированные транспортно-коммуникационные схемы с накопителями вещества, энергии и информации. Замкнутые природоподобные безотходные технологии жизнедеятельности человека и общества.
7. Два новых фактора жизнедеятельности: климатический и биосоциальный, в т.ч. вирусологический. От ограничений и защиты – к их активному использованию для развития иммунитета природной среды и человека и адаптации к новым негативным внешним воздействиям. Принципы геномной инженерии в целенаправленном развитии экологических, организационных и биотехнических систем.

8. Человек будущего как единый биосоциальный эргатический (социотехнический и биороботический) субъект в виртуальном биоинформационном мире. Биокомпьютеры и человек как единая энергоинформационная система жизнедеятельности. Новая реальность и виртуальный мир.
9. От Homo sapiens к Homo faber и Homo deus.
10. Россия в новом мире – не перекресток между Востоком и Западом, Севером и Югом, а мост между Землей и Космосом. От космического начала Руси к энергетическому освоению Космоса.

«Человеку станет тесно на Земле, и он, превратившись в лучистую энергию, отправится осваивать новые космические просторы» (К.Э. Циолковский).

## Литература

1. Бушуев В.В., Голубев В.С. Социоприродное развитие (эргодинамический подход). Москва: ИЦ «Энергия», 2007.
2. БУШУЕВ В.В., ГОЛУБЕВ С.В. Циклические процессы в системе "Природа-общество-человек" // Энергия: экономика, техника, экология. 2003. № 1. С. 16–22.
3. Бушуев В.В., Клепач А.Н., Первухин В.В. Циклы российской (восточно-евразийской) цивилизации. Москва: ИД «Энергия», 2020.
4. Бушуев В.В., Клепач А.Н., Соловьев Д.А., Сокотущенко Н.В. Анализ и прогноз цикличности социо - природных явлений первой половины 21-го века // Окружающая среда и энергосодержание. 2020. № 4(8). С. 36–44. DOI:10.5281/zenodo.4428379.

## References

1. Bushuev V.V., Golubev V.S. Sociogenicities (ergodynamic approach). Moscow: IC "Energiya", 2007.
2. Bushuev V.V., Golubev C.V. Cyclic processes in the system "Nature-Society-Man" // Energy: Economics, Technique, Ecology. 2003. No. 1. P. 16-22.
3. Bushuev V.V., Klepach A.N., Perezhinov V.V. Cycles of the Russian (Eastern Eurasian) civilization. Moscow: ENERGY ID, 2020.
4. Bushuev V.V., Klepach A.N., Soloviev D.A., Sokotyschenko N.V. Analysis and forecast of cyclicity of socio - natural phenomena of the first half of the 21st century // Environment and Energy Peace. 2020. No. 4 (8). P. 36-44. DOI: 10.5281 / ZENODO.4428379.



## Introduction to the new science of the world system

V. V. Bushuev [0000-0001-9288-4699]

Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (JIT RAS),  
Moscow, 125412, Russia

E-mail: vital@guies.ru,

**Annotation.** The article discusses the topical philosophical problems of the worldhood and communication of energy and life in the environment: the basic principles of new meta-systemic world programs on the example of the ecocrine (environmental, economic and energy idea of the development of our planetary house). The concept, the world education (eco-guard) is a set of scientific knowledge that have established commonly accepted information and individual speculation representations, views and intuitive sensations about the world-system as a whole and its ot-delirious parts, the laws of their dynamic functioning and once-diversity, as well as a system of target vision of this, past and bucket as a whole. At the same time, on the basis of ideas about the cyclical nature of the development of earthly Okumen and the Eurasian civilization, an attempt to submit the structure of a new project "Target video of the New World" on the second half of the 21st century and for the upcoming 36-year period.

**Keywords:** Philosophy, Energy, Evolution, Miro System, Environment

УДК: 621.311.24

**Сто лет развития ветроэнергетики в России. Часть 2.**Бутузов Виталий Анатольевич<sup>[0000-0003-2347-9715]</sup><sup>1</sup>,Безруких Павел Павлович<sup>[0000-0003-0906-1339]</sup><sup>2</sup>,Грибков Сергей Владимирович<sup>[0000-0002-6174-7437]</sup><sup>3</sup><sup>1</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет "МЭИ", Россия, Москва<sup>3</sup>Научно-инженерный центр "Виндэк", Россия, Москва<sup>1</sup>E-mail: butuzov@newmail.ru<sup>2</sup>E-mail: bezruky80veter@yandex.ru<sup>3</sup>E-mail: windec@mail.ru

**Аннотация.** Представлена вторая часть статьи, первая опубликована в № 2021 – 3, стр. 10-24. В статье указаны финансовые механизмы для стимулирования строительства ВЭС, основные инвесторы и изготовители оборудования. Представлен анализ 100 летнего развития отечественных научных школ, реализации их концепций, основные конструкции ВЭУ. Отмечена роль основателя российской ветроэнергетики членкора Н.Е. Жуковского и его учеников, деятельность институтов ЦАГИ, Центрального ветроэнергетического, Института электрификации и механизации сельского хозяйства, НПО «Ветроэн». Указаны основные достижения советской ветроэнергетики: ВЭС в Балаклаве (100 кВт, 1931 г.), ветродвигатели ВД-8 (1300 шт., 1936 г.), арктические ветроэлектростанции ЦВЭИ-Д-12 (15 кВт, 1936 г.), ветродизельная станция (ВДС) в Казахстане (400 кВт, 1957 г.). Описаны первые ветропарки стран СНГ, в Крыму общей мощностью 110 МВт на основе ВЭУ КБ «Южное» (г. Днепропетровск), в п. Куликово Калининградской области – 5,1 МВт. Приведен перечень основных ВЭС и ВДС России. Дана оценка перспектив развития российской ветроэнергетики.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, ветроустановка (ВЭУ), ветроэлектростанция (ВЭС), ветродвигатель, ветроколесо, ветродизельная станция (ВДС), ветряные мельницы, лопасти, мачта, электрогенератор, инерционный аккумулятор, Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), Северный морской путь (СМП).

## 10 Крымские ВЭС

ВЭС на территории Республики Крым в составе Украины начали строиться в 1993 г. Первая Донузлавская ВЭС мощностью 6,78 МВт была построена в 1993 г. в Сакском районе с 63 ветроагрегатами USW-56-100 (Рис.10), изготовленных ГKB «Южное» (г. Днепропетровск, Украина) по лицензии американской фирмы «Kenetech Windpower Inc» единичной мощностью 107,5 кВт. Судакская ВЭС мощностью 3,76 МВт была построена в 2001 г. и состояла из 36 агрегатов USW-56-100. В 1996 г. ГKB «Южное» по лицензии бельгийской фирмы Turbowind освоило производство ветроустановок единичной мощности 600 кВт. В 1996-2000 гг. была построена Сакская ВЭС с Мироновскими и Воробьевскими ветростанциями суммарной мощностью 20,82 МВт в составе 177 ветроустановок USW-56-100 и трех ветроустановок T600-48. На Таркутской ВЭС мощностью 22,45 МВт в 2001 г. были установлены 127 ВЭУ USW-56-100 и шесть ВЭУ T600-48. Восточно-Крымская ВЭС мощностью 2,81 МВт имеет 15 ВЭУ USW-56-100 и две ВЭУ T600-48. На Пресноводненской ВЭС мощностью 7,39 МВт в 2009 г. были установлены 52 ВЭУ USW-56-100 и три ВЭУ ANBonus 600. В 2014 г. была построена самая мощная в то время в Крыму Останинская ВЭС мощностью 25 МВт с 10 ВЭУ WTU – 2,5 немецкого концерна Fuhrlander AG единичной мощностью 2,5 МВт. Производство этих ВЭС было локализовано в г. Краматорске Донецкой области на ООО «Фурлендер ВиндТехнолоджи» с изготовлением башен, анкерных корзин, стеклопластиковой гондолы. Таким образом, на Крымских ВЭС в 1993-2005 гг. было установлено 469 ВЭУ типа USW-56-100 общей мощностью 46,9 МВт. Из них в 2020 г. отработали расчетный ресурс и в большей своей части требуют замены 402 ВЭУ. Из 11 ВЭУ типа T600-48 общей мощностью 6,6 МВт отработали расчетный ресурс девять ВЭУ.



Рис. 1. Сакская ВЭС. Мироновский участок

## **11 Сетевая ветроэлектростанция в Калининградской области**

Первая сетевая ветроэлектростанция в современной России -Куликовская ВЭС была построена по инициативе тогдашнего генерального директора АО «Янтарь-энерго» (г. Калининград) Бориса Семеновича Затопляева, 1937 г.р. [16]. В 1998–2000 г.г. около пос. Куликово Калининградской области были установлены 20 агрегатов V27-225 фирмы «Vestas» (Дания) единичной мощностью по 225 кВт, проработавшие ранее в Дании семь лет и один новый агрегат той же фирмы мощностью 600 кВт. Максимальная выработка ВЭС была достигнута в 2003 г. – 6,604 млн. кВтч, при этом коэффициент использования установленной мощности КИУМ составил 16,2%. В настоящее время 20 ветроагрегатов V27-225 демонтированы, семь из них после реновации найдут третью жизнь. Ветроустановка же мощностью 600 кВт находится в рабочем состоянии, но не эксплуатируется. Земля, занимаемая ранее 20-ю ветроустановками Куликовской ВЭС рекультивирована. Получен опыт демонтажа оборудования устаревшей ВЭС, который не хотелось бы использовать в ближайшие 20-25 лет.

В 2018 г. взамен устаревшей Куликовской ВЭС вблизи пос. Ушаково Гурьевского района Калининградской области была построена Ушаковская ВЭС с установленной мощностью 6,9 МВт, с тремя агрегатами немецкой фирмы Enercon E70/2300, а так как она строилась в замен Куликовской, то её мощность в настоящее время ограничена до 5,1 МВт.

## **12 Российская сетевая ветроэнергетика**

Опыт создания ЦАГИ в 1931 г. первой в СССР и самой мощной до 1940 г. сетевой Балаклавской ВЭС мощностью 100 кВт не получил дальнейшего развития в последующие годы. Разработанные НПО «Ветроэн» и изготовленные КБ «Южмаш» сетевые ветроагрегаты АВЭ – 250СМ с 1995 г. по 2000 г. были установлены на Воркутинской ВЭС мощностью 1,5 МВт и Анадырская ВЭС, мощностью 2,5 МВт. В Крыму с 1993 по 2005 г. были построены 9 сетевых ветроэлектростанций общей мощностью 110 кВт на которых были установлены 469 ветроагрегатов USW-56-100 общей мощностью 46,9 МВт, 11 установок T600-48 общей мощностью 6,6 МВт, 3 агрегата ANBonus 600 KW общей мощностью 1,8 МВт, 10 ветроагрегатов WTU- 2,5 общей мощностью 256 МВт.

Современный российский рынок ветроэнергетики создан после принятия 23 января 2015 г. Правительством России постановления № 47, которое обеспечивает субсидирование сооружения ВЭС мощностью свыше 5 МВт. Инвесторы таких электростанций получают долгосрочные договоры на поставку мощностей

(ДПМ) на оптовом рынке России после отбора их проектов на конкурсной основе. В отличие от европейских тендерных условий, данная схема предлагает победителям плату за мощность в МВт и выработку электроэнергии в МВт.ч. В соответствии с условиями ДПМ потребители оптового рынка обязаны в течение 15 лет (срок действия договоров) выплачивать регулируемые вознаграждения за отпущенную ВЭС электроэнергию по льготным тарифам. Такие конкурсы проводятся регулирующим органом – Администратором торговой системы (АТС) ежегодно при участии Совета рынка и «СО ЕЭС». В первом туре проекты отбираются по двум критериям: максимально допустимые капитальные затраты на 1 кВт и по требованиям локализации. В 2020 г. максимально допустимые капитальные затраты ВЭС составляют 109451 руб.кВт. На 2020 г. степень локализации установлена в 65%. Постановление правительства РФ № 47 от 23 января 2015 г. обязывает региональные сетевые компании закупать электроэнергию, произведенную ВЭС для компенсации до 5% прогнозируемых потерь в электросетях. Во втором туре отбор производится по минимальным капитальным затратам на реализацию проекта. Победившая организация получает гарантии стабильной рентабельности 12% и выгодные тарифы на электроэнергию, но обязана завершить строительство ВЭС и обеспечить выполнение требований по локализации производства их оборудования. ВЭС должна иметь коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) в течение года не менее 0,15.

В России в настоящее время самой крупной организацией по сооружению ВЭС является Фонд развития ветроэнергетики (ФРВ) на основе редукторных конструкций ВЭС фирмы «Vestas» (Дания), созданный УК «РосНано» и ПАО «Фортум» с программой строительства до 2024 г. ВЭС суммарной мощностью 1,8 ГВт. ФРВ в 2019 г. развернуло производство с годовой программой 300 МВт/год, в том числе гондол в г. Нижний Новгород, 300 лопастей, а в перспективе 500 лопастей в г. Ульяновске, башен в г. Таганроге.

Второй по масштабам строительству ВЭС является АО «НовоВинд» ГК «Росатом», создавшего ООО «RedWindB.V.» (51% WindarRenovables, Испания, 24,5 % ГК «РосНано», 24,5 % ПАО «Северсталь») на основе безредукторной ВЭС по лицензии фирмы «Lagenway» (Дания) с программой строительства до 2024 г. ВЭС с суммарной мощностью 1 ГВт. АО «НовоВинд» в 2020 г. развернуло производство с годовой программой до 300 МВт/год, в том числе генераторов, кожухов, гондолы, ступиц и обтекателей на заводе «Атоммаш» и башен на заводе «Ветростройдеталь» г. Волгодонске.

Третьим игроком на российском рынке ветроэнергетики является партнерство ПАО «ЭНЕЛ-РУС» и фирмы «Симменс-Гамеса» на основе редукторных ВЭС фирмы «Симменс – Гамеза» с программой строительства до 2024 г. ВЭС суммарной мощностью 0,3 ГВт с годовой программой 300 МВт/год и производством в г. Санкт-Петербурге. В таблице 2 представлены основные характеристики современных сетевых ВЭС.

Таблица 2. Современные российские сетевые ВЭС

№	Название, адрес	Установленная мощность, МВт	Год ввода в эксплуатацию	Тип и представитель оборудования	Собственник
1	2	3	4	5	6
1	Ульяновск-1 с. Красный Яр Чердаклинского района Ульяновской области	35	2018	DongFang Electric Company Limited (Китай), DF 2,5 MW -14 шт.	ПАО «Фортум»
2	Ушаковская пос. Ушаково Гурьевского района Калининградской области	5,1(6,9)	2018	EnerconE70/2300 2,3 МВт – 3 шт.	АО «Янтарь энерго»
3	Ульяновск-2 с/п Октябрьский Чердаклинского района Ульяновской области (Рис.25)	50	2019	Vestas (Дания) 3,6 МВт – 14 шт.	ПАО «Фортум»
4	Адыгейская Шовгеновский, Гиагинский районы Республики Адыгея	150	2020	LagerweyL100–2,5 2,5 МВт –60 шт.	АО «Ново-Винд»
5	Сулинская Красносулинский район Ростовской области	100	2020	Vestas (Дания) V126-3.45 MW - 26шт.	ООО «Второй ветропарк ФРВ»
6	Гуковская Ростовской области (Рис.24)	100	2020	Vestas (Дания) V126-3.45 MW 3,8 МВт –26 шт.	ООО «Второй ветропарк ФРВ»
7	Каменская Каменский район Ростовской области	100	2020	Vestas (Дания) V126-3.45 MW - 26шт.	ООО «Второй ветропарк ФРВ»

8	Юстинская ВЭС В Республике Калмыкия	15	2020	600 кВт –25 шт.	ВЭС «Бриз»
---	--	----	------	--------------------	------------

### 13 Ветро дизельные комплексы

Как указано выше, в СССР имелись апробированные многолетней эксплуатацией примеры реализации ВДК. В тридцатые годы на полярных арктических станциях работали ВДК в составе ветродвигателя Д-12 с электрогенератором мощностью 15 кВт, дизель-генератором той же мощности, электрическими аккумуляторами, а с 1947 г. с ветродвигателями Д-18 мощностью 25 кВт.

В 1949 г. на Днепровском острове Хортица в Украине на базе ветродвигателя Д-18 мощностью 25 кВт с вертикальной трансмиссией была построена ВДК с синхронным генератором и дизель-генератором той же мощности. В 1956 г. в Акмолинской области Казахстана на базе ветродвигателя Д-18-СХ-3 с электрогенератором на одной оси с ветроколесом была построена ВЭС мощностью 50 кВт. В 1957 г. также в Казахстане с 12-ю таких же ветроагрегатов общей мощностью 400 кВт был построен ВДК с двумя дизель-генераторами мощностью по 200 кВт [14].

В таблице 3 представлены характеристики современных российских ветродизельных комплексов (ВДК).

Наибольший российский опыт эксплуатации ВДК в северных условиях имеется в Камчатском крае. В 2014 г. в п. Усть-Камчатск Камчатского края ПАО «Передвижная энергетика» была установлена ВЭУ фирмы «Vergnet» (Франция), мощностью 275 кВт, которая за 2018 г. выработала 129430 кВт·ч. В 2016 г. там же по заказу Правительства Камчатского края были смонтированы 3 ВЭУ фирмы «Komaihaltek» (Япония) мощностью по 300 кВт, которые за 2018 г. выработали 1516820 кВт·ч электроэнергии. Суммарная мощность Усть-Камчатской ВЭС составляет 1175 кВт. Доля (замещения) ВЭС в 2018 г. -7,24 %, а годовая экономия топлива 363 т.н.т. стоимостью 18 млн. руб. За период с 2015 г. по I квартал 2019 г. выработка ДЭС составила 14510 тыс. кВт·ч; выработка ВЭС – 1562 тыс. кВт·ч; доля замещения ВЭС – 10,8%; экономия топлива 344 т.н.т. стоимостью 14 млн. руб.

**Таблица 3.** Ветро дизельные комплексы

№	Название, адрес	Установленная мощность, МВт	Год ввода в эксплуатацию	Оборудование	Собственник
1	2	3	4	5	6

1	с. Никольское о. Беринга Алеутский район Камчатского края	0,25 0,55	1996 2013	Micoim 600-250/50 2 Vergnet Франция 2 по 275 кВт ДЭС – 292 кВт АСУ ВДЭ-Danvest	АО «Южные электрические сети Камчатки»
2	Усть-Камчатская п. Усть-Камчатский Камчатский край	1,175	2013-2015	Vergnet -275 кВт-1 шт Komaihaltek 300 300кВт – 3 шт.	АО «Южные электрические сети Камчатки»
3	п. Октябрьский Усть-Большерецкий район Камчатский край	3,3	2008-2014	0,3 МВт – 1 шт. 4 по 0,6 = 2,4 МВт Nicon -400 по 400 кВт	АО «Камчатские электрические сети им. И.А.Ползунова»
4	с. Новиковская о. Кунашир Сахалинская обл.	0,45	2015	ВЭУ – 225 кВт 2 шт.	ПАО «Передвижная энергетика»
5	п. Амдерма Ненецкий АО ДЭС 460 кВт	0,2	2016	VETROXAgstikфирмы GHRE(Китай) CE-5050 50 кВт -4 шт.	Департамент ЖКХ МО «Поселок Амдерма»
6	п. Тикси Якутия ВЭС-3 МВт	0,9	2018	Komaihaltek 0,3 МВт 3 шт. ВДК -3,9 МВт 3 ДГ мощностью 3 МВт	ПАО «Передвижная энергетика»

В 1996 г. в с. Никольское на острове Беринга (Командорские острова) Камчатского края были установлены две датских ВЭУ Micoim 600-250/50 мощностью по 250 кВт. После выхода их из строя в 2013 г. там же были смонтированы две французские ВЭУ фирмы «Vergnet» мощностью по 275 кВт, а для сглаживания графика нагрузок установлены электробойлеры и АСУ для совместной работы ВЭС и ДЭС типа Danuest [17]. В 2019 г. в работе были две ВЭС типа Vergnet суммарной установленной мощностью 550 кВт, а также ДЭС мощностью 292



кВт. По данным собственника ВДК ПАО «Передвижная энергетика» доля замещения ВЭС в 2018 г. составила 14 %, а годовая экономия топлива 111 т.н.т. стоимостью 5,2 млн. руб. ([www.ren4reg.com](http://www.ren4reg.com)). За период с 2015 г. по I квартал 2019 г. при установленной мощности 550 кВт выработка ДЭС составила 14510 тыс. кВт·ч; выработка ВЭС – 1560 тыс. кВт·ч; доля замещения ВЭС 10,8%; экономия топлива 344 т.н.т. стоимостью 14 млн. руб. [18].

По данным опыта эксплуатации ВДК в с. Никольское и в п. Усть-Камчатск – АО «Южные электрические сети Камчатки» ([www.ren4reg.com](http://www.ren4reg.com)) выявлены следующие проблемы ВЭУ фирмы «Vergnet»: запуск в работу при температуре воздуха ниже минус 17°C невозможен; регулярный самопроизвольный переход в режим тестирования с последующим срабатыванием защиты с отключением агрегата; неоднократный выход из строя датчиков ветровой турбины; необходимость постоянного контроля вертикальности опор ВЭУ; регулярные сбои системы удаленного доступа ВДК; внеочередная замена программного обеспечения ВЭУ (2015 г.). Для ВЭУ фирмы «Komaihaltek» указаны следующие эксплуатационные проблемы: разгерметизация гидравлики одного агрегата (износ манжеты масляного фильтра), периодическая остановка ВЭУ из-за загрязнения тормозного диска поворота gondoly вулканической пылью; регулярные сбои системы удаленного доступа ВДК [17].

Одним из первых современных энергокомплексов, построенных на вечной мерзлоте в Арктике является ВДК в пос. Амдерма Ненецкого автономного округа, осуществленный в 2017 г. [38]. Численность населения: ~350 человек, расположение: побережье Карского моря; среднегодовая/максимальная скорость ветра: 8/42 м/с; минимальная температура: -42 °C; обледенения; интенсивная метель/пурга. При реконструкции ДЭС и интеграции ВЭС был создан комплекс: три ранжированных по мощности ДГУ в сумме 600 кВт и 4 ВЭУ по 50 кВт высотой 26 метров, китайского производства, адаптированных под местные климатические и логистические условия строительства. В проекте применена оригинальная модульная конструкция фундамента для вечной мерзлоты и система самоподъема ВЭУ без применения крана. Внедрение ВЭУ позволило снизить: – расход электроэнергии на собственные нужды с 510 тыс. кВт·ч до 160 тыс. кВт·ч (более чем в 3 раза); – расход дизельного топлива с 719 тыс. л до 416 тыс. л (на 40%), т. е. на 303 тыс. л в год, что составило экономию в денежном выражении 12,5 млн. руб./год; – объемы выбросов CO<sub>2</sub> на 600 т. Доход за счет снижения экономически обоснованного тарифа составил 45 млн. руб. в год.

В п. Тикси в Якутии в 2007 г. была установлена реанимированная ВЭС немецкого производства мощностью 250 кВт, которая через несколько лет вышла из строя. В 2018 г. были установлены 3 ветроагрегата японской фирмы «Komaihaltek» мощностью по 300 кВт, адаптированных для работы в полярных условиях. Разработан проект ВДК, включающий ВЭС общей мощностью 3000 кВт и систему аккумулирования электрической энергии.

Российский рынок ВДК может быть сформирован в первую очередь для регионов Крайнего Севера, где проживают около 10 млн. человек и куда ежегодно завозится около одного миллиона тонн дизельного топлива общей стоимостью около 100 млрд. рублей («Северный завод») для 900 эксплуатируемых ДЭС (по

данным Российского энергетического агентства, РЭА). При средней установленной мощности 0,5 МВт их суммарная мощность составляет 450 МВт. Суммарные расходы бюджетов всех уровней регионов Крайнего Севера с изолированными энергосистемами в 2016г. составили 150 млрд. рублей, а перекрестное субсидирование – 80 млрд. рублей (по данным Центра энергоэффективных технологий). При условии перспективного сооружения ВДК в регионах Крайнего Севера для 20 % ДЭС суммарная потенциальная мощность ВЭС составит 90 МВт, а при средней единичной мощности 0,3 МВт их количество превысит 300 шт. При замещении ВЭС 10% ежегодно расходуемого топлива на ДЭС регионов Крайнего Севера экономия может составить 23 млрд. рублей.

## 14 Ветроэнергетические характеристики

Для проектирования ВЭС принципиальное значение имеет получение достоверной информации об энергетических характеристиках ветра в месте сооружения станции. В России академическая наука систематически стала заниматься ветроэнергетикой в 1916 г., когда в составе Комиссии по изучению естественных производительных сил (КЕПС) Императорской Академии наук был создан энергетический отдел. В 1919 г. им был издан том I «Ветер как двигательная сила», в котором был оценен ветроэнергетический потенциал России. В 1935 г. д.т.н. Н.В. Красовским был разработан Атлас ветроэнергетических ресурсов СССР [19].

Ветроэнергетический кадастр представляет совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра. Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются: среднегодовая скорость ветра, годовой и суточный ход ветра, повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей, максимальная скорость ветра, распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности, удельная мощность и удельная энергия ветра, ветроэнергетические ресурсы региона. Информационную основу Кадастра составляют данные многолетних (1940-1990 г.г.) измерений на государственной сети метеорологических (3500) и аэрологических (150) станций. Рекомендуемые данные прошли многократную и всестороннюю методическую и многолетнюю практическую апробацию и опубликованы в справочниках [20,21,22], в атласе [23].

Первым признанием необходимости развития возобновляемой энергетики на уровне Правительства России явилось поручение от 07 июня 1993 года Министра топлива и энергетики России Ю.К. Шафраника, которое стоит процитировать:

*«Костюнину В.Н., Бушуеву В.В. (это Заместители Министра) Прошу Вас организовать разработку концепции развития и использования возможностей малой и нетрадиционной энергетики в энергетическом балансе России. В концепции должны быть отражены региональные по значению запасы угля, нефти, газа, торфа, использование малых электростанций, энергии ветра, солнца, термальных вод. Данная концепция должна быть увязана с общей программой. О начале работы и первых выводах проинформируйте до 10 июля 1993 г.»*

Выполнение поручения было возложено на Безруких П.П., в то время первого заместителя начальника Главного управления энергоресурсосбережения и нетрадиционных видов энергии. Как видим, задача была поставлена принципиально новая, а именно: сколько тонн условного топлива или киловаттчасов электроэнергии может дать возобновляемая энергетика и, следовательно, вытекающего из ответа вывода: стоит ли ей заниматься. Оказалось, что к такой постановке вопроса учёные были не готовы, в том числе и члены рабочей группы, организованной для выполнения поручения Министра.

Тем не менее в результате бурных дискуссий и оценки энергетических соотношений между приходом на земли солнечной энергией (с одной стороны) и определяющей ею ветровой и гидравлической энергией и биомассой (с другой стороны) удалось согласовать оценки валового, технического и экономического потенциала всех видов возобновляемых источников, за исключением геотермальной энергии, образование которой определялось другими закономерностями. Концепция была подготовлена в указанный срок, обсуждена на заседании коллегии Минтопэнерго по докладу Безруких П.П. и утверждена Министром Ю.К. Шафранником 3 ноября 1994 года.[24]

Необходимо отметить, что для написания концепции, а также последующих работ, в качестве основы были использованы данные о ветре из справочников по климату СССР, публикуемые Главной геофизической обсерваторией имени А.И. Воейкова.

Данные этих справочников были обобщены в Атласах ветрового и солнечного климатов России, разработанного сотрудниками указанной выше обсерватории, под редакцией доктора географических наук М.М. Борисенко и кандидата географических наук В.В. Стадника. (опубликован в 1997 году) [25].

Далее, в 2000 году Российско - Датским институтом был разработан Атлас ветров России, в котором нашли отражение последние данные по ветру различных метеостанций России и отмечены территории России с различными скоростями ветра и удельной мощностью ветра на высоте 50 метров.[23].

Однако для перехода от скорости ветра к ресурсам ветровой энергии требовалось разработать методику определения валового, технического и экономического ресурсов. Это было выполнено в докторской диссертации Безруких П.П., защищенной в 2002 году, основные результаты которой изложены в [26].

Для оценки валового потенциала были приняты и развиты существующие принципы использования ветра. Первым общепринятым в современных научных разработках принципом является использование энергии ветра на ветроэнергетических системах установок с определенной высотой  $H$  над поверхностью Земли.

В соответствии с определением, валовый потенциал рассчитывается как суммарная энергия воздушных масс, использование которой возможно современными ветроэлектрическими установками (ВЭУ) с максимально большой высотой захватываемого приземного слоя  $H$  и соответственной высотой оголовка ветротурбины  $h$ . На современных ветроустановках мощностью 750 кВт высота оголовка составляет 60 – 80 м, а диаметр ветроколеса 50 – 80 м. Серийными установками стали ВЭУ мощностью 1000 – 1500 кВт с еще большими высотами башен и диаметром ветроколеса. Поэтому в работе принимается значение  $h = 75$  м; при

этом толщина используемого слоя воздушных потоков  $H$  составляет примерно в два раза большую величину, т.е. 150 м.

Вторым принципом, принятым на основании имеющихся исследований, является утверждение, что при обтекании воздушными потоками препятствия («воздушной платины») высота  $H$  возмущенный поток полностью восстанавливается на расстоянии  $20 H$  после препятствия.

На основании изложенных принципов устанавливается, что максимально полное использование энергии ветра осуществляется ветроэнергетической системой "воздушных плотин" высотой  $H$ , ориентированных перпендикулярно направлению ветра и отстоящих друг от друга на расстоянии  $20 H$ , так что полная ветровая энергия, захватываемая установками по площади территории  $S$  м<sup>2</sup> в год представляет валовый потенциал территории  $W_B$ , Вт•ч/м<sup>3</sup>год, который при удельной энергии ветра  $E_B$ , кВт•ч/(м<sup>2</sup>год), равен:

$$W_B = E_B \cdot \frac{S}{20} = \frac{1}{40} \cdot \rho \cdot T \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot t_i$$

где:  $\rho$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$T = 8700$  – число часов в году;

$S$  – Площадь территории, м<sup>2</sup>;

$v_i$  - среднемноголетняя скорость ветра в диапазоне  $[i]$ ;

$t_i$  - вероятность нахождения скорости в диапазоне  $[i]$ .

Получается, казалось бы, парадоксальный результат: валовый потенциал не зависит от высоты приземного слоя. Но весь вопрос в том, какую скорость необходимо взять для расчета валового потенциала. Вообще говоря, следует учесть профиль скорости ветра по высоте от 0 до  $H$ . В первом приближении следует рассчитывать скорость ветра по высоте, определить среднее значение и по этому значению определить необходимые для расчета  $v_i$  и  $t_i$ .

Однако для оценочных расчетов валового потенциала, с достаточной точностью можно принять скорость ветра, равной скорости ветра на высоте  $h$ , составляющей примерно половину  $H$ . При этом технический потенциал определялся, как часть валового с учётом известных ограничений по площади размещения ВЭС. Далее работа по определению ресурсов ВИЭ была проведена большим коллективом авторов и опубликована в справочнике под редакцией П.П. Безруких. [27] Дальнейшее совершенствование методики определения технического потенциала было выполнено д.т.н. Николаевым В.Г., который предложил определять потенциал по произведенной электроэнергии модельного ВЭУ на площади субъекта РФ с учётом технических и экологических ограничений, а также выполнил ряд ТЭО сооружений ВЭС и программ использования ветровой энергии в регионах России. Также представляют практический интерес работы д.т.н. Елистратова В.В. и д.физ.-мат.н. Соловьёва А.А., предложивших при определении технического потенциала учитывать ограничения технического и географического характера.

По предложению д.т.н. В.В. Елистратова [28,29,30] оценка ветроэнергетических ресурсов в условиях ограниченной исходной климатической информации для повышения точности и достоверности результатов целесообразно проводить по трехуровневой методике. На первом уровне, на основании атласа ветров России, климатических справочников, кадастровых и других интегральных оценок ветрового режима производится предварительная крупномасштабная оценка ВЭР и выбор перспективного региона. На втором уровне (региональном) оценки ВЭР, после выбора перспективного района, производится мезомасштабное численное моделирование ветрового потока на произвольной высоте над уровнем земли. При моделировании используются: спутниковые данные о скорости и направлении ветра, мезомасштабная цифровая модель рельефа с разрешением до 10 км, цифровая модель шероховатости с разрешением 0,5-10 км. В качестве исходных данных ветрового режима используются многолетние (30 лет и более) расчетные почасовые данные скорости, и направление ветра, полученные в результате численного прогнозирования погоды. На основе данных региональных климатических наблюдений: давление, температура, влажность, вычисляется поле ветров и экстраполируется вниз к высотам 10-50 м, генерируя статистические данные ветрового режима в расчетных узлах сетки размером в северных регионах до 20 км, создавая тем самым виртуальные метеостанции. На третьем уровне предлагается микромасштабное моделирование ветрового потока с использованием данных реанализа специализированных баз данных MEPPA, CFSR, и др. спутниковых наблюдений NCAR/NCFR и баз цифровых моделей рельефа и шероховатости поверхности земли GlobalMapper, NASASPTM, EuropeanEnvironmentAgency и др. В качестве модели для широкомасштабного моделирования на третьем уровне принимается модель национальной лаборатории RiSO (Дания) (равнинный рельеф). Микромасштабное моделирование производится в программном комплексе WindPRO-общепринятым в мировой практике программном продукте для проектирования ВЭС. Результатами расчетов на третьем уровне являются карты высокого разрешения (до 200-50 м) для конкретного места размещения ВЭС на различных высотах.

## 15 Малые ВЭУ

В России в 2020 г. было 9 основных разработчиков и производителей малых ВЭУ. ООО «НИЦ «ВИНДЭК» ([www.windek2010.narod.ru](http://www.windek2010.narod.ru)). Всего разработано восемь конструкций, в т.ч. четыре с вертикальной осью турбинного типа с направляющим аппаратом (Виндэк – 01В, мощностью 100 Вт (опытный образец); МВТЭУ-1 «Виндэк», мощностью 1000 Вт; МВТЭУ-5 «Виндэк», мощностью 5000 Вт; МВТЭУ 10 «Виндэк», мощностью 10000 Вт); четыре ВЭУ с горизонтальной осью: двухлопастная «Виндэк – ВЕТЭН-02» мощностью 200 Вт (выпущено 30 шт.); однолопастные ВЭУ «Виндэк – 05» мощностью 850 Вт (выпущено 10 шт.); «Виндэк-1» мощностью 1500 Вт (опытный образец); двухлопастная

ВЭУ «Виндэк-5» мощностью 5000 Вт. НИЦ «Виндэк» разрабатывает и производит для ВЭУ вентильные генераторы обращенной и необращенной конструкции мощностью от 100 Вт до 20 кВт.

ООО «Ветро-Свет» г. Санкт-Петербург ([www.vetro-svet.spb.ru](http://www.vetro-svet.spb.ru)) разработало ВЭУ типа ВА-250 мощностью 200 Вт (мелкосерийное производство), ВА-900, мощностью 900 Вт.

ООО «Сальбомаш», г. Гатчина, Ленинградская обл. ([www.mahaon-energy.ru](http://www.mahaon-energy.ru)) разработало четырёхконструкции с вертикальной осью типа «ОСА300-12» мощностью 300 Вт (мелкосерийное производство) 500 Вт, 2000 Вт, 3000 Вт.

ООО «ГРЦ – Вертикаль» г. Миасс Челябинская область ([www.src-vertical.com](http://www.src-vertical.com)) разработало ВЭУ с вертикальной осью ВЭУ -1 мощностью 1 кВт (мелкосерийное производство), ВЭУ -3 мощностью 3 кВт, ВЭУ-30 мощностью 30 кВт (опытный экземпляр).

ООО «ВДМ-техника», г. Москва ([www.vdm-tech.ru](http://www.vdm-tech.ru)) разработало ВЭУ VDM-5 мощностью 5 кВт (опытный экземпляр) и VDM-30 мощностью 30 кВт.

ООО «Радуга-15», г. Дубна Московской области разработало ВЭУ «Радуга - 008» мощностью 8,16,24 кВт (опытные экземпляры) и «Радуга-001» мощностью 1 кВт.

ООО «Ветрострой», г. Сафонов Смоленской области ([www.ветер-сила.рф](http://www.ветер-сила.рф)) разработало и производит ВЭУ мощностью 500 Вт, 1 кВт, 2 кВт (произведено более 1000 шт).

ООО «Арнад», г. Владимир ([www.windrotor-bolotov.com](http://www.windrotor-bolotov.com)) разработало и производит ВЭУ с вертикальной осевой роторной турбиной типа WR TB –Д мощностью 1,3,5,10 кВт (произведено более 300 шт.).

ООО «Мегат», г. Дубна Московская область разработало ВЭУ типа SPIN-15 мощностью 15 кВт (опытный экземпляр.) и планирует организовать совместное их производство в Китае.

## 16 Выводы

1. В настоящее время в России ветроэнергетика развивается стремительными темпами. Она занимает второе место в возобновляемой энергетике после фотоэлектрических станций. На 01.09.2020 г. установленная мощность сетевых 22 ВЭС составляла 351 МВт. В настоящее время в России имеется устойчивое финансирование ветроэнергетики от ГК «Росатом», ГК «РосНАНО», ПАО «ЭНЕРГУС» и других мощных энергетических структур. В России приняты необходимые правительственные документы для стимулирования массового сооружения сетевых ВЭС мощностью свыше 5 МВт, а также созданы несколько производств их оборудования со степенью локализации до 65%.

2. По ряду причин в России в настоящее время отсутствуют научно-технические ветроэнергетические школы, предприятия полного производственного цикла.

3. Анализ столетнего развития российской ветроэнергетики показал, что наибольшие успехи мирового уровня были достигнуты в тридцатые годы прошлого века как результат деятельности научной школы Н.Е. Жуковского и его учеников, которые в институтах ЦАГИ и ЦВЭИ разработали, в том числе сетевую Балаклавскую ВЭС мощностью 100 кВт, не имевшей в мире аналогов до 1940 г., ветродвигатели для арктических станций мощностью до 25 кВт. Большой вклад в развитие ветроэнергетики в России так же внесли институты ВИМЭ, ВИСХОМ, ИФ ВНИИЭМ, ВИЭСХ, НПО «ВЕТРОЭН».

4. В России в автономных зонах энергоснабжения, учитывая природно-климатические, социально-экономические особенности территории, высокую стоимость тарифа на электроэнергию и наличие высокого ветроэнергетического потенциала, создаются хорошие возможности для строительства энергетически и экономически эффективных ветродизельных энергокомплексов.

5. Все системные ВЭУ, как правило, имеют горизонтально-осевую конструкцию с трехлопастным ветроколесом. Основными направлениями совершенствования системных горизонтально-осевых трехлопастных ВЭУ являются:

- в части аэродинамики повышение эффективности профилей лопастей и снижение их шумности; применение композитных материалов;
- совершенствование приводов генераторов по двум направлениям: замена механических мультипликаторов на гидравлические, прямой привод генераторов от ветроколес;
- совершенствование конструкций электрических генераторов;
- увеличение единичной мощности ветроустановок;

Для малых ВЭУ, к которым в России относятся установки мощностью не более 50 кВт, основными направлениями совершенствования являются:

- в части аэродинамики исследования возможности применения лопастей с высокоэффективными профилями, различными формами лопастей и конфигурации ветроколеса, широкое внедрение композитных материалов;
- применение прямого привода синхронных магнитоэлектрических генераторов от ветроколес;
- применение микропроцессорных систем управления режимами работы ветроустановок;
- создание ветроэнергетических автономных комплексов с различными видами первичных источников энергии и накопителями энергии на современных гелиевых, литий-фосфатных аккумуляторах;
- производство вертикально-осевых ветроустановок Дарриуса и Савониуса и их модификаций с управляемыми и неуправляемыми лопастями и возможным применением направляющего аппарата.

## Литература

1. Жуковский Н.Е. Полное собрание сочинений, публицистика. Том 6. Винты, ветряки, вентиляторы. Аэродинамическая труба. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР. Главная редакция авиационной литературы. 1937.
2. Красовский Н.В. Новое крыло для русской ветряной мельницы / Труды ЦАГИ. Выпуск №3 . 1923.
3. ЦАГИ. Основные этапы научной деятельности 1918-1968. М.: Машиностроение. 1976. 352с.
4. Энциклопедия по машиностроению XXL оборудование, материаловедение, механика.<https://mashxxl.info/page/111.204197022095020254060128125183030078204157081/9/07/2020>
5. Сабинин Г.Х. Гироскопический эффект ветряных двигателей и расчет поворотных ветряков / Труды ЦАГИ. Выпуск 22.1926.
6. Сабинин Г.Х. Теория идеального ветряка / Труды ЦАГИ. Выпуск 32. 1929.
7. Сабинин Г.Х. Теория аэродинамический расчет ветряных двигателей //Труды ЦАГИ. Выпуск 104. 1931.
8. Сидоров В.И. Ветро двигатели в Арктике. Издание второе дополненное. Издательство СМПИ. М.-Л. 1946. 169с.
9. Секторов В.Р. Балаклавская опытная ветроэлектростанция // Электричество. 1933. №19. С.51-54
10. Секторов В.Р. Современное состояние проектирования и опытного строительства крупных ветроэлектрических станций.//Электричество. 1933. №2. С.9-13.
11. Ананьев А.А., Седых С.Г., Шаманин В.С. Проблема использования ветра в СССР // Электричество. 1932. №14. С.716-718.
12. Горчаков П.К., Кондратьев Ю.В. Основные характеристики и перспективы ветроэнергетики // Электрические станции. 1939. № 10,11. С. 24-30.
13. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки. М. ОГИЗ – Сельхозиздат. 1948.
14. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. М.2006.
15. Лось С.И. Козак А.Р. Ветро дизельные станции на основе ветроэлектрических агрегатов АВЭ -250 СМ // Развитие возобновляемых источников энергии в России: возможности и практика (На примере Камчатского края) Сборник М.: ОМННО «Совет Гринпис»2006. С.49-51
16. Затопляев Б.С. Ветропарк в пос. Куликово Калининградской области // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 2. С.58-65.

## References

1. Zhukovskij N.E. Polnoe sobranie sochinenij, publicistika. Tom 6. Vinty, vetryaki, ventilyatory. Aerodinamicheskaya truba. M.-L.: ONTI NKTP SSSR. Glavnaya redakciya aviacionnoj literatury. 1937.
2. Krasovskij N.V. Novoe krylo dlya russkoj vetryanoj mel'nicy / Trudy CAGI. Vypusk №3 . 1923.
3. CAGI. Osnovnye etapy nauchnoj deyatel'nosti 1918-1968. M.: Mashinostroenie. 1976. 352s.



4. Enciklopediya po mashinostroyeniю XXL oborudovanie, materialovedenie, mekhanika. <https://mashxxl.info/page/111.204197022095020254060128125183030078204157081/9/07/2020>
5. Sabinin G.H. Girokopicheskiy effekt vetryanyh dvigatelej i raschet povorotnyh vetryakov / Trudy CAGI. Vypusk 22.1926.
6. Sabinin G.H. Teoriya ideal'nogo vetryaka / Trudy CAGI. Vypusk 32. 1929.
7. Sabinin G.H. Teoriya aerodinamicheskij raschet vetryanyh dvigatelej //Trudy CAGI. Vypusk 104. 1931.
8. Sidorov V.I. Vetrodvigateli v Arktike. Izdanie vtoroe dopolnennoe. Izdatel'stvo SMP. M.-L. 1946. 169s.
9. Sektorov V.R. Balaklavskaya opyt'naya vetroelektrostanciya // Elektrichestvo. 1933. №19. S.51-54
10. Sektorov V.R. Sovremennoe sostoyanie proektirovaniya i opytnogo stroitel'stva krupnyh vetroelektricheskijh stancij. //Elektrichestvo. 1933. №2. S.9-13.
11. Anan'ev A.A., Sedyh S.G., SHamanin V.S. Problema ispol'zovaniya vetra v SSSR // Elektrichestvo. 1932. №14. S.716-718.
12. Gorchakov P.K., Kondratyuk YU.V. Osnovnye harakteristiki i perspektivy vetroener-getiki // Elektricheskie stancii. 1939. № 10,11. S. 24-30.
13. Fateev E.M. Vetrodvigateli i vetroustanovki. M. OGIZ – Sel'hozizdat. 1948.
14. Haritonov V.P. Avtonomnye vetroelektricheskie ustanovki. M.2006.
15. Los' S.I. Kozak A.R. Vetrodizel'nye stancii na osnove vetroelektricheskijh agregatov AVE-250 SM // Razvitie vozobnovlyaemyh istochnikov energii v Rossii: voz-mozhnosti i praktika (Na primere Kamchatskogo kraya) Sbornik M.: OMNNO «Sovet Grinpis»2006. S.49-51
16. Zatoplyayev B.S. Vetropark v pos. Kulikovo Kaliningradskoj oblasti // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2018. № 2. S.58-65.

## The hundred years of wind industry development in Russia. Part 2

Butuzov Vitaly<sup>1</sup>, Bezrukikh Pavel<sup>2</sup>, Gribkov Sergey<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kuban' State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

<sup>2</sup>National Research University MPEI, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Technical Center Windec, Moscow, Russia

<sup>1</sup>E-mail: butuzov@newmail.ru

<sup>2</sup>E-mail: bezruky80veter@yandex.ru

<sup>3</sup>E-mail: windec@mail.ru

**Abstract.** There is presented the 2<sup>nd</sup> part of the article that points on the financial arrangements for wind station development, the principle investors and equipment producers. The work presents an analysis of 100-year development of the

Russian scientific school, implementations of their concepts, the principle designs of wind turbine. There are noticed the roles of N.E. Zhukovsky as a founder of Russian wind industry, and of his pupils, activities of such institutions as CAHI, Central Wind-Industrial, Electrification and Mechanization of Agriculture, NPO Vetroen. There are pointed on the principle achievements of the Soviet wind industry: a wind power plant in Balaklava (100 kW, 1931), wind engines VD-8 (1300 units, 1936), Arctic wind power stations CVEI-D-12 (15 kW, 1936), a wind-diesel station in Kazakhstan (400 kW, 1957).

The article reviews the first wind plants in the CIS countries, in Crimea - 110 MW on the base of the KB Yuzhnoe (Dnepropetrovsk) wind turbines, at Kulikovo village in Kaliningrad region – 5.1 MW, gives a list of the major wind and wind-diesel plants and evaluates the prospects of Russian wind industry development.

**Key words:** wind industry, wind turbine, wind plant, wind engine, wind wheel, wind-diesel plant, wind mills, wind blades, mast, electricity generator, inertial energy-storage device, Central Aero-and-Hydrodynamical Institute (CAHI), Northern Sea Route (NSR).

## Проблемы и перспективы развития российской биоэнергетики. Часть 1.

Зайченко Виктор Михайлович<sup>[0000-0002-5979-4234]1,1</sup>, Соловьев Дмитрий Александрович<sup>[0000-0001-5591-3067]1,2</sup>, Чернявский Адольф Александрович<sup>[0000-0002-3291-4750]2,3</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН),  
г. Москва, 125412, Россия,

<sup>2</sup>ОАО «Ростовтеплопроект», г. Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: <sup>1</sup>zaitch@oivtran.ru, <sup>2</sup>E-mail: solovev@guies.ru,

<sup>3</sup>E-mail: 1936@mail.ru,

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные проблемы и перспективы развития биоэнергетики России. Рассмотрены возможности реализации биоэнергетического потенциала России. Выполнен обзор эффективных технологий термической конверсии биомассы и описаны новые возможности по использованию биотоплива.

**Ключевые слова:** биоэнергетика, биогаз, газогенератор, пиролиз

### Введение

В современной экономике можно выделить три перспективных направления развития технологий: информационные технологии, нанотехнологии и биотехнологии.

В области информационных технологий за последние 15 – 20 лет в России сделано достаточно много: созданы эффективные информационно-управляющие системы практически во всех отраслях хозяйства, получили широкое развитие современные системы радио-телевещания и связи, включая мобильную связь, стал легкодоступным Интернет с его огромными возможностями.

Нанотехнологии в последние годы также активно внедряются в различные сферы экономики, в том числе и в энергетику.

И только биотехнологии, при всех их больших потенциальных возможностях, отстают в России от мирового уровня развития.

По существующим оценкам [1], мировой рынок биотехнологий в 2025 году достигнет уровня в 2 трлн. US\$. Доля же России на этом рынке составляет

на сегодняшний день менее 0,1%, а по ряду сегментов (биоразлагаемые материалы, биотопливо) практически равна нулю.

Тенденция к замене химических продуктов биологическими формировалась 30 - 40 лет назад. Тогда СССР активно участвовал в этом процессе: были созданы крупные промышленные предприятия, система отраслевых и академических научных центров в сельском хозяйстве, пищевой и химической промышленности активно внедрялись новые биологические препараты.

За прошедшие 20 лет в мире созданы принципиально новые биотехнологии и продукты. Россия почти не участвует в этом процессе. В итоге более 80% биотехнологической продукции, которая потребляется в России, является импортом, а объемы потребления биотехнологической продукции в России остаются несопоставимо низкими по сравнению, как с развитыми, так и с развивающимися странами [1]. Результаты научных исследований остаются невостребованными или превращаются в продукт, объем производства которого часто ограничен возможностями научной лаборатории.

Задерживаясь в развитии и внедрении биотехнологий по целому ряду отраслей, российская экономика рискует оказаться за чертой современного технологического развития, которое складывается в мире последние 15 - 20 лет. В среднесрочной перспективе это может привести к системной деградации целого ряда промышленных отраслей, поскольку ни развитие на мировых рынках, ни конкурентоспособное воспроизводство производственной базы не будет возможно без использования биотехнологий.

Для России биоэнергетика является одним из наиболее перспективных видов использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). И прежде всего – в области использования отходов аграрно-промышленного, деревообрабатывающего секторов, пищевой промышленности, а также бытовых отходов.

Основная доля тех немногих инвестиций, которые в РФ были направлены на развитие ВИЭ, также пришлись на биоэнергетику. Однако серьезных позиций в энергобалансе страны биоэнергетика по-прежнему не занимает.

Эксперты оценивают общий технический потенциал биомассы в РФ в 15-20 тысяч МВт (для сравнения: мощность всех АЭС России составляет около 24 тысяч МВт). Инвесторы уже обращают внимание на потенциал биоэнергетического сектора в России. Так, по данным аналитической компании Rosbioconsulting, на протяжении последних десяти лет накопленные инвестиции в биоэнергетику выросли в 18-20 раз; объем инвестиций в биоэнергетику составил порядка 30 млрд рублей, или 88-90% от общего объема инвестиций в ВИЭ в стране.

По данным институтов ОИВТ РАН и «Ростовтеплоэлектропроект» [2], стоимость 1 кВт установленной мощности энергетических установок с использованием биотоплива, находится в пределах от 2000 до 4000 евро. В то же время удельная стоимость крупных АЭС оценивается в 3500 – 5000 евро за кВт. Современные угольные электростанции оцениваются примерно в 2500–3500 евро за 1 кВт. Определенные преимущества имеет газовая генерация со стоимостью около 2000–2500 евро за 1 кВт. Однако цены на газ стремительно растут, приближаясь к европейскому уровню. И это приводит уже сегодня к низкой рентабельности,

либо даже к убыточности (при отсутствии господдержки) сооружаемых электростанций на газовом топливе.

Отметим для сравнения, что стоимость 1 кВт крупных современных сетевых ветроэлектростанций составляет не более 1600–1800 евро, а солнечных – 1200–1500 евро.

В комплексной программе развития биотехнологий в РФ до 2020 года [1] существенная роль отводится биоэнергетике. На ее поддержку в общей сложности выделено 367 млрд. рублей. Эти средства планируются для создания технической и технической базы развития биоэнергетики, для поддержки инженерных разработок и производства оборудования, а также для поддержки региональных проектов в области производства электроэнергии и тепла из биотоплива.

Как полагают аналитики, именно биоэнергетика может стать тем звеном цепи, ухватившись за которое можно вытащить из отставания всю цепь развития ВИЭ в России.

Российское энергетическое агентство указывает, что практически все федеральные округа России располагают основными, возобновляемыми источниками энергии (энергия солнца, энергия ветра, гидроэнергия малых рек, энергия биомассы), и имеют потенциально необходимые возможности для создания интегрированных энергетических комплексов для производства тепловой и электрической энергии и моторного топлива. Потенциально возможное производство из биотоплива электроэнергии составляет 151 200 ГВт, тепла — 344 ГВт [1]. По результатам расчетов, в распоряжении России остается не более 15 лет для того, чтобы найти источники получения доходов, отличные от экспорта нефти и газа.

### **Возможности реализации биоэнергетического потенциала России**

Основная доля российского экспорта нефти приходится на страны ЕС. На сегодняшний день годовой темп прироста объемов потребления биотоплива в Европе составляет 50%. Площади под посевы высокоэнергетических культур в Европе и других странах ограничены, а мощности перерабатывающих заводов не загружены, поэтому в ближайшие годы Россия может более эффективно реализовать свой земельный потенциал (примерно 9% от мировой пашни) – около 40 млн га неэксплуатируемой пашни под создание энергетических плантаций, а также более полно использовать около 1 млрд т биомассы ежегодно. Причем, как показывают расчеты, при культивировании, например, топинамбура для производства биогаза и биоэтанола для моторного топлива для всего российского АПК необходимо всего около 3 млн га, для автопарка всего РФ – 15 млн га. При культивировании сладкого сорго для автопарка АПК – до 1 млн га, для РФ в целом – 15 млн га, то есть намного меньше пустующих земель.

Для энергетических целей планируется развитие производства всех видов биотоплива: газообразного, твердого и жидкого.

Газообразное биотопливо позволяет реализовать многие новые энергетические технологии, особенно эффективные в области автономной энергетики, где применение биотопливных газов представляется более значимым и эффективным, чем простое сжигание биомассы в котлах.

В настоящее время газообразное биотопливо получают с помощью двух основных технологий:

- метод метанового анаэробного сбраживания отходов сельскохозяйственного производства (навоза животных, помета птиц, растительных отходов), бытовых отходов, отходов пищевой промышленности, отходов очистных сооружений канализации и т.п.;
- метод высокотемпературной обработки биомассы.

При использовании анаэробного (без доступа воздуха) сбраживания в результате переработки биомассы образуются два полезных продукта:

- горючий газ (биогаз) – смесь метана (до 70%) и углекислого газа (до 30%);

- жидкое органическое удобрение – экологически чистое, концентрированное, используется при разбавлении 1:10...1:20), высокоэффективное, универсальное, с полным отсутствием патогенной микрофлоры, гельминтов, всхожих семян сорняков, нитритов и нитратов.

Биогаз используется для получения тепловой и/или электрической энергии. Биогазовые установки (БГУ) полностью энергонезависимы, потребление энергии от внешних источников отсутствует. На собственные нужды – для обогрева биореакторов в холодный период года потребляется не более 30 % вырабатываемого биогаза.

**Таблица 1.** Технические характеристики типовых биогазовых установок. Источник: данные авторов.

Объем биореактора, м <sup>3</sup>	5	10	25	50	100	200	400
Суточная загрузка, т	1	2	5	10	20	40	80
Выход удобрений, т/сут	1	2	5	10	20	40	80
Выход биогаза, м <sup>3</sup> /сут.	20	40	100	200	400	800	1600
Эквивалентная тепловая мощность по биогазу, кВт	5	10	25	50	100	200	400
Потенциальная электрическая мощность, кВт	1,7	3,4	8,5	17	35	70	150

Стоимость, тыс. руб., в ценах 4 кв. 2016 г.	3600	4725	7110	9630	13050	17550	24750
Цена оборудования, тыс. € (курс € 70 руб.)	40	52	79	107	145	195	275
Режим работы	автоматический						

На рис.1 показана структурная схема одного из вариантов биогазовых установок.

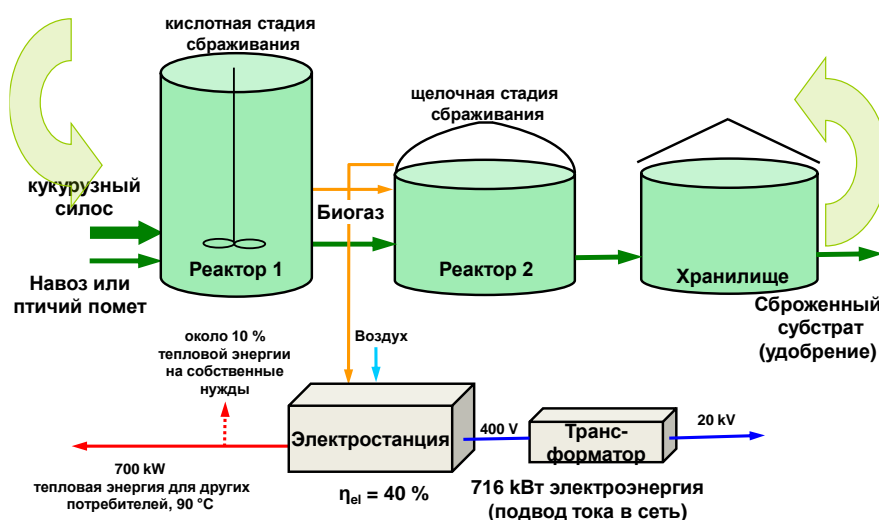


Рис. 1. Структурная схема биогазовой установки. Источник: данные авторов.

Отходы сельхозпроизводства в реакторах-ферментерах 1 и 2 проходят стадию анаэробного сбраживания с выделением биогаза. Биогаз поступает из реактора 2 на газопоршневую электростанцию. Электрическая мощность электростанции на напряжении 0,4 кВ выдается через трансформатор (или без него) в сеть, а тепловая мощность – потребителям тепловой энергии в виде теплоносителя с температурой в прямой магистрали до 90...95 °С. Около 10 % тепловой энергии расходуется в среднем по году на поддержание процесса ферментации в реакторе 1.

Биогаз, содержащий значительную долю метана, может служить хорошим топливом для мини-ТЭС и мини-ТЭЦ, правда, с некоторым снижением их мощности в сравнении с использованием природного газа.

Перебродивший субстрат перекачивается из реактора 2 в резервуар-хранилище, откуда далее, в жидком виде или после осушки, поступает на реализацию в качестве биоудобрений.

Получаемое биоудобрение используется на любых почвах под любые культуры. Достоинства биоудобрения связаны со способом его производства. Метановое сбраживание позволяет сохранять весь азот в аммонийной или органической формах. Фосфор в удобрении находится в основном в виде фосфатитов и нуклеотидов, калий – в виде растворимых солей, что обеспечивает лучшую их усвояемость растениями. Удобрение содержит полный набор микроэлементов, в нем в достаточном количестве присутствуют гуминовые и фоллиевые кислоты и их соли. В удобрении много кальция, что способствует раскислению почв.

Главная особенность биоудобрения в том, что оно содержит активные полезные микроорганизмы, такие как метаногены и родственные им бактерии. Эти ризосферные микроорганизмы, попадая в почву, оказывают громадное влияние на растения, снабжая их физиологически активными веществами, витаминами, доступным азотом (азотификсация), усиливают солубилизацию фосфатов, высвобождают другие элементы питания растений из почвенных минералов. Биоудобрение напрямую усиливает активность основного процесса растений – фотосинтеза.

При постоянном использовании биоудобрения в почве образуются гуминовые материалы, улучшаются ее аэрация, водоудерживающая и инфильтрационная способность, скорость катионного обмена. Идет естественное восстановление утраченного плодородия почв. Поскольку при применении микробиологического удобрения в почве идут экзотермические процессы, увеличивается ее теплосодержание, это приводит к ускорению всхожести, цветения и плодоношения, лучшему корнеобразованию.

Биоудобрение содержит также природные стимуляторы роста растений: гиббереллины и ауксины. Они активны в очень небольших концентрациях. С их присутствием связана эффективность удобрения при больших степенях разбавления и малых дозах внесения.

Применение биоудобрения обеспечивает получение экологически чистой сельскохозяйственной продукции высокого качества, позволяет ликвидировать загрязнения в виде помета, навоза, улучшает экологическую обстановку и, в конечном счете, здоровье населения.

Эффективность инвестиций в биогазовые установки, обеспечивающие получение электричества, тепла и биоудобрений, достаточно высока. Как правило, дисконтированные сроки окупаемости затрат не превышают 5 лет, но при условии возможности реализации всех вырабатываемых биоудобрений. Вместе с тем, в регионе размещения биоустановки может наблюдаться через несколько лет



спад спроса на биоудобрения ввиду эффекта «насыщения рынка сбыта». Поэтому, еще до начала строительства биогазовых установок, следует выполнить детальные маркетинговые исследования рынков сбыта биоудобрений.

В целом, при грамотной организации полного сбыта вырабатываемых электрической и тепловой энергии и биоудобрений, биогазовые установки обладают следующими несомненными достоинствами:

- полная утилизация отходов;
- полная автоматизация процесса;
- производство из отходов дешевого топлива, электричества и тепла;
- производство из отходов эффективных органических удобрений;
- значительное улучшение экологической обстановки.

Высокотемпературные технологии конверсии биомассы осуществляются при температурах до 1000°C без доступа кислорода в зону обработки. Эти технологии делятся на пиролиз, проводимый при температурах до 400...800°C, и совмещенный пиролиз-крекинг, проводимый при температурах 800...1000°C.

Горючий газ, генерируемый в этих технологических процессах, получивший название «синтез-газ», вырабатывается в существенно больших объемах, чем биогаз из того же количества биомассы, при значительно более компактном технологическом оборудовании.

Большинство известных методов газификации низкосортных твердых топлив не позволяют получать горючие газы с теплотой сгорания более 6 МДж/м<sup>3</sup>. Пиролизные методы переработки дают возможность получать горючие газы с заметно более высокой теплотворной способностью, но имеют тот недостаток, что в составе получаемых газов содержится значительная доля двуокиси углерода и азота при низком выходе пиролизных газов. В результате энергетическая эффективность конверсии исходного сырья не превышает 30 %.

В настоящее время в мировой практике применение пиролизной обработки биомассы для получения генераторного газа получило широкое распространение. На мировом энергетическом рынке имеются предложения разнообразных реакторов пиролиза, пиролизных печей, пиролизных котлов, имеющих различные производительности и различные режимы ведения технологических процессов. Большая часть пиролизного оборудования рассчитана на объемы переработки биомассы до 20...30 т/сут, т.е. обеспечивает не очень высокую производительность.

Перечень некоторых видов пиролизного оборудования представлен в табл.2, а их общие виды показаны на рис.2...9.

Из представленных здесь газогенераторов наиболее приемлемым представляется использование реакторов пиролиза типа «УГЛАС-800» Ростовского предприятия «Технокомплекс». Эти реакторы, поставляемые в комплекте с оборудованием очистки, осушки и охлаждения генераторного газа, можно считать оптимальными по соотношению «цена – качество».

Одним из примеров эффективного внедрения пиролизной технологии является создание в Краснодарском крае линии по переработке шелухи семян подсолнечника в ООО «Центр «СОЯ», ст. Тбилисская (см. рис.10 – [www.soyanews.info](http://www.soyanews.info)).

Как показал опыт сооружения этой линии, существуют и технические возможности, и экономическая целесообразность сооружения комплексов по утилизации биомассы. Для решения поставленной задачи, в ООО «Центр «СОЯ» использовали модульную газогенераторную когенерационную мини-ТЭЦ с технологией пиролизной газификации лузги. Из 1 кг лузги получают минимум 0,3 Нм<sup>3</sup> генераторного газа с минимальной калорийностью 1150 ккал/Нм<sup>3</sup>. Полученный генераторный газ используют в трех электрогенераторных установках мощностью по 250 кВт с газопоршневыми двигателями. Обеспечивается полная утилизация 17 тонн лузги в сутки.

**Таблица 2.** Параметры пиролизных газогенераторов для биомассы. Источник: данные авторов.

Поставщик	Основные параметры газогенераторов					Общий вид
	Объем перерабатываемой биомассы, т/сут.	Производительность по генерат. газу, нм <sup>3</sup> /ч	Возможная электрическая мощность, кВт	Стоимость комплекта		
				тыс. €*	млн. руб.	
Chelengqing Fengyu Electric Co, Ltd, Китай						
Генератор HLC-200	7...9	800	200	500	35,0	Рис. 2
Генератор HLC-400	14...17	1500	400	900	63,0	-
Генератор HLC-800	29...35	2800	800	1700	85,0	-
Генератор HLC-1000	36...43	3700	1000	2200	190,0	Рис. 3
Flex Technologies Inc., Индия	24...30	1000	250	700	49,0	Рис.4
Фирма «Татьяна», Украина, Киев	16...18	700	200	340	23,8	Рис.5
ООО «Технокомплекс», РФ, Ростов-на-Дону						
Генератор МГГ-1-500	15...20	1700	500	60	4,2	Рис. 6
Генератор УГЛАС800	22...25	2800	800	170	11,9	

						Рис. 7
ООО «Металлоконструкция», РФ, Тюмень	6...8	750	200	75	52,5	Рис.8
ООО «Экотехнопром», РФ, Казань	25...30	3500	1000	30 0	21,0	Рис.9

\* Курс € принят в расчетах равным 1€ = 70 руб.



**Рис. 2.** Газогенератор HLC-200, Китай



**Рис.3.** Газогенератор HLC-1000, Китай



**Рис. 4.** Газогенератор 250 кВт, Flex Technologies Inc., Индия



**Рис. 5.** Газогенератор 200 кВт, фирма «Татьяна», Украина, Киев

Источник фото: [yandex.ru/images](http://yandex.ru/images).



**Рис. 6.** Газогенератор УГЛАС-800 (800 кВт), Ростов-на-Дону. Источник: [yandex.ru/images](https://yandex.ru/images).



**Рис. 7.** Газогенератор ГТ-1-500, (500 кВт), Ростов-на-Дону. Источник: [yandex.ru/images](https://yandex.ru/images).



**Рис. 8.** Газогенератор 200 кВт, «Металлоконструкция», Тюмень. Источник: [yandex.ru/images](https://yandex.ru/images).

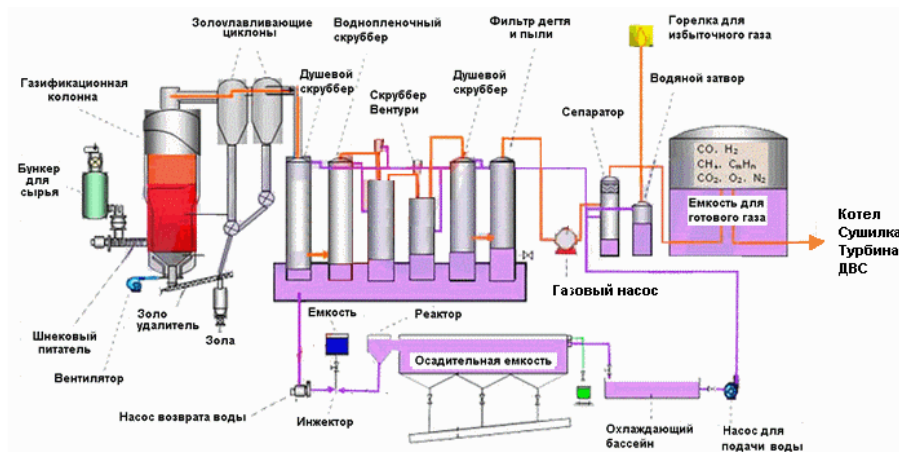


**Рис. 3.** Рис.9. Газогенератор «Экотехнопром – 1000 кВт» Республика Татарстан, Казань. Источник: yandex.ru/images.



**Рис.10.** Фото когенерационной электростанции на лузге подсолнечника в ООО «Центр «СОЯ», ст. Тбилисская, Краснодарский край. Источник: yandex.ru/images.

На рис.11 показана типизированная структурная схема установки получения генераторного газа из биомассы при использовании пиролизной технологии.



**Рис. 11.** Схема пиролизной установки получения генераторного газа. Источник: данные авторов.

Такая установка содержит следующее основное оборудование:

- газификационная колонна – реактор пиролиза биомассы;
- бункер со шнековым питателем для подачи биомассы в реактор;
- вентилятор подачи воздуха в реактор;
- система автоматического удаления золы из реактора;
- система очистки и охлаждения получаемого в реакторе генераторного газа, включающая циклоны, сухие и мокрые скрубберы, сепаратор;
- вентилятор высокого давления (на схеме – «газовый насос»), обеспечивающий сжатие получаемого газа до давления заданного значения;
- газгольдер (или ресивер), обеспечивающий хранение запаса генераторного газа при заданном давлении;
- вспомогательные системы, назначение которых ясно из рис.11.

Генераторный газ образуется в реакторе пиролиза в результате разложения биомассы при нагреве до температуры 600...800°C без доступа воздуха или при ограниченном доступе воздуха. Состав генераторного газа (другое название – «синтез-газ»), может быть различным в зависимости от режима работы реактора, но соотношение основных составляющих получаемого газа лежит в пределах:

- |   |             |
|---|-------------|
| ■ CO – оксид углерода (угарный газ)                   | - 12...20 % |
| ■ CO <sub>2</sub> – диоксид углерода (углекислый газ) | - 8...12 %  |
| ■ H <sub>2</sub> – водород                            | - 15...20 % |
| ■ CH <sub>4</sub> – метан                             | - 1...4 %   |
| ■ N <sub>2</sub> – азот                               | - 45...55 % |



Из пяти три горючие компонента – CO, H<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> определяют теплотворную способность генерируемого газа.

Отметим одну немаловажную особенность рассматриваемой схемы получения генераторного газа: в такой схеме полностью исключены вредные выбросы в атмосферу. На установке по рис.11 в принципе нет дымовой трубы. В дымовую трубу отводятся только выхлопные газы газопоршневого агрегата (на схеме не показан). Излишки генераторного газа, которые могут появляться в процессе ведения технологического процесса, сжигаются в факельной горелке. Зола из реактора удаляется с помощью элеватора в промежуточный бункер. Эта зола реализуется в качестве ингредиента в составе высококачественных удобрений.

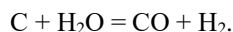
### **Эффективные технологии термической конверсии биомассы**

Более эффективная отечественная технология термической конверсии биомассы предложена Институтом высоких температур Российской академии наук – ОИВТ РАН [3-5]. Эта технология, позволяющая получать горючие газы методом обращенной газификации с пиролизом и последующей термической деструкцией летучих газов и конверсией их в синтез-газ с помощью крекинга, обеспечивает получение относительно чистого газа – практически без смол и частиц золы. Это позволяет использовать получаемый синтез-газ непосредственно, без дополнительной очистки в качестве топлива для газопоршневых агрегатов.

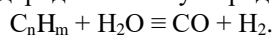
Технология ОИВТ РАН осуществляется следующим образом.

На первой стадии производится пиролиз биомассы с образованием газообразных, жидких и твердых продуктов реакции при температурах до 9000С. Жидкая фаза пиролиза состоит из набора высокомолекулярных углеводородных соединений C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> и пирогенетической воды. Эти жидкие продукты находятся в паровой фазе.

На второй технологической стадии газообразные продукты реакции пиролиза, состоящие из конденсируемой и неконденсируемой частей, продуваются при температуре около 1000<sup>0</sup>С через твердую углеродную фазу, образующуюся при пиролизе на первой стадии процесса. При этом пирогенетическая вода, находящаяся в паровой фазе, взаимодействует с углеродом с образованием водорода и окиси углерода:



Высокомолекулярные соединения, входящие в состав конденсируемой части, пиролизуются при прохождении через засыпку высокотемпературного углерода с образованием водорода и окиси углерода:



Таким образом осуществляется конверсия жидких и твердых продуктов реакции пиролиза в водород и окись углерода. Это обеспечивает безотходную переработку биомассы с получением высококалорийных энергетических газов. Свойства этих газов в зависимости от температуры ведения процессов изменяется, как показано в табл.3.

**Таблица 3.** Параметры газовых смесей, получаемых при термической переработке торфа.  
Источник: данные авторов.

Температура ведения процесса, °C	Объёмная доля горючих компонентов			Теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>		Удельный объём, м <sup>3</sup> /кг	Эффективность конверсии, %
	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>H</sub>	V	η
850	0,40	0,27	0,08	11,7	10,6	0,76	42
950	0,43	0,40	0,02	11,3	10,4	1,10	60
1000	0,49	0,41	0,01	11,7	10,6	1,39	78
Стандартный пироллиз	0,23	0,19	0,13	10,4	9,6	0,29	15

Основным достоинством технологии ОИВТ РАН является высокая степень конверсии перерабатываемой биомассы в энергетический газ. В существующих технологиях эта величина не превышает 18%, в технологии ОИВТ РАН – 78%. Суммарный выход горючих газов составляет 1,4 м<sup>3</sup> на 1 кг биомассы, а средняя теплота сгорания – около 11,5 МДж/м<sup>3</sup>.

На рис.12 представлен общий вид опытной установки высокотемпературной конверсии биомассы, сооруженной в ОИВТ РАН. Эта установка оснащена компьютерной системой АСУ ТП, системами автоматического контроля и регулирования технологических параметров, системой автоматических защит и блокировок. Оценка финансово-коммерческой эффективности этой установки показала высокие значения всех критериев эффективности инвестиций, в том числе быструю окупаемость всех затрат – не более четырех лет.

Таким образом, для получения высокоэффективных газовых топлив из биомассы можно, в качестве приоритетной, рекомендовать использование отечественной высокотемпературной технологии конверсии биомассы, предложенной ОИВТ РАН.

### Технологии создания автономных малых ТЭЦ

Сегодня не вызывает сомнения эффективность создания автономных малых ТЭЦ с использованием газопоршневых или газотурбинных установок, работающих на природном газе в сравнении с энергоснабжением от централизованных источников. Такие когенерационные малые ТЭЦ могут быть построены при сравнительно небольших капитальных вложениях – 1000...1400 US\$/кВт и обеспечивают себестоимость получения электрической энергии 1,5...1,7 руб./кВтч и тепловой энергии – 0,8...1,0 тыс.руб./Гкал в текущих ценах [6]. Если учесть, что при централизованном энергоснабжении электроэнергия обходится сегодня в



4...8 руб./кВтч, а тепловая – 2000...2500 руб./Гкал [6], то становится понятным, почему малые ТЭЦ теперь находят все более широкое применение для энергообеспечения небольших и средних промышленных предприятий, агроферм, жилых поселков, индивидуальных хозяйств.



**Рис.12.** Общий вид опытной установки конверсии биомассы. Источник: [yandex.ru/images](https://yandex.ru/images).

Однако, не везде и не всегда имеется возможность использования природного газа. Поэтому весьма привлекательными являются перспективы использования в качестве топлива для малых ТЭЦ синтез-газа, получаемого в результате новых методов термической конверсии биомассы, имеющейся в том или ином виде повсеместно. Технические вопросы при этом практически не возникают, поскольку основные компоненты синтез-газа – водород и оксид углерода – образуют эффективную смесь с высокой теплотворной способностью и большой адиабатной температурой горения, дающих возможность надежной и устойчивой работы когенерационных агрегатов.

Сомнения могут, на первый взгляд, появиться в финансово-коммерческой эффективности использования синтез-газа. Ведь помимо капитальных вложений в сооружение самой мини-ТЭЦ для получения синтез-газа из того или иного вида биомассы требуются некие дополнительные инвестиции. Однако, увеличение удельных инвестиций в сооружение энергетического комплекса (электростанция + установка термической конверсии биомассы), как показывают расчеты, с избытком окупаются низкой стоимостью самой биомассы, заменяющей, по сути,

дорогостоящий и быстро растущий в цене природный газ. В этом нетрудно убедиться, взглянув на сравнительные результаты расчетов, приведенные в табл.4.

В представленных результатах в качестве исходных данных для расчетов приняты параметры двух одинаковых по мощности и выработке энергии малых ТЭЦ. Одна из них рассчитана для работы на природном газе, вторая – на синтез-газе, получаемом в результате термической конверсии биомассы по технологии ОИВТ РАН. При этом учтено, что в затратах на сооружение второй установки имеется значительная доля затрат на блок конверсии биомассы в синтез-газ (см. п.8 в табл.4).

**Таблица 4.** Сравнительная оценка параметров малых ТЭЦ на природном газе и биотопливе. Источник: данные авторов.

№№ п.п.	Наименование параметров	Единица измерения	Значение параметров для малой ТЭЦ	
			на природном газе	на синтез-газе
1	2	3	4	5
1	Установленная электрическая мощность	кВт	1000	1000
2	Установленная тепловая мощность	Гкал / ч	1,0	1,0
3	Число часов использования установленной мощности	ч / год	7000	7000
4	Выработка электрич.энергии	кВтч / год	7000000	7000000
5	Выработка тепловой энергии	Гкал / год	7000	7000
6	Удельные капитальные вложения (средние значения)	US\$ / кВт	1200	1600
7	То же, в рублевом исчислении при курсе доллара США 1 US\$ = 60 руб.	тыс.руб./кВт	72	96
8	Требуемый объем капитальных вложений на	млн.руб.	72	96

№№ п.п.	Наименование параметров	Единица измерения	Значение параметров для малой ТЭЦ	
			на природном газе	на синтез- газе
1	2	3	4	5
	установ- ленную мощность			
9	Средневзвешенная норма амортизационных отчислений	%	5,0	5,0
10	Годовой объем амортизаци- онных отчислений	млн.руб./год	3,90	5,20
11	Затраты на обслу- живание и запчасти (~2,0%/год от п.8)	млн.руб./год	1,56	2,08
12	Теплотворная спо- собность используемого топлива (ср.)	ккал/нм <sup>3</sup> (кВтч/нм <sup>3</sup> )	8000 (9,30)	2700 (3,14)
13	Общий КПД уста- новки (коэф- фициент использ. топлива)	-	0,95	0,95
14	Удельный расход топлива с учетом КПД	нм <sup>3</sup> /кВтч	0,108	0,318
15	Годовой расход топлива	тыс.нм <sup>3</sup> /год	752,7	2229,3
16	Стоимость природного газа	руб./1000нм <sup>3</sup>	6000	-
17	Затраты на природный газ	млн.руб./год	4,52	-
18	Удельный расход биомассы на получение син- тез-газа	т/1000 нм <sup>3</sup>	-	0,4
19	Годовой расход биомассы	т/год	-	891,7
20	Стоимость биомассы (средн.)	тыс.руб./т	-	2,0

№№ п.п.	Наименование параметров	Единица измерения	Значение параметров для малой ТЭЦ	
			на природном газе	на синтез- газе
1	2	3	4	5
21	Затраты на биомассу	млн.руб./год	-	1,78
22	Суммарные годовые эксплуатационные издержки	млн.руб./год	9,98	9,06
1	2	3	4	5
23	Доля затрат на электрическую энергию в сумме общих издержек (рыночный коэффициент)	-	0,85	0,85
24	Объем годовых затрат на производство электрической энергии	млн.руб./год	8,48	7,70
25	Объем годовых затрат на производство тепловой энергии	млн.руб./год	1,50	1,36
26	Затраты электрической и тепловой энергии на собственные нужды и потери энергии	%	7,0	7,0
27	Годовой отпуск электрической энергии	кВтч/год	6510000	6510000
28	Годовой отпуск тепловой энергии	Гкал/год	6510	6510
29	Себестоимость отпускаемой электрической энергии: п.24 / п.27	руб./кВтч	1,303	1,183

№№ п.п.	Наименование параметров	Единица измерения	Значение параметров для малой ТЭЦ	
			на природном газе	на синтез- газе
1	2	3	4	5
30	Себестоимость от- пускаемой тепловой энергии: п.25 / п.28	руб./Гкал	229,86	208,84
31	Тариф на замещае- мую элек- трическую энер- гию	руб./кВтч	4,20	4,20
32	Тариф на замещае- мую теп- ловую энергию	руб./Гкал	2000,00	2000,00
33	Годовая прибыль от замеще- ния сетевой элек- троэнергии: (п.31 - п.29) * п.27 / 10 <sup>6</sup>	млн.руб./год	18,86	19,64
34	Годовая прибыль от замеще- ния сетевой тепло- вой энергии: (п.32 - п.30) * п.28 / 10 <sup>6</sup>	млн.руб./год	11,52	11,66
35	Суммарная годо- вая прибыль: п.33 + п.34	млн.руб./год	30,39	31,30
36	Налог на прибыль - 20,0%	млн.руб./год	6,08	6,26
37	Чистая прибыль: п.35 - п.36	млн.руб./год	24,31	25,04
39	Срок окупаемости капиталь- ных вложений: п.8 / (п.37 + п.10)	лет	2,8	3,4
40	Рентабельность капитальных вложений: 100% / п.39	%	36,2	29,1

*Продолжение статьи читайте в №1 2022.*

## Литература

1. Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года. ВП-П8-2322. Утв. Постановлением Правительства РФ от 24.04.12 № 1853п-178.
2. Зайченко В.М., Чернявский А.А. Автономные системы энергоснабжения. – М.: «НЕДРА», 2015, 285 с., ил.
3. Термические методы переработки древесины и торфа в энергетических целях / В.М.Батенин, А.В.Бессмертных, В.М.Зайченко, В.Ф.Косов, В.А.Синельщиков. // «Тепло-энергетика». – 2010, № 11. – с.36-42.
4. Батенин В.М., Зайченко В.М., Косов В.Ф., Синельщиков В.А. Пиролитическая конверсия биомассы в газообразное топливо // ДАН. – 2012. – Т.446. - № 2. – с.179-182.
5. Larina O.M., Zaichenko V.M. Energy production from Chicken Manure by Pyrolysis and Torrefaction // Proceedings of the 25<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition EUBCE-2017. – Stockholm, Sweden/ – 2017/ - p.1205-1209.
6. Сравнительные характеристики распределенных и централизованных схем энергоснабжения // В.М.Зайченко, А.А.Чернявский / «Промышленная энергетика», 2016, № 1, с.2-8.
7. Первый нефтеперегонный завод (<http://www.tekhno-spas.ru/art/statii/firstfub>).
8. Основные тенденции развития рынка биотоплива в мире и России. Аналитический отчет // Федченко И.А., Соловьева А.С., Лукьянов А.Н. Белгородская обл.: ОАО «Корпорация «Развитие», 2013. – 45 с.
9. Оборудование для перерабатывающей промышленности и сельского хозяйства. Волгоград: АО «Компания «Жаско». – [http:// www. jasko. ru \ jasko \ katalog.ru](http://www.jasko.ru/jasko/katalog.ru). – 2009-2017.
10. Никаноров С.М., Штепа М.В. Анализ рынка пеллетного производства в России / «Международная биоэнергетика» // <http://www.biointerna-tonal.ru>.
11. Larina O.M., Sinelshchikov V.A., Sitchev G.A. Comparison of Thermal Conversion Methods of Different Biomass Types into Gaseous Fuel // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Volume 774/ - 012137/ - doi: 10.1088 / 1742-6596 / 774 / 1 / 012137.

## References

1. "Integrated biotechnology development program in the Russian Federation for the period up to 2020." VP-P8-2322. Applied. Decree of the Government of the Russian Federation of 24.04.12 No. 1853p-178.
2. Zaichenko V.M., Chernyavsky A.A. Autonomous power supply systems. - M.: "Nedra", 2015, 285 p., Il.
3. Thermal methods of processing of wood and peat in Egetic purposes / V.M. Batenin, A.V. Bessommertant, V.M. Zaychenko, V.F. Kosov, V.A. Sinselchikov. // "Heat-Energy". - 2010, number 11. - p.36-42.
4. Battenin V.M., Zheninko V.M., Kosov V.F., Sinelchikov V.A. Pyrolytic biomass conversion in gaseous fuel // DAN. - 2012. - T.446. - № 2. - C.179-182.
5. Larina O.M., Zaichenko v.m. Energy Production from Chicken Manure by Pyroly-Sis and Torrefaction // Proceedings of the 25th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE-2017. - Stockholm, Sweden / - 2017 / - P.1205-1209.

6. Comparative characteristics of distributed and centralized power supply schemes // V.M. Zaychenko, A.A. Chernivsky / "Industrial Energy", 2016, No. 1, C.2-8.
7. First oil refinery (<http://www.tekhno-spas.ru/art/Statii/FirstFub>).
8. The main trends in the development of the biofuel market in the world and Russia. Analytical report // Fedchenko I.A., Solovyova A.S., Lukyanov A.N. Belgorod Region: OJSC "Development Corporation", 2013. - 45 s.
9. Equipment for the processing industry and agriculture. Volgograd: Jaska JSC company. - <http://www.Jasko.Ru/jasko/katalog.ru>. - 2009-2017.
10. Nikanorov S.M., Shtep M.V. Analysis of the pellet production market in Ros-CI / "International Bioenergy" // [Http: www.biointernna-tonal.ru](http://www.biointernna-tonal.ru).
11. Larina O.M., Sinelshchikov V.A., SITCHEV G.A. COMPARISON OF THERMAL CONVERSION Methods of Different Biomass Types Into Gaseous Fuel // Journal of Physics: Conference Series. - 2016. - VOLUME 774 / - 012137 / - DOI: 10.1088 / 1742-6596 / 774/1/012137.

## Problems and prospects for the development of Russian bioenergy. Part 1.

Viktor Zaichenko<sup>1</sup>, Dmitry Solovyov<sup>1</sup>, Adolf Chernyavsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Title Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (OILT RAS),  
Moscow, 125412, Russia,

<sup>2</sup> OPOO "Rostovteteteploproekt", Rostov-on-Don, Russia

E-mail: [zaitch@oivtran.ru](mailto:zaitch@oivtran.ru), [solovev@guies.ru](mailto:solovev@guies.ru), [1936@mail.ru](mailto:1936@mail.ru),

**Abstract.** The article discusses the modern problems and prospects for the development of bioenergy of Russia. The possibilities of implementing the biogenic potential of Russia are considered. An overview of the effective technologies of the thermal conversion of biomass and describes new possibilities for using biofuels.

**Keywords:** bioenergy, biogas, gas generator, pyrolysis

## Оценочный прогноз изменения температурного режима Земли в XXI столетии

Валерий Михайлович Фёдоров<sup>[0000-0003-2305-7408]1,2</sup>,

Алим Михайлович Залиханов<sup>[0000-0002-2540-6045]1,3</sup>

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

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

**Аннотация.** Представлены оценочные прогнозы изменения характеристик температурного режима Земли в XXI в., выполненные с использованием регрессионной модели и инсоляционной контрастности в качестве предиктора. Определено, что в 2100 г. значения аномалии приповерхностной температуры воздуха (относительно средней за период с 1961 по 1990 гг.) составят 1,63, 2,06 и 1,20°C для Земли в целом, Северного и Южного полушарий соответственно. Аномалии температуры поверхности океана увеличатся в 2100 г. для Мирового океана на 1,07°C, для Северного и Южного полушарий – на 1,12 и 1,04°C соответственно. Также выполнен прогноз содержания двуокиси углерода в атмосфере. По рассчитанному прогнозу увеличение содержания CO<sub>2</sub> в 2050 г. относительно 2015 г., когда было заключено Парижское соглашение по климату, достигнет 65,5 ppm. Таким образом, ожидаемый рост концентрации CO<sub>2</sub> составит около 16,3% независимо от усилий стран участниц Парижского соглашения по климату.

**Ключевые слова:** оценочный прогноз, регрессионная модель, инсоляционная контрастность, глобальная температура, содержание двуокиси углерода

### 1 Введение

В этой работе будет предпринята попытка исследовать основные принципы нового мета-системного мироведения на примере экоеведения (экологического, экономического и энергетического представления о развитии планетарного Дома – Экоса, в котором мы живем: от греч. oikos – дом, место пребывания, ойкумена).

Проблема изменения современного глобального климата и прежде всего его температурных характеристик крайне актуальна, как для науки, так и для



практической деятельности [1]. Ее решение неразрывно связано с необходимостью прогнозирования последствий климатических изменений для природной среды и общества, что в свою очередь требует исследования причин, вызывающих эти изменения [2; 3].

Климат – это состояние природной среды (системы), которое характеризуется осредненными по времени и пространству (отдельным районам или Земле в целом) гидрометеорологическими, почвенно-биологическими и другими статистическими показателями. Важнейшей характеристикой климата является температурный режим, определяющий многие особенности окружающей природной среды и жизни людей. Приповерхностная температура воздуха (ПТВ) и температура поверхности Мирового океана (ТПО) характеризуют термическое состояние природной системы Земли, которое в основном определяется приходящей от Солнца лучистой энергией и парниковым эффектом планеты. Изменения глобальной температуры являются важнейшим показателем изменения климата, поскольку с ними связаны вариации характеристик многих компонентов природной среды.

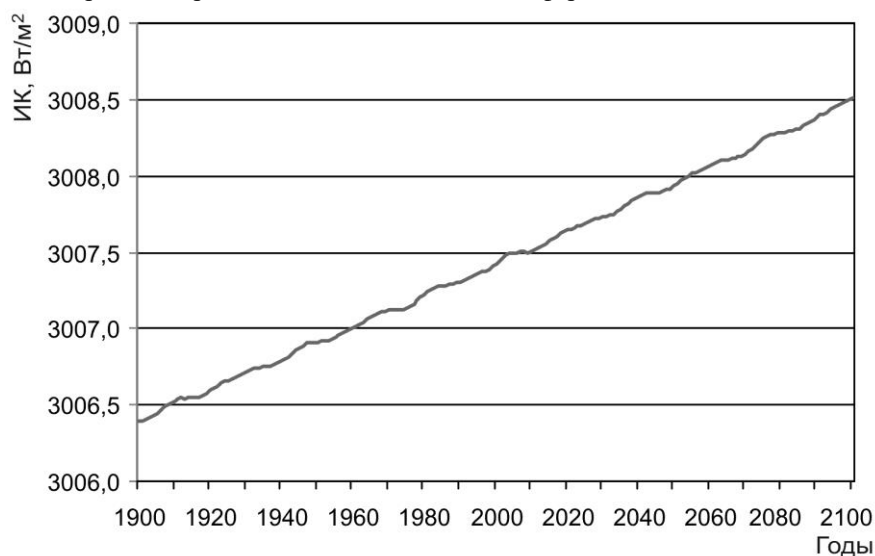
Солнечная радиация – основной источник энергии, определяющий радиационный и тепловой баланс Земли [4; 5; 6; 3; 7]. С широтными особенностями ее распределения связано расположение климатических поясов (широтная зональность). Древнегреческий астроном, географ и математик, живший во II в. до н.э., Гиппарх дал объяснение годовой смене климатических сезонов. По его справедливому мнению, она происходит вследствие изменения наклона падения солнечных лучей, что в свою очередь связано с орбитальным движением Земли и наклоном оси ее вращения («климат» в переводе с греческого языка означает «наклон»). Кроме сезонных, отмечаются межгодовые и многолетние колебания климата, причины которых пока однозначно не определены.

В регулировании поступления солнечной радиации к Земле (без учета атмосферы) и распределении ее по поверхности (солнечный климат Земли) выделяются два механизма, имеющие различную физическую природу. Один связан с изменением активности Солнца. Другой определяется небесно-механическими процессами, изменяющими элементы земной орбиты (расстояние Земля – Солнце, продолжительность тропического года и др.), наклон оси вращения и связанные с ними вариации в инсоляции планеты. В перераспределении тепла в природной системе Земли (в атмосфере и океане) участвуют механизмы межширотного теплообмена («тепловая машина первого рода»), теплообмена в системе «океан – материк», связанного с реверсивной сезонной сменой областей источника и стока тепла («тепловая машина второго рода») и «океан – атмосфера» и др. [4]. Важным фактором в регулировании термического режима нашей планеты является состав атмосферы (прежде всего, содержание  $H_2O$ ), определяющий роль парникового эффекта и ее изменение [8; 9].

В XX столетии отмечена тенденция повышения глобальной ПТВ [10], однако причины этого однозначно не определены. Широко распространено мнение о том, что основной причиной потепления является парниковый эффект, связан-

ный, главным образом, с эмиссией парниковых газов (прежде всего  $\text{CO}_2$ ), определяемой антропогенным влиянием [11; 1]. В то же время, не подвергается сомнению, что солнечная радиация имеет важнейшее значение в генезисе климата.

Целью представленной работы является составление оценочных прогнозов термических характеристик глобального климата, а также содержания двуокиси углерода в атмосфере (как предполагаемого фактора изменения глобальной температуры) на основе регрессионной модели. Использование подобных простых статистических моделей для оценки климатических изменений представляется актуальным в связи с отмечаемыми проблемами физико-математического моделирования климата [12; 13] и неопределенностью, связанной со сценарными прогнозами, ориентированными на предполагаемые в будущем изменения содержания двуокиси углерода, образующейся в результате деятельности человека [14]. В качестве предиктора используется годовая и летняя инсоляционная контрастность (рис. 1), которая обобщенно, по областям источника и стока тепла, отражает многолетние изменения меридионального градиента инсоляции, регулирующего перенос энергии в системе «океан – атмосфера» [7].



**Рис. 1.** Многолетние изменения летней инсоляционной контрастности в Северном полушарии (сглаженной по 30 годам методом скользящего среднего)

## 2 Прогноз изменения глобальной температуры

Показатели температурного режима Земли (ПТВ и ТПО) являются первостепенными, т.к. с их изменением связана динамика многих геофизических, геохимических и почвенно-биологических процессов. В первую очередь такие термические вариации проявляются в криосфере Земли (изменение баланса массы гор-

ных ледников, площади морских льдов, состояния многолетнемерзлых толщ, характера термоабразионных, термокарстовых и термоэрозионных процессов). От изменения глобальной температуры зависят колебания уровня Мирового океана (УМО) и связанные с ним процессы в береговой зоне (динамика берегов).

Ранее авторами была рассчитана инсоляция Земли с высоким пространственным и временным разрешением [7; 15; 16]. На основе полученных значений рассчитывались ее характеристики: приходящая на верхнюю границу атмосферы солнечная радиация, меридиональный градиент инсоляции (МГИ) или инсоляционная контрастность, инсоляционная сезонность Земли и полушарий. В астрономической теории климата рассчитывались и анализировались только вариации приходящей радиации (обычно в летнее полугодие на параллель 65° с.ш.) и их влияние на температурный режим Земли. При этом не учитывались механизмы теплообмена [17; 18], обусловленные неравномерным поступлением и распределением радиационного тепла.

Климатический эффект изменения МГИ или инсоляционной контрастности (ИК) проявляется в изменении интенсивности переноса радиационного тепла из экваториальной области (источник тепла) в полярные районы (области стока тепла). ИК обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражает вариации МГИ. Изменения МГИ и ИК регулируются колебаниями угла наклона оси вращения Земли (отрицательная линейная связь). ИК является характеристикой интенсивности работы «тепловой машины первого рода» [4]. Сезонность в инсоляции полушарий отражает работу «тепловой машины второго рода», связанной с сезонной сменой областей источника и стока тепла в системе «океан – материк». Сезонность в инсоляции Земли является характеристикой межполушарного теплообмена [19]. Как показали авторские исследования, в настоящее время наиболее тесно многолетние изменения ПТВ и ТПО связаны с ИК (табл. 1). Годовая ИК для полушарий рассчитывалась как разность солнечной радиации, приходящей в область источника тепла (0–45°) и поступающей в область его стока (45–90°). Сезонная (летняя и зимняя) ИК рассчитывалась с учетом смещения областей источника и стока тепла в полушариях. В качестве исходных данных ПТВ и ТПО принимались значения их аномалий (относительно периода 1961–1990 гг.), размещенные на электронном ресурсе Университета Восточной Англии и Метеорологического бюро Хэдли [10].

**Таблица 1.** Значения коэффициента корреляции годовой ИК с годовыми аномалиями ПТВ и ТПО (1900–2018 гг.)

Годовая ИК	Земля / Мировой океан	Северное полушарие	Южное полушарие
ПТВ			
Северного полушария	0,844	0,795	0,866
Южного полушария	0,842	0,794	0,863
ТПО			
Северного полушария	0,850	0,789	0,880
Южного полушария	0,846	0,786	0,878

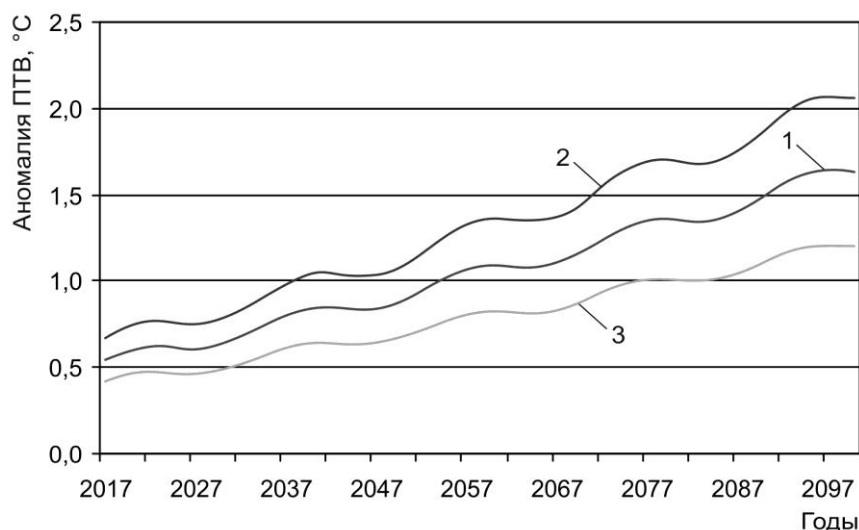
На основе полученных тесных корреляционных связей было выполнено моделирование аномалий ПТВ и ТПО с использованием простой регрессионной модели (линейной и полиномиальной – полином второй степени). По ансамблю линейных и полиномиальных решений определено, что регрессионной моделью объясняется от 69,3 до 84,1% многолетней изменчивости ПТВ и ТПО (для интервала значений с 1900 по 2016 гг.). С учетом климатической мультидекадной осцилляции (КМО), которая представляет собой автоколебание в природной системе Земли с периодом около 60 лет, доля объясняемых изменений ПТВ и ТПО увеличивается (табл. 2). Наиболее интенсивно это колебание проявляется в Северной Атлантике, где оно известно как Североатлантическая осцилляция (Atlantic multidecadal oscillation – АМО). С учетом КМО при статистическом моделировании ПТВ увеличение составляет для Земли в целом 7,6%, для Северного полушария – 13,0%, для Южного – 0,9%. При моделировании ТПО доля объясняемых моделью изменений с учетом КМО увеличивается на 8,8, 17,3 и 1,8% для Мирового океана в целом, Северного и Южного полушария соответственно [7].

**Таблица 2.** Многолетние изменения ПТВ и ТПО, объясняемые регрессионной моделью, %

Предиктор	Земля / Мировой океан	Северное полушарие	Южное полушарие
ПТВ			
ИК	80,7	73,4	83,1
ИК и КМО	88,3	86,4	84,0
ТПО			
ИК	79,7	69,3	84,1
ИК и КМО	88,5	86,6	85,9

На основе полученных уравнений регрессии выполнялся статистический оценочный прогноз. Рассчитывались значения аномалии ПТВ на период с 2017 по 2100 гг. Расчеты выполнялись для Земли в целом и полушарий (рис. 2). Выбор простой регрессионной модели для оценочного прогноза температурного режима Земли и полушарий представляется оправданным в связи с неопределенностью, связанной со сценарными прогнозами, рекомендуемыми Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК или Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) [14]. Неопределенность появляется из-за того, что содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере в будущем достоверно неизвестно (т.е., непонятно, какой из четырех предлагаемых IPCC или иных сценариев реализуется в действительности). Кроме этого, имеются проблемы и в физико-математическом моделировании климата [20; 12; 13; 18]. Так, например, отмечается, что расхождения рассчитанных значений ПТВ, соответствующих различным моделям при задании одинакового сценария выбросов малых газовых компонентов, и одной модели с использованием различных сценариев выбросов, примерно одинаковы. Кроме

того, результаты расчетов могут меняться в зависимости от числа повторных моделирования. Практическое значение таких расчетов сводится к нулю [20]. Применение статистических моделей представляется логичным и в связи с определением климата как статистического ансамбля состояний природной среды [21].

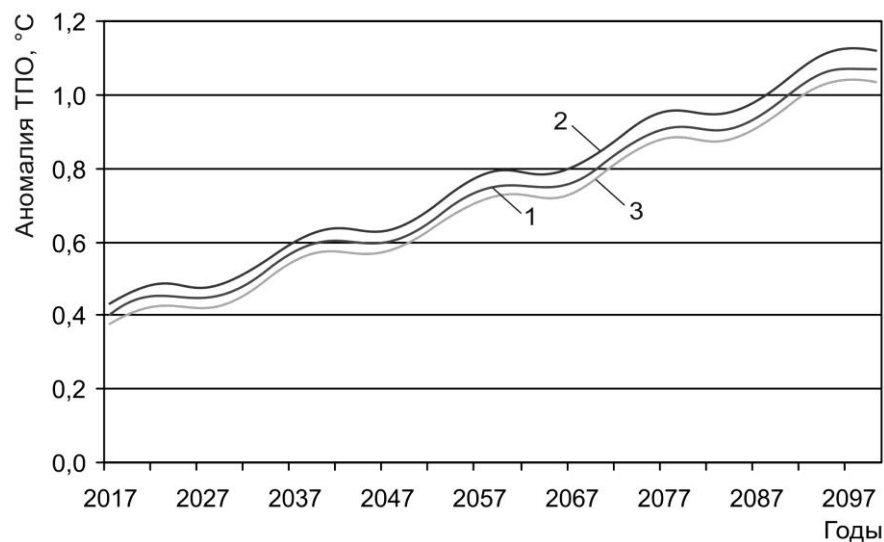


**Рис. 2.** Оценочный прогноз изменения аномалии ПТВ Земли в целом (1), Северного (2) и Южного (3) полушарий

Выполненный оценочный прогноз показывает увеличение ПТВ в течение текущего столетия. Для Земли в целом к 2100 г. ожидается рост аномалии ПТВ (относительно 2020 г.) на  $1,03^{\circ}\text{C}$ , для Северного полушария — на  $1,31^{\circ}\text{C}$ , для Южного — на  $0,74^{\circ}\text{C}$ . Соответствующие абсолютные значения аномалии ПТВ (относительно среднего за период с 1961 по 1990 гг.) в 2100 г. составят  $1,63$ ,  $2,06$  и  $1,20^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, аномалия ПТВ Земли в целом увеличится к 2100 г. относительно 2020 г. в 2,71 раза, в Северном полушарии — в 2,76, в Южном — в 2,42. При этом, в «холодные» фазы КМО фактическая аномалия ПТВ Земли в среднем будет ниже расчетных значений на  $0,12^{\circ}\text{C}$ , в Северном полушарии — на  $0,15^{\circ}\text{C}$ , в Южном — на  $0,09^{\circ}\text{C}$ . В «теплые» фазы КМО фактическая аномалия ПТВ превысит расчетные значения для Земли в целом на  $0,10^{\circ}\text{C}$ , для Северного полушария — на  $0,13^{\circ}\text{C}$ , для Южного — на  $0,08^{\circ}\text{C}$ . Однако даты начала этих фаз однозначно не определены. Вероятное начало очередной «холодной» фазы КМО может быть приурочено к текущему десятилетнему интервалу. В его пределах начало очередной «холодной» фазы в зависимости от принимаемого варианта границ предшествующих фаз КМО может приходиться на период 2018-2022 гг. или 2025-2029 гг. [7].

Согласно данным ИРСС для разных сценариев [22] за период 1990-2100 гг. ожидается повышение среднегодовой ПТВ в пределах  $1,6$ - $4,8^{\circ}\text{C}$  [20].

На основе полученных уравнений регрессии также рассчитывались значения аномалии ТПО на период с 2017 по 2100 гг. Расчеты выполнялись для Мирового океана в целом и полушарий (рис. 3).



**Рис. 3.** Оценочный прогноз изменения аномалии ТПО Мирового океана (1), Северного (2) и Южного (3) полушарий

Выполненный прогноз показывает увеличение ТПО в текущем столетии. Для Мирового океана в целом ожидается рост аномалии ТПО (относительно 2020 г.) на  $0,63^{\circ}\text{C}$ , для Северного полушария — на  $0,65^{\circ}\text{C}$ , для Южного — на  $0,62^{\circ}\text{C}$ . Соответствующие абсолютные значения аномалии ТПО в 2100 г. составят  $1,07$ ,  $1,12$  и  $1,04^{\circ}\text{C}$ . Аномалия ТПО Мирового океана в целом к 2100 г. увеличится относительно 2020 г. в 2,41 раза, в Северном полушарии — в 2,53, в Южном — в 2,49. В «холодные» фазы КМО фактическая аномалия ТПО Мирового океана в среднем будет ниже расчетных значений аномалии на  $0,10^{\circ}\text{C}$ , в Северном полушарии — на  $0,13^{\circ}\text{C}$ , в Южном — на  $0,08^{\circ}\text{C}$ . В «теплые» фазы КМО фактическая аномалия ТПО будет превышать расчетные значения для Мирового океана в среднем на  $0,09^{\circ}$ , для Северного — на  $0,12^{\circ}\text{C}$ , для Южного — на  $0,08^{\circ}\text{C}$ . Однако, как отмечалось, даты начала этих фаз однозначно не определены [7]. При установлении даты перехода от текущей «теплой» фазы КМО к «холодной» выполненные прогнозы следует откорректировать с учетом приведенных средних значений фазовых поправок.

### 3 Прогноз изменения содержания углекислого газа в атмосфере

Парниковый эффект удерживает тепло, получаемое нашей планетой от Солнца. При этом известно, что основным парниковым газом является водяной пар. Его объемное содержание в воздухе в среднем составляет около 2% (и в тропиках может достигать 4%). Содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере составляет всего 0,04%, при этом, около 1% от этого – углекислый газ, связанный с деятельностью человека [23]. Таким образом, по объемному содержанию в атмосфере водяной пар почти на два порядка превосходит углекислый газ (суммарно природный и антропогенный). По содержанию в атмосфере H<sub>2</sub>O превосходит содержание CO<sub>2</sub>, связанного с деятельностью человека (антропогенного происхождения) в среднем в 5000 раз. По удержанию тепла водяной пар на три порядка (приблизительно в 1850 раз) превосходит эффект, связанный с CO<sub>2</sub> антропогенного происхождения [24]. Тем не менее IPCC называет в качестве основного фактора изменения температурного режима Земли увеличение содержания CO<sub>2</sub>, связанное с деятельностью человека. Рассчитанные на основе климатических моделей прогнозы изменения климата ориентированы на предполагаемые сценарии выбросов CO<sub>2</sub> [22]. Эти представления составляют основу Парижского соглашения по климату и Климатической доктрины РФ. Однако, при этом не учитывается связь многолетней изменчивости инсоляции Земли и многолетней изменчивости содержания CO<sub>2</sub>. Для ее изучения используются ранее выполненные расчеты инсоляционной контрастности [7; 15]. Следует также отметить, что этот показатель рассчитывался без учета атмосферы (а значит, и содержания CO<sub>2</sub>).

В качестве исходных данных по многолетней изменчивости содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере анализировались среднемесячные значения, полученные в результате инструментальных измерений в районе Мауна-Лоа (за период с 1975 по 2015 гг.) и размещенные на сайте Национального управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) [25]. Именно эти данные являются основной аргументацией и «доказательством» того, что рост концентрации CO<sub>2</sub>, связанный с деятельностью человека, является главной причиной изменения глобального климата Земли [26]. При этом, предполагаемые сценарии вариаций содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере в связи с различными вариантами развития мирового промышленного производства составляют одно из условий климатического прогнозирования [27].

Анализ изменения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере показывает, что многолетняя изменчивость этого параметра на 99,4% определяется линейным трендом. Для исследования связи многолетней изменчивости содержания CO<sub>2</sub> и инсоляции Земли авторами использовалась годовая ИК (сглаженная по 30-летним скользящим средним). Проведенный корреляционный анализ показывает, что связь между этими переменными близка к линейной. Значение R составляет 0,988. Выполнялось моделирование содержания CO<sub>2</sub> на основе линейного уравнения регрессии. Коэффициент корреляции фактических и рассчитанных значений составил 0,988, а среднее по модулю расхождение – 2,631 ppm. Это всего 0,725% от среднегодового содержания CO<sub>2</sub> в период инструментальных измере-

ний (1975–2015 гг.). Определялась дисперсия содержания  $\text{CO}_2$  в рядах фактических значений ( $D1$ ) и разности фактических и рассчитанных ( $D2$ ). Затем находилось отношение  $D2/D1$ . Вычитанием из единицы полученных значений и затем умножением их на 100 были рассчитаны (в процентах) объясняемые регрессионной моделью изменения содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере. В результате выяснилось, что 97,7% многолетней изменчивости данного параметра объясняется многолетней изменчивостью годовой ИК в регрессионной модели.

Полученные линейные корреляционные связи стали основой для прогнозирования многолетней изменчивости содержания  $\text{CO}_2$  на основе вычисленных по инсоляции значений годовой ИК. Прогностические расчеты проводились на основе уравнений линейной и полиномиальной (полином второй степени) регрессии и последующего усреднения соответствующих значений концентрации  $\text{CO}_2$ , т.е. получались ансамблевые прогностические решения, которые для наглядности представлены в виде гистограммы (рис. 4).

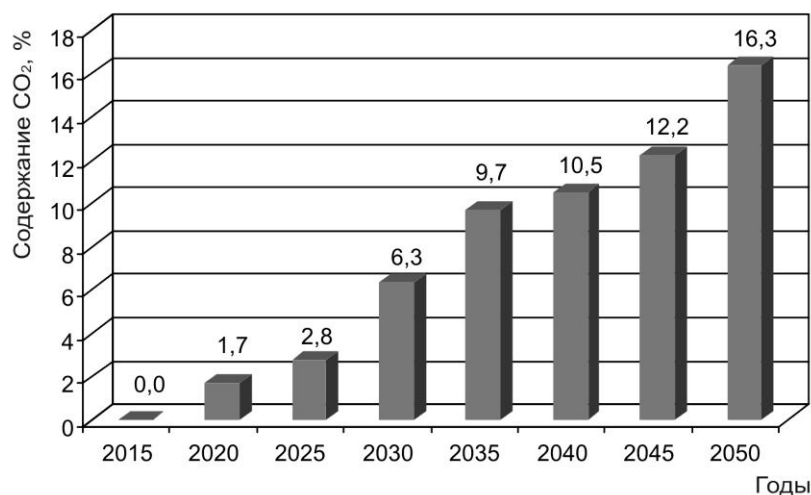


Рис. 4. Прогнозируемое изменение содержания  $\text{CO}_2$  относительно 2015 г.

По рассчитанному прогнозу увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в 2050 г. относительно 2015 г. (заклучение Парижского соглашения по климату) составит 65,5 ppm. Таким образом, ожидаемый рост концентрации  $\text{CO}_2$  достигнет около 16,3% независимо от усилий стран участниц Парижского соглашения по климату. Это определяется тем, что менее 1,0%  $\text{CO}_2$  в атмосфере имеет антропогенное происхождение, в то время как многолетняя изменчивость почти 99,0% содержащегося в ней углекислого газа регулируется многолетней изменчивостью ИК. Полученный по регрессионной модели прогноз концентрации  $\text{CO}_2$ , таким образом, по своей определенности принципиально отличается от предполагаемых сценарных решений IPCC [22].

В общепринятых в настоящее время представлениях о причинах изменения климата основной из них считается многолетняя изменчивость содержания  $\text{CO}_2$ ,



связанная с деятельностью человека [1]. Однако, по мнению авторов, тенденция увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере является следствием отмеченной тенденции роста ТПО, которая определяет уменьшение растворимости  $\text{CO}_2$  в океане (и, следовательно, его увеличение в атмосфере) [27; 19]. Коэффициент корреляции между содержанием  $\text{CO}_2$  в атмосфере и ТПО составляет 0,907. Многолетний рост концентрации атмосферного  $\text{CO}_2$  является результатом многолетнего увеличения изменений ТПО, которое, в свою очередь, обусловлено ростом ИК, определяемой уменьшением угла наклона оси вращения Земли. Таким образом, вариации содержания  $\text{CO}_2$  не причина, а следствие изменения глобального климата, определяемого уменьшением угла наклона оси вращения Земли [21; 27].

По рассчитанному прогнозу концентрация  $\text{CO}_2$  в 2050 г. составит 466,0 ppm, что на 65,5 ppm будет превышать этот показатель в 2015 году. Следовательно, ожидаемое увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере, относительно года заключения Парижского соглашения по климату, составит 16,3%.

#### 4 Заключение

Показано, что применение простых статистических регрессионных моделей для оценки изменения характеристик глобального климата представляется оправданным и актуальным в связи с существующими проблемами физико-математического моделирования и неопределенностью сценарной концепции прогнозов, предлагаемой ИРСС.

Выполненные оценочные прогнозы показывают увеличение глобальной температуры в текущем столетии. Для Земли к 2100 г. ожидается рост аномалии ПТВ (относительно 2020 г.) на 1,03°C, для Северного полушария – на 1,31°C, для Южного – на 0,74°C. Соответствующие абсолютные значения аномалии ПТВ (относительно среднего за период с 1961 по 1990 гг. значения ПТВ) в 2100 г. составят 1,63, 2,06 и 1,20°C.

Для Мирового океана прогнозируется увеличение аномалии ТПО (относительно 2020 г.) на 0,63°C, для Северного полушария – на 0,65°C, для Южного – на 0,62°C. Соответствующие абсолютные значения аномалии ТПО в 2100 г. составят 1,07, 1,12 и 1,04°C (относительно средней за период 1961 – 1990 ТПО).

По рассчитанному прогнозу содержание  $\text{CO}_2$  в 2050 г. достигнет 466,0 ppm. Увеличение этого показателя относительно 2015 г. составит 65,5 ppm. Следовательно, ожидаемый рост концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере будет 16,3% независимо от усилий стран участниц Парижского соглашения по климату.

**Статья подготовлена в соответствии с госбюджетными темами «Эволюция, современное состояние и прогноз развития береговой зоны Российской Арктики» (121051100167-1) и «Географические основы устойчивого развития энергетических систем с использованием возобновляемых источников энергии» (121051400082-4).**

## Литература

1. Официальный сайт Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). URL: <http://www.ipcc.ch/> (дата обращения: 29.11.2021).
2. Кондратьев К.Я., 1992. Глобальный климат. Наука, Санкт-Петербург.
3. Монин А.С., Шишков Ю.А., 2000. Климат как проблема физики. Успехи физических наук, Том 170, № 4, с. 419-445, <https://doi.org/10.3367/UFNr.0170.200004d.0419>.
4. Шулейкин В.В., 1953. Физика моря, 3-е изд., перераб. и доп. Изд-во Академии наук СССР, Москва.
5. Будыко М.И., 1968. Радиационные факторы современных изменений климата. Известия АН СССР. Серия географическая, № 5, с. 36-41.
6. Кондратьев К.Я., 1980. Радиационные факторы современных изменений глобального климата. Гидрометеиздат, Ленинград.
7. Федоров В.М., 2018. Солнечная радиация и климат Земли. Физматлит, Москва.
8. Алексеев Г.В., 2015. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике. Фундаментальная и прикладная климатология, № 1, с. 11-26.
9. Малинин В.Н., Гордеева С.М., 2015. Изменчивость влагосодержания атмосферы над океаном по спутниковым данным. Исследование Земли из космоса, № 1, с. 3-11, <https://doi.org/10.7868/S0205961415010042>.
10. Официальный сайт Университета Восточной Англии и Центра Хэдли Метеорологического бюро. Температура. URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature> (дата обращения: 29.11.2021).
11. Официальный сайт Всемирной метеорологической организации (ВМО). URL: [http://www.wmo.int/pages/index\\_ru.html](http://www.wmo.int/pages/index_ru.html) (дата обращения: 29.11.2021).
12. Шерстюков Б.Г., 2011. Изменения, изменчивость и колебания климата. Изд-во Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации - Мирового центра данных, Обнинск.
13. Федоров В.М., 2019. Вариации инсоляции Земли и особенности их учета в физико-математических моделях климата. Успехи физических наук, Том 189, № 1, с. 33-46, <https://doi.org/10.3367/UFNr.2017.12.038267>.
14. Федоров В.М., 2019. Комментарии к статье С.П. Позднякова, С.О. Гриневского, Е.А. Дедюлиной «Влияние климатических изменений на многолетнюю динамику сезонного промерзания в московском регионе: ретроспективный анализ и неопределенности прогноза на вторую половину XXI века». Криосфера Земли, Том XXIII, № 4, с. 36-43, [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-4\(36-43\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-4(36-43)).
15. Федоров В.М., Костин А.А., 2019. Вычисление инсоляции Земли для периода от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э. Процессы в геосредах, № 2(20), с. 254-262.
16. Fedorov V.M., 2020. Features of the Earth's solar climate changes in the present epoch. Geomagnetism and Aeronomy, Vol. 60, No. 7, pp. 993-998, <https://doi.org/10.1134/S0016793220070117>.
17. Будыко М.И., 1980. Климат в прошлом и будущем. Гидрометеиздат, Ленинград.
18. Федоров В.М., 2019. Проблема меридионального переноса тепла в астрономической теории климата. Геофизические процессы и биосфера, Том 18, № 3, с. 117-128, <https://doi.org/10.21455/GPB2019.3-8>.
19. Федоров В.М., 2020. Эволюция современного глобального климата Земли и ее возможные причины. ГеоРиск, Том XIV, № 4, с. 16-29, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2020-14-4-16-29>.

20. Кондратьев К.Я., Демирчян К.С., 2001. Климат земли и «Протокол Киото». Вестник Российской Академии наук, Том 71, № 11, с. 1002-1009.
21. Монин А.С., Берестов А.А., 2005. Новое о климате. Вестник Российской академии наук, Том 75, № 2, с. 126-138.
22. О новых сценариях анализа выбросов, изменения климата, воздействий и стратегий реагирования. Техническое резюме, 2008. Изд-во Межправительственной группы экспертов по изменению климата, Женева, Швейцария. URL: <https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-ts-scenarios-ru.pdf> (дата обращения: 29.11.2021).
23. Голубев В.Н., 2010. Роль арктического морского ледяного покрова в газообмене поверхностных геосфер. Криосфера Земли, Том XIV, № 4, с. 17-29.
24. Галин В.Я., 1998. Параметризация радиационных процессов в атмосферной модели ИВМ РАН. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, Том 34, № 3, с. 380-389.
25. Официальный сайт Лаборатории глобального мониторинга (GML) Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA). URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/> (дата обращения: 29.11.2021).
26. IPCC, 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (дата обращения: 29.11.2021).
27. Федоров В.М., Голубев В.Н., Фролов Д.М., 2018. Многолетняя изменчивость инсоляции Земли и содержания двуокиси углерода в атмосфере. Жизнь Земли, Том 40, № 1, с. 12-21.

## References

1. Official site of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). URL: <http://www.ipcc.ch/> (reference date: 29.11.2021).
2. Kondrat'ev K.YA., 1992. Global'nyj klimat. Nauka, Sankt-Peterburg.
3. Monin A.S., Shishkov YU.A., 2000. Klimat kak problema fiziki. Uspekhi fizicheskikh nauk, Vol. 170, № 4, pp. 419-445, <https://doi.org/10.3367/UFNr.0170.200004d.0419>.
4. Shulejkin V.V., 1953. Fizika morya, 3-e ed., pererab. i dop. Izd-vo Akademii nauk SSSR, Moskva.
5. Budyko M.I., 1968. Radiacionnye faktory sovremennykh izmenenij klimata. Izve-stiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya, № 5, pp. 36-41.
6. Kondrat'ev K.YA., 1980. Radiacionnye faktory sovremennykh izmenenij global'nogo klimata. Gidrometeoizdat, Leningrad.
7. Fedorov V.M., 2018. Solnechnaya radiaciya i klimat Zemli. Fizmatlit, Moskva.
8. Alekseev G.V., 2015. Proyavlenie i usilenie global'nogo potepleniya v Arktike. Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya, № 1, pp. 11-26.
9. Malinin V.N., Gordeeva S.M., 2015. Izmenchivost' vlagosoderzhaniya atmosfery nad okeanom po sputnikovym dannym. Issledovanie Zemli iz kosmosa, № 1, pp. 3-11, <https://doi.org/10.7868/S0205961415010042>.
10. Official site of the University of East Anglia and Met Office Hadley Centre. Temperature. URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature> (reference date: 29.11.2021).

11. Official Site of the World Meteorological Organization (WMO). URL: [http://www.wmo.int/pages/index\\_ru.html](http://www.wmo.int/pages/index_ru.html) (reference date: 29.11.2021).
12. Sherstyukov B.G., 2011. *Izmeneniya, izmenchivost' i kolebaniya klimata*. Izd-vo Vse-rossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrometeorologicheskoy informacii - Mi-rovogo centra dannyh, Obninsk.
13. Fedorov V.M., 2019. Variacii insolyacii Zemli i osobennosti ih ucheta v fiziko-matematicheskikh modelyakh klimata. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, vol. 189, № 1, pp. 33-46, <https://doi.org/10.3367/UFNr.2017.12.038267>.
14. Fedorov V.M., 2019. Kommentarii k stat'e S.P. Pozdnyakova, S.O. Grinevskogo, E.A. Dedyulinoj «Vliyanie klimaticheskikh izmenenij na mnogoletnyuyu dinamiku se-zonnogo promerzaniya v moskovskom regione: retrospektivnyj analiz i neopredelen-nosti prognoza na vtoruyu polovinu XXI veka». *Kriosfera Zemli*, Vol. XXIII, № 4, pp. 36-43, [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-4\(36-43\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-4(36-43)).
15. Fedorov V.M., Kostin A.A., 2019. Vychislenie insolyacii Zemli dlya perioda ot 3000 g. do n.e. do 2999 g. n.e. *Processy v geosredah*, № 2(20), pp. 254-262.
16. Fedorov V.M., 2020. Features of the Earth's solar climate changes in the present epoch. *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 60, No. 7, pp. 993-998, <https://doi.org/10.1134/S0016793220070117>.
17. Budyko M.I., 1980. *Klimat v proshlom i budushchem*. Gidrometeoizdat, Leningrad.
18. Fedorov V.M., 2019. Problema meridional'nogo perenosa tepla v astronomicheskoy teorii klimata. *Geofizicheskie processy i biosfera*, Vol. 18, № 3, pp. 117-128, <https://doi.org/10.21455/GPB2019.3-8>.
19. Fedorov V.M., 2020. Evolyuciya sovremennogo global'nogo klimata Zemli i ee voz-mozhnye prichiny. *GeoRisk*, Vol. XIV, № 4, pp. 16-29, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2020-14-4-16-29>.
20. Kondrat'ev K.YA., Demirchyan K.S., 2001. *Klimat zemli i «Protokol Kioto»*. Vestnik Ros-sijskoj Akademii nauk, Vol. 71, № 11, pp. 1002-1009.
21. Monin A.S., Berestov A.A., 2005. *Novoe o klimate*. Vestnik Rossijskoj akademii nauk, Vol. 75, № 2, pp. 126-138.
22. O novykh scenariyakh analiza vybrosov, izmeneniya klimata, vozdeystvij i strategij reagi-rovaniya. Tekhnicheskoe rezyume, 2008. Izd-vo Mezhpriatel'stvennoj gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata, Geneva, Switzerland. URL: <https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-ts-scenarios-ru.pdf> (reference date: 29.11.2021).
23. Golubev V.N., 2010. Rol' arkticheskogo morskogo ledyanogo pokrova v gazoobmene po-verhnostnykh geosfer. *Kriosfera Zemli*, Vol. XIV, № 4, pp. 17-29.
24. Galin V.YA., 1998. Parametrizaciya radiacionnykh processov v atmosfernoj modeli IVM RAN. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, Vol. 34, № 3, pp. 380-389.
25. Official site of the NOAA Global Monitoring Laboratory. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/> (reference date: 29.11.2021).
26. IPCC, 2013. *Climate change 2013: The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (reference date: 29.11.2021).
27. Fedorov V.M., Golubev V.N., Frolov D.M., 2018. Mnogoletnyaya izmenchivost' inso-lyacii Zemli i soderzhaniya dvuokisi ugleroda v atmosfere. *Zhizn' Zemli*, Vol. 40, № 1, pp. 12-21.

## **An estimative forecast for the change of the earth temperature behavior in XXI century**

Valery Fedorov<sup>1,2</sup>, Alim Zalihanov<sup>1,3</sup>

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

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

**Abstract.** The article presents an evaluative forecast for the change of the Earth's temperature behavior parameters in XXI century that was worked out with a regression model and insolation contrast range as a predictor. The study discovered that in 2100 the anomalies of surface air temperatures (relatively to 1961-1990 average) are expected to be 1.63, 2.06 and 1.20°C for the Earth average, Northern and Southern Hemispheres respectively. The temperature anomalies for the Ocean surface waters will rise until 2100 up to 1.07°C, 1.12, and 1.04°C for the World Ocean average, Northern and Southern Hemispheres respectively. The work also forecasts the content of carbon dioxide in the atmosphere. According to the authors' scenario it will increase up to 2050 comparatively to 2015 (when the Paris Climate Agreement was adopted) by 65.5 ppm. So, the expected growth is some 16.3% independently on efforts of the Paris Agreement participants.

**Keywords:** estimative forecast, regression model, insolation contrast range, global temperature, carbon dioxide content.

## Памяти Дмитрия Семёновича Стребкова

Ушёл из жизни 14.12.2021 мой близкий друг. Последние 30 лет для нас прошли в борьбе за развитие возобновляемой энергетики в России. Руководимый им институт ВИЭСХ с начала его директорства превратился в базовый институт Минэнерго России, затем и научной общественности России по возобновляемой энергетике.



**Рис. 1.** Дмитрий Семёнович Стребков, 11.03.1937-14.12.2021

В наземной солнечной энергетике Дмитрий Семёнович стал не только признанным лидером в России и известным учёным за рубежом, но и одним из первых в нашей стране организовал производство фотоэлектрических модулей международного уровня. ВИЭСХ поставлял модули в Индию, что позволило Дмитрию Семёновичу сохранить коллектив института при недостаточном государственном финансировании. В институте проводились значительные научные исследования также по биоэнергетике, малым ГЭС и малым ВЭУ.

Он был консультантом моей докторской диссертации. Ему удалось повторить уникальные опыты известного изобретателя Николо Тесла по передаче электрической энергии по однопроводной линии, что никому не удавалось сделать в течение 100 лет после смерти изобретателя. По территории института была проложена тонким проводом однопроводная линия, а преобразователи передающего и приёмного концов и нагрузка, в виде набора ламп накаливания мощностью 10 кВт, были размещены в зале внутри института. Установку по моей инициативе посетили несколько заместителей Министра энергетики, видные учёные, энергетики разных уровней, предприниматели. Но перейти на промышленный эксперимент не удалось из-за отсутствия финансирования.

В творческом пути Дмитрия Семёновича, написанном академиками РАСХН Ю.Ф. Лачугой и Б.А. Руновым и руководителем «Кванта» Н.С. Лидоренко, использованном мною для представления его на премию «Глобальная энергия», приведены разнообразные направления его деятельности. Мне хочется подчеркнуть его прекрасные человеческие качества: доброту, демократичность, спокойствие, рассудительность, внимательность при рассмотрении бесчисленных предложений изобретателей разного рода.

Особенно меня удивляла и восхищала его терпеливость при рассмотрении различных спорных вопросов. Но самой примечательной чертой являлась для меня его работоспособность. Он мог работать над своими изобретениями, статьями и документами в самой разнообразной обстановке: от собственного кабинета, отвлечённый звонками и посетителями, в автомобиле, на дипломатическом приёме. Однажды автор нашёл его в кресле в посольстве, в уголке комнаты, где он под грохот музыки писал в блокноте какие-то формулы.

Дмитрий Семёнович был среди отцов – основателей Комитета по проблемам использования возобновляемых источников энергии Российского союза научных и инженерных общественных объединений (Комитет ВИЭ РосСНИО) и заместителем Председателя комитета со дня его основания в 2002 году. Активно участвовал в работе комитета и на всех ежегодно проводимых комитетом конференциях выступал с интересными докладами.

А в молодости он писал прекрасные стихи, играл на гитаре и пел песни. В его поэтическом таланте и доброте можно убедиться, прочтя прилагаемый творческий путь.

Прощай, дорогой друг, мы будем помнить тебя, пока живы, и благодарить судьбу за общение с тобой.

**Безруких П.П., д.т.н., Председатель Комитета ВИЭ РосСНИО, проф.кафедры ГВИЭ МЭИ.**

### **Творческий путь академика Российской академии наук, доктора технических наук, профессора Дмитрия Семеновича Стребкова**

Дмитрий Семёнович Стребков родился 11 марта 1937 года в г. Винница Украинской ССР. Окончил в 1959 г. факультет электрификации Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства. Работал в 1959–1960 гг. инженером электротехнической лаборатории Московской областной эксплуатационной конторы Моссельэлектро Министерства сельского хозяйства РСФСР. С 1960 по 1987 гг. работал во Всесоюзном научно-исследовательском, проектно-конструкторском и технологическом институте источников тока (ВНИИТ) НПО «Квант» старшим инженером, старшим научным сотрудником, начальником сектора,

начальником лаборатории, начальником отдела, заместителем главного конструктора института.

В 1967 г. Д.С. Стребков без отрыва от производства окончил механико-математический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по специальности «Математика». В 1971 г. окончил заочную аспирантуру при ВНИИТ и защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, в 1976 г. ему присвоено ученое звание старшего научного сотрудника по специальности «Преобразование видов энергии». В 1983 г. Д.С. Стребкову присуждена ученая степень доктора технических наук.

За время работы во ВНИИТ Д.С. Стребков проявил незаурядные способности экспериментатора, умеющего решать сложные технические проблемы на высоком научном уровне. Он предложил и разработал новое научное направление по преобразованию концентрированного солнечного теплового и лазерного излучения. Созданный им новый класс фотоэлектрических преобразователей энергии и результаты исследований существенным образом расширили представления о функциональных возможностях и перспективах энергетического использования фотопреобразователей.

Д.С. Стребков постоянно совершенствовал свои теоретические знания. С 1967 г. Он работал по совместительству во Всесоюзном заочном политехническом институте (сейчас Московский государственный открытый университет) на кафедре высшей математики, с 1972 по 1987 гг. - на кафедре основ радиотехники и телевидения. В 1976 г. он избран по конкурсу на должность доцента, а в январе 1984 г. на должность профессора кафедры. В 1985 г. ему присвоено ученое звание профессора по кафедре «Основы радиотехники и телевидения».

Д.С. Стребков разработал новые лекционные спецкурсы по современным проблемам полупроводниковой электроники: «Полупроводниковые фотопреобразователи», «Солнечные фотоэлектрические станции», «Термоэлектрические преобразователи энергии». Под его руководством 80 студентов ВЗПИ успешно защитили дипломные проекты.

В 70-е – 80-е годы XX века Дмитрий Семёнович был членом Научного Совета Государственного Комитета по науке и технике СССР (ГКНТ СССР) по проблеме «Использование возобновляемых источников энергии в народном хозяйстве», заместителем председателя фотоэлектрической секции Научного Совета ГКНТ СССР, заместителем председателя секции прикладных исследований Научного Совета АН СССР «Изыскание новых методов использования солнечной энергии», консультантом ООН по фотоэлектрическим системам.

В 1987 г. Д.С. Стребков назначен директором Всесоюзного, а с 1992 г. Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), где работает по настоящее время (2007 г.).

Дмитрий Семёнович внес крупный вклад в теорию и практику фотоэлектрической энергетики сельского хозяйства, показал перспективы энергетического использования возобновляемых источников энергии в агропромышленном производстве. Он впервые в мире теоретически обосновал и создал управляемые светом фотоэлектрические генераторы напряжением 30 кВ для электротехнологиче-



ских процессов, фотопреобразователи для мобильных энергосредств с предельной электрической мощностью до 3 кВт/см<sup>2</sup> с передачей энергии по лазерному лучу, солнечные водоподъемные установки с ресурсом работы по фотоэлектрическому генератору 30 лет, преобразователи солнечной радиации для управления климатом в теплицах.

Являясь заместителем председателя секции «Использование солнечной энергии в сельском хозяйстве» Научного Совета ГКНТ СССР, Д.С. Стребков принимал активное участие в разработке научных проблем в области использования возобновляемых источников энергии в агропромышленном производстве, организовал исследования по целевым комплексным программам КПНТП СЭВ по биотехнологии, электронизации и солнечной энергетике для АПК. Дмитрий Семёнович лично принимал участие в работах по созданию энергетических комплексов с комбинированными системами на основе возобновляемых источников энергии, обоснованию энергетике агропромышленного производства, электрификации и автоматизации молочных ферм и личных подсобных хозяйств.

В ВИЭСХ Д.С. Стребков обосновал и предложил принципиально новый аккумулятор электрической энергии для мобильных энергосредств, удельные параметры которого в 2 раза превышают параметры традиционных электрохимических аккумуляторов.

В 1980-х годах была создана сеть зональных филиалов и отделений ВИЭСХ в России (гг. Челябинск, Улан-Удэ, Вологда, Псковская область), Украине, Армении, Таджикистане, Туркмении, Узбекистане. ВИЭСХ передан опытный завод в г. Душанбе, в 1989 г. завершено строительство филиала в г. Смоленске. В 1995 г. ВИЭСХ передан Александровский опытно-механический завод (г. Александров Владимирской области).

Проведенные под руководством Д.С. Стребкова и при его непосредственном участии научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по энергетике ЛПХ, в том числе по использованию нетрадиционных источников энергии, приобрели в настоящее время особую значимость.

Эти работы имеют целью развитие сельскохозяйственного производства и быта села на базе более эффективных технологий и технических средств малой энергетики на основе широкого использования в сельском хозяйстве энергии биомассы, солнца, ветра, малых водотоков, производства и использования биодизельного топлива.

Принципиальные направления научно-исследовательских работ в этой области разработаны Д.С. Стребковым в концепции энергетического обеспечения сельского хозяйства в условиях многоукладной экономики, развития и использования малой и нетрадиционной энергетики, концепции развития электрификации сельского хозяйства России до 2010 года.

Д.С. Стребков - один из авторов резонансного метода передачи электрической энергии для электроснабжения потребителей, мобильных электроагрегатов и электротехнологий, методов преобразования биомассы в жидкое и газообразное биотопливо.

Впервые в мире создан и исследован новый класс матричных и высоковольтных фотоэлектрических солнечных элементов, новый класс стационарных концентраторов солнечной энергии, новые технологии бесполимерной герметизации солнечных модулей, бесхлорные технологии получения солнечного кремния. Разработана технология производства солнечных фотоэлектрических элементов, модулей и электрических установок, внедренная на опытном производстве ВИЭСХ, а также на четырех конверсионных заводах.

ВИЭСХ с 1990 г. производит солнечные фотоэлектрические элементы и модули, реализующиеся на внутреннем рынке и поставляемые на экспорт.

В течение многих лет Дмитрий Семёнович проводил активную и плодотворную деятельность по подготовке инженерных и научных кадров: работа во ВЗПИ, регулярные выступления с проблемными лекциями по новым направлениям энергообеспечения сельского хозяйства, использования возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, руководит подготовкой аспирантов. Он инициатор создания при ВИЭСХ кафедры Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горякина «Электрификация сельского хозяйства и возобновляемая энергетика» (2004 г.). Под его редакцией и авторством изданы две монографии [Стребков Д.С., Некрасов А.И. «Резонансные методы передачи электрической энергии», 2 издания, 2004 и 2006 гг.; Безруких П.П., Стребков Д.С. «Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии», 2005 г.], в которых обобщены основные результаты его научной деятельности.

В 1991 г. Д.С. Стребков избран членом-корреспондентом Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина (ВАСХНИЛ), в 1993 г. избирается действительным членом (академиком) Российской академии сельскохозяйственных наук.

Многочисленные научные работы Д.С. Стребкова с сотрудниками ГНПП «Квант» (ВНИИТ) и ВИЭСХ, широко известные в нашей стране и за рубежом, включают большой объем глубоких исследований, результатом которых явилось развитие нового научно-технического направления – фотоэлектрического преобразования концентрированного солнечного излучения и создание принципиально нового класса преобразователей на основе матричных полупроводниковых структур, позволивших впервые осуществить прогнозируемые преимущества этого направления.

Оно представляет приоритет советской и российской науки и в настоящее время во всем мире признано как наиболее эффективное в реализации заложенных в фундаментальных законах природы предельных энергетических и экономических возможностей получения электроэнергии от Солнца.

По инициативе Д.С. Стребкова создано Российское общество по солнечной энергии (ISES Russia); в ВИЭСХ в 1997 г. организована и функционирует Международная кафедра ЮНЕСКО «Возобновляемая энергетика и электрификация сельского хозяйства».

Плодотворная деятельность научной школы Д.С. Стребкова отражена в 14 кандидатских и 2 докторских диссертациях, выполненных и защищенных под его руководством. Им было опубликовано более 850 научных трудов, в том числе

256 авторских свидетельств и патентов на изобретения СССР и Российской Федерации и 58 зарубежных патентов (США, Германии, Франции, Великобритании, Японии и др.). В 1983 г. Д.С. Стребков награжден нагрудным знаком «Изобретатель СССР».

Бюро Отделения механизации, электрификации и автоматизации Россельхозакадемии (февраль 2007 г.) поручило Д.С. Стребкову возглавить исследования по развитию нанотехнологий в инженерно-технической сфере сельского хозяйства.

Д.С. Стребков вёл большую научно-организационную и общественную работу. С 1992 г. был членом Президиума Российского научно-технического общества энергетиков и электротехников и председателем Научно-технического комитета общества «Электрификация сельского хозяйства», председателем Российской секции Международного общества по Солнечной энергии, с 2002 г. – заместителем председателя Российского комитета по использованию возобновляемых источников энергии, председателем двух научно-методических советов Отделения механизации, электрификации и автоматизации Россельхозакадемии по энергообеспечению сельского хозяйства и по автоматизации и инфокоммуникационным технологиям.

С 1987 г. Д.С.Стребков – председатель докторского диссертационного Совета при ВИЭСХ и председатель секции экспертного совета ВАК Минобразования РФ по инженерным агропромышленным специальностям, а также заведующий кафедрой ЮНЕСКО и кафедрой МГАУ «Возобновляемая энергетика и сельская электрификация» (при ВИЭСХ), руководитель рабочей группы Европейского бюро ЮНЕСКО по образованию в области солнечной энергетики и постоянно действующего при ВИЭСХ научного семинара «Новые идеи в энергетике».

Дмитрий Семёнович был членом редколлегии российских и зарубежных журналов: «Вестник ГНУ ВИЭСХ» (главный редактор); «Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук», «Техника в сельском хозяйстве»; «Техника и оборудование для села»; «Механизация и электрификация сельского хозяйства»; «Приводная техника»; «Возобновляемая энергия»; «Электрические источники энергии» (г. Белград, Сербия); «Сельскохозяйственная техника» (г. Прага, Чехия); «Гелиотехника» (г. Ташкент, Узбекистан).

Д.С. Стребков был награжден государственными наградами: медалями «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина», «Ветеран труда», «В память 850-летия Москвы», Почетными грамотами Россельхозакадемии, почетными грамотами, дипломами и золотыми медалями ВДНХ СССР и ВВЦ.

За заслуги Д.С. Стребкова в развитии научно-технического сотрудничества ВИЭСХ с Институтом сельскохозяйственной техники – МГИ, г. Гёдёлле (Венгрия), в 2000 г. он награжден памятной медалью «Банхази Дюла», учрежденной в честь крупного ученого и организатора науки в области механизации сельскохозяйственного производства, доктора технических наук, профессора Д. Банхази.

В 2003 г. Д.С. Стребков награжден Золотой медалью имени И.А. Будзко, учрежденной РАСХН, за цикл трудов по исследованию и разработке фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии, отличающихся высоким КПД и эффективной технологичностью производства. Правительство Республики Сербия

и Комитет по празднованию 150-летнего юбилея Николы Тесла наградили Д.С. Стребкова медалью и дипломом за реализацию технологий Н. Тесла по передаче электрической энергии (2006 г.).

В 2013 году, после реорганизации академий России, Д.С. Стребков был избран академиком РАН, в 2015 году назначен научным руководителем института ВИЭСХ, а с 2016 года был научным руководителем Федерального Научного Агропромышленного Центра ВИМ.

Дмитрий Семёнович участвовал в подготовке двух поэтических сборников выпускников МГАУ, изданных при поддержке ректора МГАУ академика М.Н. Ерохина в 2000 и в 2005 гг.: «Прекрасен наш союз!: Поэтический сборник. – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000»; и «На аллее Лиственничной: Сборник стихов и поэм. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2005». Ниже публикуется одно из его стихотворений из второго сборника.

### ***Мир очарованный***

*Мир очарованный, желанный,  
Тебя прошу, тебя молю:  
Из глубины своими тайнами  
Ты душу напои мою.  
Открой мне лунные равнины,  
Дурман запущенных лугов,  
Туманы росные, седые,  
Похмелье безмятежных снов.  
Мои желанья и надежды,  
И упоительные сны  
Не разрушай. Давай, как прежде,  
В минуты милой старины,  
Оставив праздность и заботы,  
Откроем лунные ворота  
И в гости лиру позовем:  
Над золотыми облаками  
Луны оранжевое пламя,  
И под желтеющим огнем  
Уснули рои чутким сном.  
В садах умолкли соловьи,  
Стога в покосах сонно дремлют,  
И все живое тихо внемлет  
Святому таинству любви.*

**От редакции журнала «Окружающая среда и энерговедение».** В №1 за 2021 год, с.52-59, было опубликовано интервью с Д.С. Стребковым **«Источники и способы передачи энергии – глобальные решения»**. Электронная ссылка: <https://clck.ru/ZVHrK>.