



2021  
№2(10)

# Окружающая среда и энерговедение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703  
(Online)

# Окружающая среда и энерговедение

---

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

**2021 №2(10)**

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.т.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).

Тикуннов 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 энергетика. 2021 №2(10)

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 30.06.2021.

## 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.

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 энергетика», 2020

Государственный Рубрикатор НТИ России

(ГРНТИ): 37; 39; 44; 45

## Содержание

V.A. Butuzov, A.B. Alkhasov, P.M. Aliyev, G.B. Badavov <b>Геотермия Дагестана: месторождения, технологии, эксплуатация теплоснабжения</b> .....	4
V.V. Bushuev, V.S. Golubev <b>Структурная энергия и жизнь</b> .....	26
A.M. Zalihanov, M.Yu. Berezkin <b>Потребление ресурсов городскими поселениями</b> .....	45
D.G. Zamolodchikov <b>Углеродный цикл и изменения климата</b> .....	53
E.N. Popova <b>Правовые проблемы конкурсного отбора для включения в схему размещения генерирующих объектов ВИЭ</b> .....	70
V.M. Fedorov <b>Соляная теория изменений климата</b> .....	78
K.V. Chekarev, A.M. Zalihanov <b>Катамаран как парусная энергетическая установка: увеличение скоростных характеристик</b> .....	96

## Content

V. Butuzov, A. Alkhasov, R. Aliyev, H. Badavov <b>Geothermy of Dagestan: deposits, technologies, operation of heat supply</b> .....	4
V. Bushuev, V. Golubev <b>Structural energy and life</b> .....	26
A. Zalihanov, M. Berezkin <b>Resource Consumption by Urban Settlements</b> .....	45
D. Zamolodchikov <b>Carbon Cycle and Climate Change</b> .....	53
E. Popova <b>The Legal Problems of Competitive Selection for Inclusion in Scheme of Placing of Generating Objects of Renewable Energy</b> ..	70
V. Fedorov <b>Solar theory of climate change</b> .....	78
K. Chekarev, A. Zalihanov <b>Catamaran as a sailing power plant: increasing speed parameters</b> .....	96

## ГЕОТЕРМИЯ ДАГЕСТАНА: МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

<sup>1</sup>Бутузов Виталий Анатольевич [0000-0003-2347-9715]

<sup>2</sup>Алхасов Алибек Басирович [0000-0001-3061-4121]

<sup>3</sup>Алиев Расул Магомедович [0000-0002-3061-4121]

<sup>4</sup>Бадавов Гасан Басирович [0000-0002-3737-0852]

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

<sup>2</sup>Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ФГБУН Объединенного института высоких температур РАН, Махачкала, Россия

<sup>3</sup>Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Россия

<sup>4</sup>Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ФГБУН Объединенного института высоких температур РАН, Махачкала, Россия

<sup>1</sup>E-mail: ets@nextmail.ru,

<sup>2</sup>E-mail: alibek\_alhasov@mail.ru,

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

<sup>4</sup>E-mail: lotos155@yandex.ru,

**Аннотация.** Дагестан в России занимает первое место по разведанным запасам геотермальных вод и второе после Камчатки по их добыче. На 13 разведанных месторождениях пробурено 141 геотермальная скважина, из которых 8 эксплуатируется с 40 скважинами. Отмечено, что в Дагестане пробурены самые глубокие геотермальные скважины – 5500 м с дебитами до 7000 м<sup>3</sup>/сутки, а максимальная добыча геотермальной воды была достигнута в 1988 г – 9,4 млн. м<sup>3</sup> в год. Анализируются достижения дагестанской геотермальной научной школы. Преемником академической геотермии Дагестана в настоящее время является Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ОИВТ РАН (ИПГВЭ). Описаны производственные структуры по бурению и эксплуатации геотермальных месторождений. Наибольшие успехи геотермии в СССР связаны с деятельностью НПО «Союзбургеотермия» (г. Махачкала) и его шестью региональными управлениями. Максимальная добыча геотермальной воды в СССР была в 1988 г. – 60 млн. м<sup>3</sup>. Геотермальные ресурсы Дагестана определяются тремя основными структурно-гидрогеологическими этапами: плиоценовым, миоценовым и мезозойским, изолированными друг от друга пластами глин.

Анализ добычи геотермальной воды с 1966 по 2019 гг. (55 лет) показал, что с 1997 г. он изменялся от 3500 до 4500 тыс. м<sup>3</sup> в год. Приведены основные характеристики разведанных и эксплуатируемых месторождений Дагестана: Кизлярского, Тернаирского, Избербашского. Описаны структуры и способы разработки месторождений. Указано, что наиболее полную информацию содержат отчеты института «ВНИПИГеотерм». Анализируется опыт создания Дагестанской ГеоТЭС, геотермальных циркуляционных систем (ГЦС), совместно-раздельной добычи геотермальной воды из разных геологических горизонтов. Приведен пример успешной реализации поверхностной системы геотермального теплоснабжения (СГТ) с гелиоустановкой в Махачкале. Представлены данные об опыте предотвращения солеотложений и коррозии оборудования и трубопроводов, а также нейтрализации фенолов при сбросе отработанной геотермальной воды в поверхностные водоёмы. Описана концепция создания в Дагестане СГТ, их основные характеристики. Представлены типовые схемы эксплуатируемых термораспределительных станций (ТРС) в Махачкале, Кизляре и Избербаше общей тепловой мощностью 35 МВт с годовым отпуском тепловой энергии 148 тыс. МВт·ч/год. Предложена перспективная схема геотермального теплоснабжения для условий Дагестана.

**Ключевые слова:** геотермальное месторождение, скважина, реинжекция, дебит, минерализация, теплоснабжение, система геотермального теплоснабжения (СГТ), геотермальная тепловая электростанция (ГеоТЭС), гелиоустановка, тепловой насос.

## 1 Введение

Дагестан в России занимает первое место по разведанным запасам геотермальных вод и второе после Камчатки по их добыче. Разведано 13 месторождений теплоэнергетических вод с температурой 40-105°C с запасами 120,36 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, на которых пробурено 141 скважина глубиной до 5500 м с дебитами до 7000 м<sup>3</sup>/сутки [1]. Максимальная добыча геотермальной воды была достигнута в 1988 г. – 9,4 млн. м<sup>3</sup> в год. Регион с 1949 г. является пионером в практическом освоении геотермальных ресурсов в СНГ. Дагестанская научная геотермальная школа, основанная в 1956 г., отличается многоплановостью исследований: разведка и разработка месторождений, технология бурения и реинжекции, теория создания геотермальных циркуляционных систем, разработка многопластовых месторождений, противонакипная обработка и очистка отработанных геотермальных вод, исследование экономической целесообразности и экологических рисков [2]. Научные исследования по освоению геотермальных энергетических ресурсов сосредоточены в Институте проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиале Объединенного института высоких температур РАН (ИПГВЭ). Бурением скважин, эксплуатацией месторождений и систем геотермального теплоснабжения занимается ООО «Геоэкопром». В 2019 г. на его балансе было 141 геотермальная скважина, в т. ч. 40 эксплуатационных, из которых было добыто

3,827 млн. м<sup>3</sup> геотермальной воды на восьми основных месторождениях с суммарной тепловой нагрузкой потребителей 35 МВт и годовым отпуском тепловой энергии 148 тыс. МВт.ч/год.

## 2 Научно-технические школы

Геотермальная научная школа Дагестана была создана одной из первых в СССР членом-корреспондентом АН СССР Хабибуллой Ибрагимовичем Амирхановым (1907-1986), (рис. 1) в пятидесятые годы. Он отличался разносторонними научными интересами, в том числе в теплофизике, геологии, геотермии, а также выдающимися организаторскими способностями. В 1950 г. он создал в Махачкале Институт физики и Дагестанский филиал АН СССР. По его предложению в 1951 г. в Институте геологии Дагестана была организована лаборатория гидрогеологических и геотермальных исследований во главе с к.т.н. Самадом Агаевичем Джамаловым (1903-1980), (рис. 2), который по совету Х.И. Амирханова в 44 года начал заниматься наукой.

Выпускник Московского высшего технического училища им. Н.Э. Баумана, руководитель строительных организаций, министр, учёный секретарь Дагестанского филиала АН СССР, член Научного совета по геотермическим исследованиям Академии наук СССР С.А. Джамалов до 1980 г. возглавлял развитие геотермии в Дагестане. Он инициировал разведку геотермальных месторождений, бурение скважины для геотермальной электростанции, переоборудование ликвидированных нефтяных скважин, разработку систем геотермального теплоснабжения [3]. Развитие его идей осуществляли соратники и ученики: В.В. Суетнов, Р.А. Левкович, М.К. Курбанов, А.С. Джамалова, И.Ш. Абдуллаева, Ю.И. Султанов, А.Ш. Мейланов, А.Н. Абдуллаев, Г.Б. Бадавов, П.Н. Ригер и другие.



Рис. 1. Амирханов Х.И. (источник: Яндекс.Images)



Рис. 2. Джамалов С.А. (источник: Яндекс.Images)

Второе геотермальное научно-исследовательское учреждение в Дагестане - Лаборатория геотермии была организована в 1963 г. в составе Дагестанского научно-исследовательского отдела энергетики (ДагНИОЭ) Министерства энергетики и электрификации СССР. В 1974 г. она была преобразована в Дагестанский филиал Энергетического института им. Г.М. Кржижановского (ДагЭНИИ), который специализировался на разработке гидро – и геотермальных электростанций, и систем геотермального теплоснабжения. Им был разработан проект Тарумовской ГеоТЭС, мощностью 10 МВт, методика экономической оценки систем геотермального теплоснабжения и структуры себестоимости геотермальной воды. В монографии [4] его сотрудниками был обобщён опыт геотермального теплоснабжения в Дагестане. Плодотворная деятельность ДагЭНИИ описана его сотрудником, а ныне работающим в Институте проблем геотермии, учеником С.А. Джамалова – Гасаном Басировичем Бадавовым, 1944 г.р. [2]. Трудясь в ДагЭНИИ со дня его основания и до его закрытия в 2000 г. он с трёхлетним перерывом на обучение в аспирантуре Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова в Москве, занимался разработкой и созданием комбинированных систем геотермального теплоснабжения [5].

В 1980 г. на базе лаборатории С.А. Джамалова был организован Институт проблем геотермии (ИПГ) Дагестанского филиала АН СССР во главе с Виталием Васильевичем Суетновым (1931-1990). Большой вклад в научное развитие ИПГ внес д.г.-м.н. Магомед Курбанович Курбанов (1933- 2011), (рис. 3).



Рис. 3. Курбанов М.К. (источник: Yandex.Images)

Он являлся ученым-гидрогеологом, соединившим в себе теоретические концепции и результативную практику; он исследовал месторождения пресных, геотермальных и минеральных подземных вод на территории Дагестана и Восточного Предкавказья; обосновал концепцию создания этих месторождений на основе теории подвижек евразийской и аравийской литосферных плит, образования высокотемпературных массивов батолитов на глубинах осадочных пород 8-15 км

и высокопроницаемых пароводяных структур, миграция которых в вышележащие геологические пласты лежит в основе формирования месторождений полезных ископаемых, геотермальных, минеральных и подземных вод. М.К. Курбанов выдвинул идею о сходстве геологических условий Камчатки и Восточного Предкавказья в части формирования геотермальных месторождений. М.К. Курбанов за более чем полувековую деятельность исследовал все месторождения пресных вод Дагестана, в т. ч. самого крупного на юге России Терско-Кумского бассейна подземных вод, 13 геотермальных месторождений, открыл уникальную Дагестанскую провинцию редкоземельной геотермии из 56 потенциальных месторождений, исследовал нефтегазоносные месторождения. Основные результаты его работы изложены в монографии [6].

Большую роль в становлении и развитии ИПГ сыграл д.ф.-м.н., проф. Магомед-Камиль Магомедович Магомедов (1936-2002), руководивший институтом пятнадцать лет (1987-2002). Выпускник Московского физико-технического института, блестящий математик и физик он внес значительный вклад в математическое моделирование геотермальных месторождений и методов создания геотермальных циркуляционных систем [7] (рис. 4).

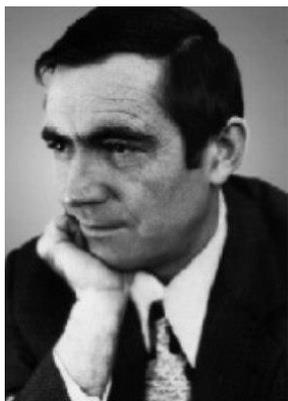


Рис. 4. Магомедов М.-К.М. (источник: Yandex.Images)



Рис. 5. Алхасов А.Б. (источник: Yandex.Images)

Преемником М.-К.М. Магомедова на посту директора ИПГ в 2002 г. стал и остается до настоящего времени сотрудник института со дня его основания д.т.н., проф. Алибек Басирович Алхасов, 1952 г.р. (рис. 5). За 18 лет плодотворной работы А.Б. Алхасов превратил ИПГ в главную геотермальную организацию России. Сегодня в его составе 101 сотрудник, в т. ч. 22 доктора и 30 кандидатов наук. А.Б. Алхасов также руководит научной школой «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов им. Э.Э. Шпильрайна» и Научно-образовательным центром «Возобновляемая энергетика» [1].

Практическое использование геотермальной энергии в СССР было начато в центре Махачкалы в 1949 г. после переоборудования старой нефтяной скважины № 27 для теплоснабжения общественной бани. Геотермальная скважина № 160 в Махачкале также была переоборудована в 1951 г. для теплоснабжения городских микрорайонов. В 1953 г. от скважины № 98 и № 175 геотермальным отоплением были обеспечены здания институтов Дагестанского филиала АН СССР. В 1964 г. в Махачкале была организована первая в СССР Северо-Кавказская разведочная экспедиция по бурению и реконструкции нефтегазовых скважин на термальные воды, которая в 1966 г. была преобразована в Кавказское промышленное управление по использованию глубинного тепла Земли Мингазпрома СССР. В лаборатории этого управления к.т.н. Х.Х. Натановым были разработаны и внедрены методы обработки геотермальной воды для предотвращения коррозии и солеотложений [8].

Наибольших успехов практическая геотермия в СССР достигла в восьмидесятые годы XX века. В 1982 г. в г. Махачкале Мингазпромом СССР было организовано НПО «Союзбургеотермия», в состав которого были включены региональные управления по использованию глубинного тепла Земли в г. Махачкале (Кавказское), Петропавловске-Камчатском (Камчатское), Тбилиси (Грузинское), Грозном (Северо-Кавказское), Армавире (Кубанское). В состав НПО также был включен институт ВНИПИгеотерм.

Генеральным директором НПО был назначен Магомед Гусейнович Алиев (1928-1987), крупнейший специалист по бурению и эксплуатации нефтяных скважин [9] (рис. 6). НПО эксплуатировало в СССР 52 геотермальных месторождения с 210 скважинами. В 1984 г. объединение реализовало 56 млн. м<sup>3</sup> геотермальной воды и 335 тыс. т. пара. В 1983 г. в СССР за год бурилось около 2200 нефтяных и газовых скважин, из которых только 885 скважин были продуктивными.

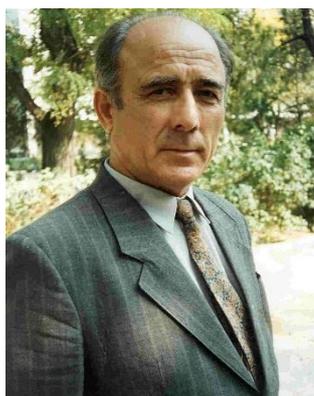


Рис. 6. Алиев М.Г. (источник: Yandex.Images)

М.Г. Алиев ставил вопрос о передаче ликвидированных нефтяных и газовых скважин для переоборудования в геотермальные. Такой опыт в Дагестане был с 1949 г. В 1981-1984 г Мингазпром СССР ежегодно бурил и передавал на баланс

НПО «Союзбургеотермия» 15 геотермальных скважин. Министерство геологии СССР бурило в год также 15 геотермальных скважин, но на баланс НПО «Союзбургеотермия» передавало 1-2 скважины. М.Г. Алиев пытался решить и этот вопрос. Крупнейшим достижением советской геотермии была обратная закачка отработанной геотермальной воды в объеме до 700 тыс. м<sup>3</sup> в год на Ханкальском месторождении в Чеченской Республике. В 1987 г. практически была готова к защите кандидатская диссертация Магомеда Гусейновича «Технологические приемы и материалы крепления высокотемпературных скважин», результаты которой востребованы и в наши дни, так как вопросы долговечности и надежности крепи скважины приобретают особую важность в связи с повышением требований к их экологической безопасности. Однако преждевременная смерть М.Г. Алиева не позволила её защитить. Большими успехами отличалась работа единственного в СССР специализированного геотермального института «ВНИПИГеотерм». Результатом его работы была разработка Генеральной схемы освоения термальных вод в СССР. Для регионов также были разработаны аналогичные схемы, например, для Дагестана, Краснодарского и Ставропольского краев [10].

В дальнейшем НПО было преобразовано в топливно-энергетическую компанию ОАО «Геотермнефтегаз» во главе с д.т.н. Расулом Магомедовичем Алиевым 1958 г.р. (рис. 7) и главным геологом Ахмедом Гаджиевичем Кадыровым, 1934 г.р. (рис. 8). В 1993 г. Р.М. Алиев защитил докторскую диссертацию «Методы и технологические процессы геотермальной теплоэнергетики» и создал кафедру нефтегазового дела при Дагестанском государственном техническом университете. В 2010 г. в связи с разделением бизнеса компания была разделена собственно на ОАО «Геотермнефтегаз» и ООО «Геоэкопром». Последняя в настоящее время осуществляет все виды геотермальной деятельности от бурения скважин до строительства и эксплуатации термораспределительных и насосных станций. В настоящее время это единственное на Северном Кавказе предприятие геотермальной отрасли, сохранившее свой технический, технологический и кадровый потенциал.



**Рис. 7.** Алиев Р.М.(источник: Yandex. Images)

**Рис. 8.** Кадыров А.Г.(источник: Yandex.Images)

В России геотермальные ресурсы сосредоточены в трех основных регионах: Дальневосточном (Камчатка и Курильские острова), Предкавказском и Западно-Сибирском.

Согласно [1, 6] в гидрогеологическом отношении территория Предкавказья представляет собой сложную водонапорную систему, состоящую из Азово-Кубанского и Восточно-Предкавказского бассейнов, разделенных Ставропольским поднятием. Восточно-Предкавказский артезианский бассейн (ВПАБ) в России изучен в наибольшей степени. На нем пробурено более 10 тыс. нефтегазовых, геотермальных и артезианских скважин. Гидрогеологические и геотермальные исследования на этом бассейне выполнялись Всероссийским институтом гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), Институтом проблем геотермии ДНЦ РАН, Северо-Кавказским территориальным геологическим управлением (ПГО «Севкавгеология»), ОАО «Геотермнефтегаз» и другими организациями. В вертикальном разрезе ВПАБ выделяются три гидрогеотермальных этажа: плиоценовый, миоценовый и мезозойский, изолированные друг от друга сарматскими и майкопскими глинами. В плиоценовом этаже наиболее водообильными являются ачкагыльские и апшеронские горизонты. Последние заметно превосходят ачкагыльские, их дебиты достигают 4000 м<sup>3</sup>/сутки, температура 55°C, минерализация 2 г/л. Миоценовый гидрогеотермический этаж состоит из караганских, чокракских и верхних майкопских отложений из песчаников. Особенно хорошие результаты получены на Кизлярском месторождении: дебиты 5760 м<sup>3</sup>/сутки, температура 105°C, избыточное давление на устье 14-18 бар, минерализация до 12 г/л.

На рисунке 9 представлена обзорная карта геотермальных месторождений Дагестана, составленная по данным института «ВНИПИГеотерм» и ОАО «Геотермнефтегаз», а на рисунке 10 график добычи геотермальной воды за последние 55 лет с 1966 по 2019 г.

В таблице приведены характеристики разведанных и эксплуатируемых геотермальных месторождений Дагестана по состоянию на 01.01.2020 г.

Наиболее крупными являются разведанные месторождения с запасами: Кизлярское (22 тыс.м<sup>3</sup>/сутки), Тернаирское (21,5 тыс.м<sup>3</sup>/сутки), Махачкалинское (10,2 тыс.м<sup>3</sup>/сутки), Избербашское (4,54 тыс.м<sup>3</sup>/сутки). Кизлярское месторождение состоит из водонасыщенных отложений чокракского, караганского и апшеронского горизонтов. На месторождении пробурено 17 скважин, в т. ч. 7 эксплуатационных. В 2019 г. добыча геотермальной воды составила 7,6 тыс. м<sup>3</sup>/сутки или 2,4 млн.м<sup>3</sup>/год. Реализация тепловой энергии – 52,1 тыс. МВт.ч/год.

Махачкала-Тернаирское месторождение расположено под г. Махачкала и состоит из двух выработанных нефтяных месторождений – Махачкалинского и Тернаирского. Эксплуатация месторождения была начата в 1964 г. Всего на Ма-



### 3 Результаты геотермальных исследований и разработок

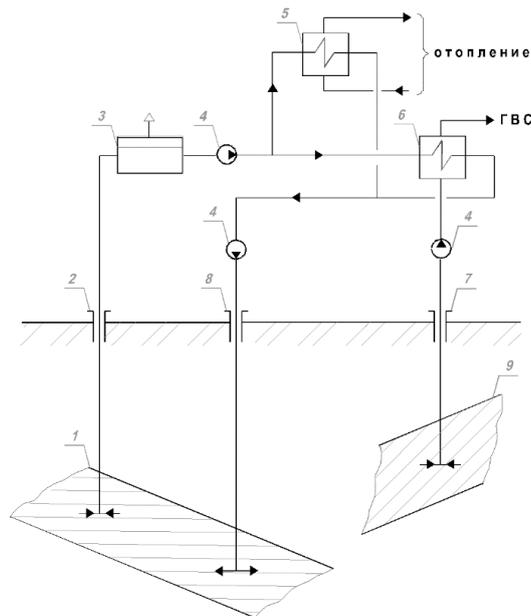
Наиболее полную информацию по геотермальным ресурсам и месторождениям дают отчеты о НИР института «ВНИПИГеотерм» и ОАО «Геотермнефтегаз» (Махачкала) [11]. Опыт Дагестана и других регионов СССР был обобщен при разработке Правил разработки месторождений теплоэнергетических вод. В последней редакции [12] представлен действующий вариант таких Правил.

В работах СССР по геотермальной электроэнергетике лидирующее положение занимал Дагестанский филиал ЭНИН им. Г.М. Кржижановского – ДагЭНИН. В восьмидесятые годы прошлого века под научным руководством ДагЭНИНа был разработан проект бинарной геотермальной электростанции, мощностью 10 МВт (Дагестанская ГеоТЭС) [6, 13, 14]. Для этой цели на Тарумовском месторождении были пробурены 4 самые глубокие в СССР геотермальные скважины, глубиной по 5,5 км, две из которых обеспечивали дебиты пароводяной смеси по 7000 м<sup>3</sup>/сутки с температурой 170°С при минерализации 210 г/л с содержанием лития, рубидия, цезия, йода, брома, стронция, причём извлечение этих компонентов значительно снижала окупаемость ГеоТЭС. Содержание в геотермальной воде метана (4,5 м<sup>3</sup> в одном кубометре теплоносителя) также улучшало энергетические показатели ГеоТЭС.

Одной из актуальных проблем российской геотермии является ограниченное применение геотермальных циркуляционных систем (ГЦС) в пористых коллекторах в песчаниках и алевролитах, которые характерны для большинства российских геотермальных месторождений [6]. Основными технологическими показателями ГЦС являются температура геотермального теплоносителя, его расход, расстояние между продуктивной и реинжекционными скважинами, а также давление нагнетания отработанного теплоносителя. Успешный многолетний опыт реинжекции накоплен на Кизлярском месторождении на чокракских отложениях. Термоводоносные горизонты здесь состоят из кварцевых песчаников. В 2002 г. при добыче на месторождении 1722,4 тыс. м<sup>3</sup> геотермальной воды её закачка составила 795,8 тыс. м<sup>3</sup> (48%) [1]. На схеме (рисунок 11) представлена принципиальная схема ТРС, работавшая с реинжекцией более 10 лет. Геотермальный теплоноситель чокракского горизонта «1» из скважины «2» поступает в бак-газоотделитель «3» и далее насосом «4» подается в теплообменник «5» отопления и теплообменник «6» горячего водоснабжения (ГВС), в котором он подогревает слабоминерализованную термальную воду из апшеронского горизонта. Охлажденный теплоноситель чокракского горизонта насосом «4» закачивался в реинжекционную скважину «8» и возвращался в чокракский пласт.



**Рис. 10.** Добыча геотермальной воды в Дагестане с 1966 по 2019 годы



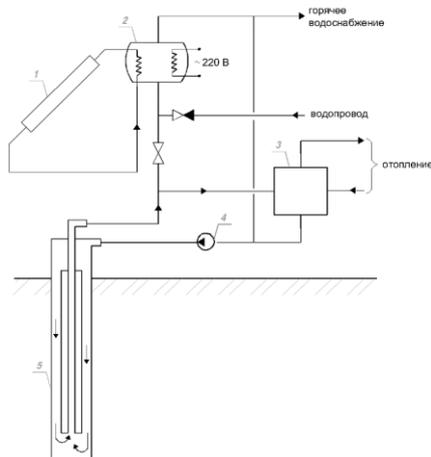
1 – чокракский геотермальный пласт; 2 – геотермальная скважина чокракского пласта; 3 – бак-газоотделитель; 4 – насос; 5 – теплообменник ГВС; 6 – теплообменник ГВС; 7 – геотермальная скважина апшеронского пласта; 8 – реинжекционная скважина; 9 – апшеронский пласт

**Рис. 11.** Принципиальная тепловая схема ТРС в г. Кизляре с реинжекцией отработанного теплоносителя

Данная реинжекционная система в 1987-1989 гг. была опробована на Кизлярском и Тернаирском месторождениях на самоциркуляционном режиме, работающем за счет разности плотностей геотермальной воды [15]. На Кизлярском месторождении в 80-х годах была обустроена скважина для совместно-раздельной добычи геотермальной воды (рисунок 4). Теплоноситель чокракского горизонта «4» с температурой 115°C с минерализацией 23 г/л с глубины 1000 м из скважины «1» поднимался к устью и в межтрубном пространстве нагревал слабоминерализованную термальную воду (2,1 г/л) апшеронского горизонта с 48°C до 85°C при дебите 24 кг/с [1].

В Дагестане впервые в СССР была разработана технология переоборудования нефтяных скважин в геотермальные [5]. В те годы до трети эксплуатируемых в Дагестане геотермальных скважин были переоборудованы из ликвидированных нефтяных скважин.

В Дагестане разработаны и применяются не только глубинные системы геотермального теплоснабжения (СГТ), но и поверхностные, глубиной менее 400 м. На рисунке 12 представлена схема поверхностной СГТ с солнечной водонагревательной установкой (гелиоустановкой) в г. Махачкале, мощностью 15 кВт. Гелиоустановка обеспечивает восстановление теплового режима горных пород в межотопительный период [16]. Теплоноситель насосом «4» подается в скважину–теплообменник «5», глубиной 100 м и после нагрева теплом горных пород поступает в бак-аккумулятор «2» или в тепловой насос «3» мощностью 9,4 кВт.



1 – солнечный коллектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – тепловой насос; 4 – циркуляционный насос; 5 – скважина-теплообменник

**Рис. 12.** Схема поверхностной СГТ с солнечной водонагревательной установкой

В баке он при необходимости догревается до требуемой температуры теплоносителем солнечных коллекторов «1» или электронагревателем и подается на горячее водоснабжение. Теплоноситель из скважины–теплообменника «5» может также подаваться в тепловой насос «3» и после него в систему отопления. На примере опытной эксплуатации геотермальной системы было показано, что в зимнее время теплоснабжение объекта, возможно, осуществлять от скважины-теплообменника, а в летнее время – пополнять тепловую энергию горных пород теплоносителем гелиоустановки.

Специфика химического и газового составов геотермальных вод обуславливает необходимость разработки способов предотвращения коррозии и солеотложений оборудования и трубопроводов, а также очистку их при реинжекции по требованиям пластовых условий и нейтрализацию фенолов при сбросе в поверхностные водоемы. В отличие от методов, применяемых в традиционной энергетике, изменяющееся динамическое, химическое, тепловое и газовое равновесие, потребовало разработки новых химических и физических способов обработки воды.

Из химических способов для поддержания значения геотермальной воды в диапазоне pH 6,5÷7,5 наилучшие результаты дало дозирование серной кислоты и полифосфатная обработка, комбинированная обработка гексаметафосфатом натрия (ГМ ФН) и силикатом натрия, добавление оксиэтилендифосфановой кислоты [16]. Наряду с вакуумной дегазацией широкое применение в ООО «Гео-экпром» получила упрощенная схема с резким сбросом давления термальной воды и осаждением солей в атмосферных баках. Положительные результаты, полученные на Кизлярском и Тернаирском месторождениях, показали возможность использования магнитных и ультразвуковых аппаратов для защиты оборудования от солеотложений [16-18]. В этих работах были отмечены следующие проблемы: малая степень использования теплового потенциала скважин, отсутствие водоподготовки, низкая рентабельность, несовершенство схем систем геотермального теплоснабжения. Разработаны методика оценки экономической целесообразности геотермального теплоснабжения и структуры себестоимости термальной воды.

В Дагестане разработана технология очистки геотермальных вод от мышьяка и органических соединений, с доведением ее качества до норм питьевой воды [20].

В настоящее время ведутся исследования по реализации следующих геотермальных проектов: развитие систем геотермального теплоснабжения в городах Махачкала и Кизляр, сооружение в Южно-Сухокумске опытной Дагестанской ГеоТЭС, создание энергобиологического комплекса на базе разведанных геотермальных месторождений Дагестана, создание Тернаирской геотермально-парогазовой установки бинарного типа, строительства предприятия по извлечению ценных компонентов из геотермальных рассолов.

#### 4 Геотермальное теплоснабжение Дагестана

Геотермальное теплоснабжение в СССР впервые было начато по предложению С.А. Джамалова в центре Махачкалы [3]. Ликвидированная нефтяная скважина № 27 была переоборудована в геотермальную и обеспечила теплоснабжение общественной бани. В 1951 г. также в Махачкале была пробурена первая в СССР специальная геотермальная скважина № 160 с дебитом 2000 м<sup>3</sup>/сутки с температурой на устье 63°C при избыточном давлении 15 атм. Данная скважина до настоящего времени обеспечивает отопление и горячее водоснабжение прилегающих жилых и административных зданий. В 1953 г. от скважин № 98 и № 175 геотермальным отоплением были обеспечены здания Института физики и Института геологии Дагестанского филиала АН СССР [22].

Опыт геотермального теплоснабжения Дагестана был обобщен в монографии Б.А. Локшина «Использование геотермальных вод для теплоснабжения» [22], не потерявшей актуальности до настоящего времени, а также в Нормах проектирования ВСН 56-87 «Геотермальное теплоснабжение жилых и общественных зданий» [23], разработанных институтом ЦНИИЭП инженерного оборудования (г. Москва).

Были отмечены следующие проблемы: малая степень использования теплового потенциала скважин, отсутствие водоподготовки, низкая рентабельность, несовершенство схем геотермального теплоснабжения. Была разработана методика оценки экономической целесообразности геотермального теплоснабжения и структуры себестоимости термальной воды.

В последующие годы работы по этому направлению были продолжены сотрудниками Дагестанского филиала ЭНИН им. Г.М. Кржижановского (Бадавов Гасан Басирович, Ригер Павел Николаевич).

Сотрудником ДагЭНИН Бадавовым Г.Б. в бытность аспирантом Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова под руководством к.т.н. Шмидта Владимира Антоновича была разработана и успешно апробирована в Махачкале (1973-1980 гг.) прогрессивная система геотермального отопления жилых зданий с пиковым электрообогревом, которая впоследствии стала основной схемой теплоснабжения потребителей от термораспределительных станций в гг. Махачкала и Кизляр [4, 24], (рис.13).

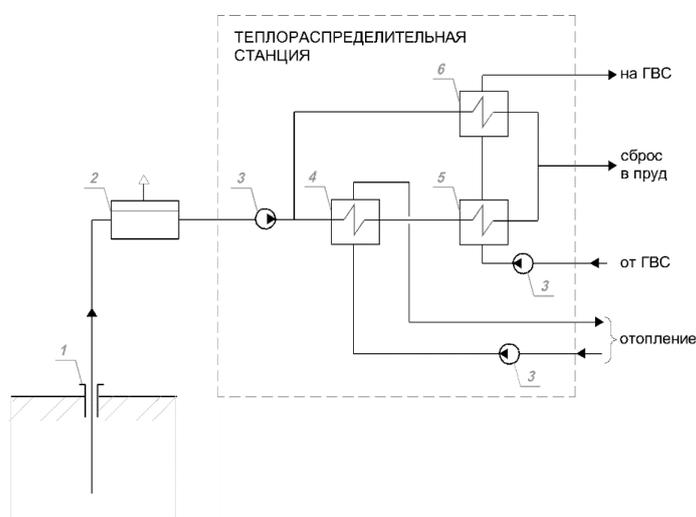


Рис. 13. Бадавов Г.Б. (источник: Yandex.Images)

В настоящее время новые СГТ в Дагестане разрабатываются в Институте проблем геотермии и возобновляемой энергетики и в ООО «Геоэкопром» [25].

В 2020 г. в Дагестане ООО «Геоэкопром» эксплуатируются три основные геотермальные месторождения - Махачкала-Тернаирское, Кизлярское и Избербашское. В городах Махачкала, Кизляр и Избербаш имеются промысловые участки этого предприятия. Геотермальное теплоснабжение потребителей обеспечивается от 8 термораспределительных станций (ТРС), общей установленной мощностью 35 МВт и 60 км тепловых сетей. Годовая реализация тепловой энергии составляет 148 тыс. МВт.ч (100%), в т. ч. населению 72%, бюджетным организациям – 21,5 %, предприятиям – 6%, транспортным организациям - 0,5%. В настоящее время доля ООО «Геоэкопром» на рынке тепловой энергии Дагестана составляет 5,3%.

В Махачкале с 1997 г. эксплуатируются три ТРС от двух геотермальных скважин общей мощностью 13 МВт, которые отапливают 177 тыс. м<sup>2</sup> зданий и обеспечивает ГВС 10 тыс. человек. На рисунке 14 представлена принципиальная тепловая схема одной из этих ТРС. Из скважины «1» геотермальная вода подается в бак-дегазатор «2» и далее насосом «3» в теплообменники отопления и горячего водоснабжения (ГВС) «4, 5, 6». При этом производится двухступенчатый подогрев ГВС. Общий годовой отпуск теплоэнергии по месторождению составляет 29,8 тыс. МВтч. На 2021 г. тариф на геотермальное тепло в г. Махачкале установлен в размере 554 руб./МВт.ч.



1 – геотермальная скважина; 2 – бак-дегазатор; 3 – насос; 4 – теплообменник отопления; 5 – теплообменник ГВС I ступени; 6 – теплообменник ГВС II ступени

**Рис. 14.** Геотермальная система теплоснабжения г. Махачкала

В Кизляре с 1970 г. эксплуатируется 7 скважин и три ТРС общей установленной мощностью 20,7 МВт, в том числе пять скважин, разбуренных на чокракский горизонт глубиной 2900 м с температурой на устье 100°C, с дебитом каждой 75-145 м<sup>3</sup>/ч, при давлении 7-10 бар и две скважины на апшеронский горизонт глубиной 1000 м с температурой на устье 46°C, дебитом каждой 25-100 м<sup>3</sup>/ч, при давлении 3,5 бар. На рисунке 7 представлена принципиальная тепловая схема одной из двух таких ТРС, особенностью которой является работа скважин чокракского горизонта на подогрев открытой системы отопления и ГВС, подпитка которой производится апшеронской водой после ее подогрева чокракской. Из чокракского геотермального пласта «1» теплоноситель через скважину «2» поступает в бак-дегазатор «3», оттуда насосом «5» подается в теплообменник «4» отопления и ГВС. Теплоноситель из апшеронского пласта «9» через скважину «8» насосом «5» подогревается в теплообменнике теплоносителем чокракского горизонта и направляется на подпитку системы теплоснабжения. Третья ТРС использует геотермальный теплоноситель чокракского горизонта.

Общая протяженность геотермальных тепловых сетей Кизляра - 9 км, годовой отпуск теплоэнергии 52,1 тыс. МВт.ч. Геотермальным отоплением обеспечивается 106 тыс. м<sup>2</sup> зданий (11,3% жилого фонда города) при тарифе 206 руб./МВт.ч. На 2021 г. тариф на геотермальное тепло в г. Кизляре установлен в размере 195 руб./МВт.ч.

Геотермальное горячее водоснабжение Избербаша обеспечивается с 1967 г. от 10 скважин при температурах на устьях 43-62°C и соответствии ГОСТу на питьевую воду. В городе работают две ТРС общей мощностью 3,9 МВт, принципиальная схема одной из них представлена на рисунке 8.

Геотермальный теплоноситель из скважины «1» подается в бак-дегазатор «2», из которого насосом «3» направляется на горячее водоснабжение потребителей. Общая протяженность геотермальных тепловых сетей – 21,7 км, годовой отпуск теплоэнергии 8,8 тыс. МВт.ч, ТРС обеспечивают ГВС 6 тыс. человек. На 2021 г. тариф на геотермальное тепло в г. Избербаше установлен в размере 680 руб./МВт.ч.

Основной проблемой геотермального теплоснабжения при существующей системе тарифообразования является его низкая конкурентоспособность по сравнению с теплогенерацией на природном газе. На наш взгляд целесообразно разработать типовую комбинированную систему теплоснабжения, в которой базовая нагрузка обеспечивается геотермальным теплоносителем, а пиковая - традиционными газовыми котлами или электроэнергией [24]. Особенностью этой СГТ является очистка охлажденного теплоносителя для обеспечения холодного водоснабжения [25].

## Выводы

1. Дагестан из всех регионов России в геотермальном отношении является наиболее изученным. На 13 разведанных месторождениях пробурено 141 скважина. В 2019 г. на четырех основных геотермальных месторождениях Дагестана было добыто 3,8 млн. м<sup>3</sup>/год с перспективой увеличения до 10 млн. м<sup>3</sup> в год.

2. В регионе успешно были освоены технологии создания геотермальных циркуляционных систем и комбинированного использования теплоносителей из разных геологических горизонтов. В Дагестане с 1980 г. работает единственное в России специализированное научное учреждение – Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ОИВТ РАН, а добычей геотермальных вод и их реализацией занимается ООО «Геоэкопром».

3. Важнейшей научно-технической проблемой геотермальной энергетики России является создание экономически обоснованных геотермальных циркуляционных систем (ГЦС). На основании теоретических работ ИПГВЭ и опыта работы ООО «Геоэкопром» необходимо развивать геотермальное теплоснабжение и ГЦС в г. Кизляре и в Махачкале.

4. На основании анализа и обобщения 30-летнего опыта эксплуатации СГТ в Дагестане, в т. ч. тепловых, гидравлических режимов, коррозии и солеотложений трубопроводов и оборудования необходимо разработать Республиканские нормы проектирования и эксплуатации систем геотермального теплоснабжения.

5. Для Дагестана целесообразно разработать комплексную схему использования геотермальной энергии для теплоснабжения и холодного водоснабжения населенных пунктов, а также технологических установок по извлечению редкоземельных металлов.

6. В настоящее время наиболее острыми проблемами, тормозящими развитие систем геотермального теплоснабжения, наряду с гидродинамическими и теплофизическими исследованиями в скважинах, являются разработка бесконтактных измерительных приборов и оборудования для учёта геотермального теплоносителя, совершенствование методов регулирования теплоподачи, методов поддержания равновесного давления и температуры на устьях скважин и наземных сооружений, способов обратной закачки отработанного теплоносителя.

## Литература

1. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. – М.: Физматлит. 2008. 376 с.
2. Бутузов В.А. Геотермальное теплоснабжение: столетний опыт работы российских научных школ // Энергия: экономика, техника, экология. 2019. № 5. С.16-32.
3. Джамалов С.А., Левкович Р.А., Суетнов В.В. Тепло Земли и его практическое использование. Изд-во «Наука». – М., 1965. 110 с.
4. Гаджиев А.Г. Султанов Ю.И., Ригер П.Н. и др. Геотермальное теплоснабжение. – М.: Энергоатомиздат. 1984. 120 с.

5. Бадавов Г.Б. Достижения и перспективы развития геотермального производства в Республике Дагестан // *Малая энергетика*. 2013. № 1-2. С. 98-101.
6. Курбанов М.К. Гидротермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. – М.: Наука 2001. 260 с.
7. Магомедов К.М. Теоретические основы геотермии. – М.: Наука, 2001. 277 с.
8. Натанов Х.Х. Подготовка геотермальных вод к использованию. М.: Стройиздат. 1980. 80 с.
9. Коликов Ю.М. Из плеяды творцов и созидателей. Махачкала ГУП «Типография ДНД РАН». 2008. 128с.
10. Алиев М.Г., Омаров М.А. Основные научно-технические и практические задачи развития геотермального теплоснабжения в СССР // *Сб. науч. тр. ВНИПИГеотерм и ВНИИЭгазпром*. – М., 1985. С. 3-11
11. Генеральная схема освоения ресурсов термальных вод в СССР до 2000 года / Под ред. Алиева М.Г. Отчет о НИР ВНИПИГеотерм. № ГР 01840074899, Инв. № 02850047479. Махачкала, 1984.
12. Правила разработки месторождений теплоэнергетических вод (ПБ-07-599-03). Госгортехнадзор России [электронный ресурс] [www.goshelp.ru](http://www.goshelp.ru). Дата обращения 20.03.2019.
13. Васильев В.А. Поваров О.А. Разаренов В.П. Состояние и перспективы развития геотермальной энергетики в России // *Проблемы развития геотермальной энергетики в странах СНГ и деятельность Международного Геофонда* // *Материалы семинара 25-26 ноября 2003 г. М.: ЭНИН им. Г.М. Кржижановского*. 2003. С. 95-104.
14. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш., Каспарова М.А. Перспективы освоения высокотемпературных ресурсов Тарумовского геотермального месторождения // *Теплоэнергетика*. 2016. С. 25-30.
15. Алишаев М.Г., Гайдаров Г.М., Каспаров С.А., Курбанов М.К., Рамазанов Ю.М. Самоциркулирующая геотехнологическая система // *Материалы Всесоюзной конференции «Народнохозяйственные и методологические проблемы геотермии»*. Махачкала. 1984. С. 21-25. № 6. С. 25-30.
16. Алхасов А.Б., Алишаев М.Г., Алхасова Д.А., Каймаразов А.Г., Рамазанов М.М. Освоение низкопотенциального геотермального тепла / Под ред. академика В.Е. Фортова. – М.: Физматлит. 2017. 277 с.
17. Угрехилидзе Г.П., Николаев В.А. Периодическая обработка поверхностей теплообмена ОЭДФК для предотвращения карбонатных отложений // *Теплоэнергетика*. 1993. № 4. С. 59-62.
18. Абдуллаев А.Н., Бадавов Г.Б. Защита скважины от солеотложения при одновременно-раздельной эксплуатации многопластовых месторождений геотермальных вод // *Термомеханика геотермальных систем: Сб. науч. тр./АН СССР, Даг. фил., Ин-т пробл. геотермии; [Отв. ред. Магомедов К.М.]*. Махачкала: Даг.науч.центр АН СССР, 1990. С. 51-56.
19. Слесаренко В.В., Васильев В.В. Особенности применения гидромагнитных аппаратов в системах водоподготовки // *Энергосбережение и водоподготовка*. 2005. № 5. С. 21-24.
20. Алхасов А.Б. Технология комплексного освоения геотермальных ресурсов Северо-Кавказского региона // *Теплоэнергетика*. 2018. № 3. С. 31-35.
21. Джамалов С.А. Использование термальных вод Дагестана в народном хозяйстве // *Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли* // *Труды I Всесоюзного совещания по геотермическим исследованиям (1-6 марта 1956)*. Том II. Изд-во Академии наук СССР. М., 1961. С. 290-295.

22. Локшин Б.А. Использование геотермальных вод для теплоснабжения. – М.: Стройиздат. 1974.
23. Нормы проектирования ВСН 56-87. Геотермальное теплоснабжение жилых и общественных зданий. М.: Стройиздат. 1989. 50 с.
24. Султанов Ю.И., Ригер П.Н., Бадавов Г.Б., Мейланов А.Ш. Опыт эксплуатации и пути повышения эффективности геотермальных систем теплоснабжения (на примере Даг. АССР). – В кн.: Альтернативные источники энергии. Материалы советско-итальянского симпозиума 1982 г. Часть III. Использование геотермальной энергии. М.: ЭНИН, 1983. С. 157-165.
25. Алхасов А.Б., Алиев Р.М., Бадавов Г.Б. Перспективы освоения геотермальных ресурсов Дагестана // Материалы XI Школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» имени Э.Э. Шпильрайна. Махачкала, 2018. С. 77-87.

## References

1. Alkhasov A.B. *Geothermal'naya energetika: problemy, resursy, tekhnologii* [Geothermal energy: problems, resources, technologies]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 376 p.
2. Butuzov V.A. Geothermal heat supply: a century of experience of Russian scientific schools. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technology, ecology]. 2019. No. 5. P.16–32.
3. Dzhamalov S.A., Levkovich R.A., Suetnov V.V. *Teplo Zemli i yego prakticheskoye ispol'zovaniye* [Heat of the Earth and its practical use]. Moscow, Nauka Publ, 1965. 110 p.
4. Gadzhiev A.G. Sultanov Yu.I., Riger P.N. etc. *Geotermal'noye teplosnabzheniye* [Geothermal heat supply]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1984. 120 p.
5. Badavov G.B. [Achievements and prospects for the development of geothermal production in the Republic of Dagestan]. *Malaya energetika* [Low power engineering] 2013. No. 1–2. P. 98–101.
6. Kurbanov M.K. *Gidrotermal'nyye i gidromineral'nyye resursy Vostochnogo Kavkaza i Predkavkaz'ya* [Hydrothermal and hydromineral resources of the Eastern Caucasus and Ciscaucasia]. Moscow, Nauka Publ., 2001. 260 p.
7. Magomedov K.M. *Teoreticheskiye osnovy geotermii* [Theoretical foundations of geothermy]. Moscow, Nauka Publ., 2001. 277 p.
8. Natanov Kh.Kh. *Podgotovka geotermal'nykh vod k ispol'zovaniyu* [Preparation of geothermal water for utilization]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 80 p.
9. Kolikov Yu.M. *Iz pleyady tvortsov i sozidateley* [From the pleiad of makers and creators]. Makhachkala, DNC RAS Publ. 2008. 128 p.
10. Aliev M.G., Omarov M.A. [The main scientific, technical and practical tasks of the development of geothermal heat supply in the USSR]. *Proceedings of VNIPIgeotherm and VNIIEgazprom*. Moscow, 1985. P. 3–11.
11. *General'naya skhema osvoyeniya resursov termal'nykh vod v SSSR do 2000 goda* [General scheme for the development of thermal waters resources in the USSR until 2000, Ed. Aliev M.G.]. *Otchet o NIR VNIPIgeoterm* [Research report VNIPIgeotherm]. No. GR 01840074899, Inv. No. 02850047479. Makhachkala, 1984.
12. Rules for the development of thermal power water deposits (PB-07-599-03). Gosgortekhnadzor of Russia [electronic resource] [www.goshelp.ru](http://www.goshelp.ru). Date of treatment 03/20/2019.

13. Vasil'ev V.A. Povarov O.A. Razarenov V.P. [State and prospects for the development of geothermal energy in Russia]. *Problemy razvitiya geotermal'noy energetiki v stranakh SNG i deyatel'nost' Mezhdunarodnogo Geofonda: materialy seminara* [Problems of the development of geothermal energy in the CIS countries and the activities of the International Geofund. Proceedings of G.M. Krzhizhanovsky ENIN Workshop], November 25-26, 2003. Moscow, 2003. P. 95–104.
14. Alkhasov A.B., Alkhasova D.A., Ramazanov A.Sh., Kasparova M.A. [Prospects for the development of high-temperature resources of the Tarumovskoye geothermal field]. *Thermal Engineering*. 2016. P. 25–30.
15. Alishaev M.G., Gaidarov G.M., Kasparov S.A., Kurbanov M.K., Ramazanov Yu.M. [Self-circulating geotechnological system]. *Narodnokhozyaystvennyye i metodologicheskiye problemy geotermii: materialy Vsesoyuznoy konferentsii* [National economic and methodological problems of geothermy: Proc. of the All-Union conference]. Makhachkala. 1984. P. 21-25. No. 6. P. 25–30.
16. Alkhasov A.B., Alishaev M.G., Alkhasova D.A., Kaimarazov A.G., Ramazanov M.M. *Osvoyeniye nizkopotentsial'nogo geotermal'nogo tepla* [Development of low-potential geothermal heat, Ed. Acad. V.E. Fortov.] Moscow, Fizmatlit Publ., 2017. 277 p.
17. Ugrehilidze G.P., Nikolaev V.A. [Periodic treatment of heat transfer surfaces with OEDFK to prevent carbonate deposits]. *Thermal Engineering*. 1993. No. 4. P. 59–62.
18. Abdullaev A.N., Badavov G.B. [Well protection from salt deposition during simultaneous–separate operation of multilayer deposits of geothermal waters, Ed. Magomedov K.M.] *Thermomechanics of geothermal systems: Proc. Institute for Geothermal Research Dag. Branch AS USSR*. Makhachkala, 1990. P. 51–56.
19. Slesarenko V.V., Vasil'ev V.V. [Features of the use of hydromagnetic devices in water treatment systems]. *Energy saving and water treatment*. 2005. No. 5. P. 21–24.
20. Alkhasov A.B. [Technology of integrated development of geothermal resources in the North Caucasus region]. *Thermal Engineering*. 2018. No. 3. P. 31–35.
21. Dzhamalov S.A. [Application of thermal waters of Dagestan in the national economy]. *Problemy geotermii i prakticheskogo ispol'zovaniya tepla Zemli: trudy I Vsesoyuznogo soveshchaniya po geotermicheskim issledovaniyam (1-6 marta, 1956)* [Problems of geothermics and practical use of the Earth's heat: proceedings of the I All-Union Conference on geothermal research (March 1-6, 1956)]. Vol. II. AS USSR Publ. Moscow, 1961. P. 290–295.
22. Lokshin B.A. *Ispol'zovaniye geotermal'nykh vod dlya teplosnabzheniya* [Use of geothermal water for heat supply]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974.
23. *Normy proyektirovaniya VSN 56-87. Geotermal'noye teplokhodosnabzheniye zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Standards for the design of VSN 56-87. Geothermal heating and cooling supply of residential and public buildings]. Moscow, Stroyizdat. 1989. 50 p.
24. Sultanov Yu.I., Riger P.N., Badavov G.B., Meilanov A.Sh. [Operational experience and ways of increasing the efficiency of geothermal heat supply systems (on the example of the Dagestan ASSR)]. *Al'ternativnyye istochniki energii: materialy sovetsko-ital'yanskogo simpoziuma 1982 g. Chast' III. Ispol'zovaniye geotermal'noy energii*. [Alternative energy sources: Proc. Soviet–Italian Symposium, 1982. Part III. Geothermal energy utilization]. Moscow, ENIN, 1983. P. 157–165.
25. Alkhasov A.B., Aliev R.M., Badavov G.B. [Prospects for the development of geothermal resources in Dagestan]. *Aktual'nyye problemy osvoyeniya vozobnovlyayemykh energoresursov: materialy XI Shkoly molodykh uchenykh imeni E.E. Shpil'rayna*. [Actual problems of the development of renewable energy resources: Proceedings of the XI E.E. Spilrain School of Young Scientists]. Makhachkala, 2018. Pp. 77–87.

## GEOTHERMY OF DAGESTAN: DEPOSITS, TECHNOLOGIES, OPERATION OF HEAT SUPPLY

<sup>1</sup>Butuzov Vitaly

<sup>2</sup>Alkhasov Alibek

<sup>3</sup>Aliyev Rasul

<sup>4</sup>Badavov Hasan

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

<sup>2</sup>Institute for Geothermal Research and Renewable Energy, Makhachkala, Russia

<sup>3</sup>Institute for High Temperatures RAS, Makhachkala, Russia

<sup>4</sup>Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

<sup>1</sup>E-mail: ets@nextmail.ru,

<sup>2</sup>E-mail: alibek\_alhasov@mail.ru,

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

<sup>4</sup>E-mail: lotos155@yandex.ru,

**Abstract.** Dagestan is first in Russia in explored reserves of geothermal water and second after Kamchatka in their production. There are 141 geothermal wells drilled at 13 explored fields, of which 4 are operated with 48 wells. The deepest geothermal wells were drilled in Dagestan - 5500 m deep with flow rates up to 7000 m<sup>3</sup> / day. The maximum production of geothermal water was reached in 1988 – 9.4 million m<sup>3</sup> per year. The achievements of the Dagestan geothermal scientific school are analyzed in the paper. The successor to the academic geothermy of Dagestan is currently the Institute for Geothermal Research and Renewable Energy of the JIHT RAS (IPGVE).

The production structures for the drilling and exploitation of geothermal deposits have been described. The greatest successes of geothermy in the USSR are associated with the activities of the Soyuzburgeothermiya NPO (Makhachkala) and its six regional departments. The maximum production of geothermal water in the USSR was in 1988 - 60 million m<sup>3</sup>. Geothermal resources of Dagestan confined to three main structural-hydrogeological levels (SGHE): Pliocene, Miocene and Mesozoic, isolated from each other by clay strata. Analysis of geothermal water production from 1966 till 2019 (55 years) has shown that since 1997 it varied from 3500 to 4500 thousand m<sup>3</sup> per year. The main characteristics of the explored and exploited deposits of Dagestan are given: Kizlyar, Thernair, and Izberbash fields. The structures and methods of field development are described.

The most complete information is shown to be contained in the reports of the VNIPIgeotherm Institute. The experience of creating the Dagestan Geothermal Power Plant, geothermal circulation systems (GCS), and co-production and separate extraction of geothermal water from different geological horizons has been analyzed. An example of the successful implementation of a surface geothermal heating system (SGHS) with a solar power plant in Makhachkala is given. Data on the experience of scaling and corrosion of equipment and pipelines prevention, as well as the neutralization of phenols during the discharge of waste geothermal water into surface water bodies are presented. The concept of creation of SGHS in Dagestan and their main characteristics have been described. Typical schemes of operating thermal distribution stations in Makhachkala, Kizlyar and Izberbash with a total thermal capacity of 35 MW with an annual heat output of 148 thousand MWh/year are presented. A promising scheme of geothermal heat supply for the conditions of Dagestan is proposed.

**Keywords:** geothermal field, well, reinjection, flow rate, mineralization, heat supply, geothermal heat supply system, geothermal power plant, solar plant, heat pump.

## СТРУКТУРНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЖИЗНЬ

<sup>1</sup>Бушуев Виталий Васильевич<sup>[0000-0001-9288-4699]</sup>

<sup>2</sup>Голубев Владимир Степанович<sup>[0000-0002-2096-5788]</sup>

<sup>1</sup> Объединенный институт высоких температур РАН,  
г. Москва, Россия,

<sup>2</sup>Институт системного анализа РАН, г. Москва, Россия

<sup>1</sup>E-mail: vital@guies.ru,

<sup>2</sup>E-mail: v.s.golubev@bk.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются актуальные философские проблемы мироустройства и связи энергии и жизни в окружающем мире. Наряду с кинетической и потенциальной энергией, на основе использования системного подхода к исследованию актуальной проблематики современного мироустройства, вводится философское понятие «структурной» энергии как характеристики качественных изменений эволюционирующей системы.

**Ключевые слова:** философия, энергия, эволюция, окружающая среда

### 1 Введение

Не счесть числа работ, посвященных феномену жизни. По мере развития науки представления о сущности жизни изменяются, совершенствуются. Обсудим, какой вклад в эту проблему дают новые науки XXI века: эргодинамика [1] и триалектика – наука о гармонии [2].

Эргодинамика изучает функционирование и развитие эволюционирующих систем с позиции наиболее общего энергетического подхода. Принципиально новым в ней является введение понятия «структурная энергия». Она соотносится с работой термодинамически обратимого процесса «сборки» эволюционирующей системы из «простых веществ». Удельная структурная энергия относится к системе, имеющей однородные составляющие, и дается в расчете на одну составляющую. Критерий прогрессивного развития – рост со временем  $t$  удельной структурной энергии  $\Phi$  [1]:

$$d\Phi / dt > 0 \quad (1)$$

Структурная энергия является потенциалом развития: чем она больше, тем большую работу (при прочих равных условиях) совершает система. Эргодинамика позволяют подойти к феномену жизни с наиболее общих энергетических позиций.

Триалектика дает новую трактовку развития системы природа-человек-общество на основе разрешения существующих в ней противоположностей путем рождения «нового» (третьего), которое является гармоническим синтезом разрешающихся противоположностей. Триалектика позволяет охарактеризовать функционирование и развитие жизни с позиции науки о гармонии.

Эргодинамика и триалектика являются новыми науками естественно-гуманитарного синтеза, поскольку они изучают систему природа-человек-общество, включающую естественную и гуманитарную составляющие.

## 2 Структурная энергия и геологическая жизнь

Земную природу делят на два мира: живую природу и неживую. Однако без определения того, что же такое жизнь, это деление становится неочевидным.

Специфику «живого» трудно понять, не изучив эволюционирующие системы неживой природы. В данном аспекте особый интерес представляет система рудообразования на подвижном геохимическом барьере [1,3-5]. Любой рудообразующий процесс сводится в конечном счете к концентрированию рассеянных рудных элементов горных пород. Процесс концентрирования – не самопроизвольный, для его осуществления надо совершить работу. Тем самым в руде аккумулируется энергия рассеяния в форме структурной энергии. Поэтому рудообразующий процесс в общем случае – сопряженный, протекающий на фоне основных процессов.

Последние могут иметь различную природу. Так, в широко распространенных эндогенных месторождениях концентрирование рудного вещества происходит за счет потоков эндогенной энергии Земли. Фактически рудообразующая система – «машина», использующая тепловую или химическую энергию для концентрирования рассеянного рудного вещества горных пород. Все это позволяет рассматривать функционирование рудообразующей системы как геологическую жизнь.

Отсылаем читателя к источникам, где рассматривается функционирование геохимической системы - так называемых инфильтрационных месторождений урана [1,5]. Отметим существенные свойства, общие для этой системы рудообразования на подвижном геохимическом барьере и биологических систем :

- 1) Аккумуляция энергии рассеяния в форме структурной энергии.
- 2) Динамическое неравновесие систем относительно окружающей среды, при котором самопроизвольные процессы распада непрерывно компенсируются сопряженными процессами синтеза, благодаря потреблению энергии основного процесса.
- 3) Самопроизвольное движение к внутреннему поддерживающему равновесию.

4) Функционирование за счет непрерывного обмена веществом и энергией с окружающей средой.

5) Конечное время «жизни» индивидов. В системе рудообразования образующиеся на геохимическом барьере кристаллические частицы существуют (как и биологические индивиды) определенное время: сначала растут, стремясь к равновесию с раствором, а затем растворяются.

6) Постоянное самообновление составных частей систем. В биологических системах процессы распада живых клеток непрерывно компенсируются их синтезом.

7) Известно, что биота контролирует вмещающую среду, делая ее подходящей для жизни. В системе минералообразования за счет ее саморазвития (растворения ранее осажденного вещества) также поддерживается равновесная концентрация – имеет место контроль среды.

8) Циклы биогеоциклов – веществ, используемых живыми системами, – характерная особенность их функционирования. В пределе эти циклы замкнуты. В системе минералообразования также реализован цикл вещества осаждение – растворение – осаждение.

Изложенное позволяет констатировать, что многие признаки, на основании которых открытые системы зачастую относятся к биологическим, на самом деле таковыми не являются. Непреодолимой пропасти между неживыми и живыми системами нет. И те, и другие функционируют – «живут» разной, геохимической или биологической, жизнью. Но сопряжение процессов реализуется по-разному для геохимических и биологических систем «поддерживающегося равновесия».

Геохимические системы с сопряженными процессами концентрирования вещества источника устойчиво существуют лишь в случае вынужденного (конвективного, с потоком) подвода вещества. Наоборот, в биологических системах устойчивое неравновесие относительно вмещающей среды осуществляется даже при диффузионном массообмене со средой – путем «активного» транспорта (против градиента концентрации – из области пониженной в область повышенной концентрации) через биологические мембраны. Хорошо известным примером «активного» транспорта является «натриевый насос» – поток ионов натрия из живой клетки в среду, вследствие чего концентрация натрия в клетке поддерживается меньшей, чем в окружающей среде (см. также ниже). Переход к живым системам означает эволюционный скачок: создание систем, для функционирования которых уже не требуется принудительного подвода вещества, а необходим лишь подвод энергии.

В эргодинамическом аспекте отличие геологической жизни от биологической касается особенностей процессов обмена веществом и энергией с окружающей средой и состоит в разном способе реализации обменных процессов. Системам геологической жизни необходим принудительный подвод к ним как энергии, так и вещества. Биологические системы сами осуществляют подвод вещества, необходимого для их функционирования или образования. При этом они совершают работу над внешней средой благодаря своей структурной энергии.

Наоборот, системы геологической жизни не обладают способностью осуществлять такую работу, а их структурная энергия остается втуне. Она используется человеком, когда он разрабатывает месторождения полезных ископаемых. Для получения из добытого сырья конечного продукта человек затрачивает энергии меньше, чем если бы он в качестве сырья использовал горные породы с фоновым содержанием полезного компонента. Ибо природа уже «потрудились» сама, формируя месторождения полезных ископаемых.

Изложенное выше касается определенного подобия систем геологической и биологической жизни. Система рудообразования подобна биогеоценозу (экосистеме), но без биотического компонента. Она включает сообщество «индивидов» (кристаллических частиц рудных минералов) и связанную с ними среду (рудообразующий раствор, горные породы). Между ними реализуется круговорот вещества и энергии. Рудные частицы изменяются во времени, как и живые организмы («рождаются», растут, «отмирают»). «Отмирая», они формируют среду (равновесный раствор) для своего самосохранения. Растворяясь затем, они реализуют круговорот рудного вещества (так в экосистемах формируется почва и реализуется цикл углекислого газа). Но в отличие от живых организмов рудные частицы не способны совершать работу над окружающей средой – реализовать «активный транспорт» компонентов раствора (против градиента концентрации). Все это позволяет определить систему рудообразования на подвижном геохимическом барьере как геоценоз или геоэкосистему, а ее функционирование – как геологическую жизнь.

Структурной энергией обладают руды, которые образуются в результате протекания не самопроизвольного процесса концентрирования рассеянного вещества горных пород. Ею обладают и осадочные горные породы, имеющие биогенное происхождение. В морях и океанах происходит биогенный синтез кремнистых и карбонатных минералов. Мельчайшие морские водоросли-фотосинтетики, входящие в состав планктона, - диатомеи – строят свои скелеты (минеральные оболочки) из растворенного в воде кремнезема. Отмирая, они осаждаются на морское дно, захороняются в недра, и из них формируются кремнистые осадочные породы. Известны залежи диатомовых, оказавшихся на поверхности за счет поднятий, мощностью в несколько сот метров.

В океанах широко распространены диатомеи, которые строят свои скелеты из ненасыщенного раствора: средняя концентрация кремнезема в морской воде  $C_o = 6 \text{ мг/л}$  при растворимости аморфного кремнезема в ней порядка  $C_n = 100 \text{ мг/л}$ . Поэтому образование кремнистых скелетов из морской воды идет против химического сродства. Это – сопряженный процесс, осуществляющийся благодаря использованию солнечной энергии в процессе фотосинтеза.

Все эти процессы можно обозначить как геологическая жизнь. Но она отлична от биологической. Значит, определять жизнь в обычном смысле (как биологическую жизнь) лишь с позиций структурной энергии не достаточно. Обычно выделяются такие главные свойства жизни как организацию, воспроизводство, обмен веществом со средой, развитие и смерть. Но всеми этими свойствами обладают современные рудообразующие системы [1,3,5].

Науки естественно-гуманитарного синтеза (ЕГС) дают возможность рассмотреть естественно-научную основу феномена жизни. Опираясь на теоретический аппарат ЕГС, дадим следующее определение: *жизнь есть концентрирование энергии рассеяния в форме структурной энергии, совершающей работу над вмещающей средой с целью своего самосохранения и развития.*

Данное определение будем рассматривать как определение жизни в обобщенном смысле, включая сюда и геологическую жизнь.

### 3 От геохимической к предбиологической жизни

Векторы эволюции неживой и живой материи в основных чертах ясны – от простого к сложному, от низших форм к высшим. Однако по-прежнему загадочной остается предбиологическая эволюция, обусловившая возникновение жизни. Вероятно, ни одна из проблем так долго не исследуется, не обросла бесконечным числом книг и статей и одновременно не является столь далекой от решения, как проблема биогенеза. Ибо трудности построения теории происхождения жизни возрастают по мере изучения и более глубокого понимания проблемы перехода от неживого к живому.

Проблема биогенеза имеет ряд аспектов, в том числе: синтез биологически ценных молекул – «строительного материала» для живых организмов, организация предбиологических систем, сохранение и эволюция их при изменении внешних условий. Чтобы жизнь возникла, необходимы биополимеры – «строительный материал». Эти вещества необходимо определенным образом «организовать» в системы, обладающими признаками жизни. Жизнь стала таковой, какой мы ее наблюдаем, лишь при условии самосохранения предбиологических (и биологических) систем и их эволюции.

Проблема синтеза биополимеров относительно ясна. Выполнены многочисленные эксперименты по превращению простых веществ (метана, аммиака, воды и др.) в более сложные соединения (аминокислоты и другие органические вещества), на основе которых формируются биополимеры. Такие превращения осуществляются не сами собой, а при воздействии на исходные смеси электрических разрядов, ионизирующего излучения, высоких температур и др. - с превращением энергии внешних сил в структурную энергию нового более энергонасыщенного вещества.

Вещества, которые могут быть использованы для синтеза предбиологических соединений, выделяются при извержении вулканов (углекислый газ, пары воды, метан, аммиак, сернистый газ и др.). Высокие температуры (до 1000<sup>0</sup>С) при вулканических извержениях способны обеспечить условия протекания такого синтеза. Поэтому при вулканических извержениях вполне вероятным является синтез сложных органических молекул.

Вероятные пути синтеза биологически ценных молекул на Земле в далеком прошлом во многом уже ясны. Когда более сложной является другая сторона проблемы биосинтеза – необходимость установления механизма концентрирования этих молекул, локализации химических превращений в определенных областях

пространства, динамической организации предбиологических систем. Ибо концентрации образующихся на ранних стадиях сложных органических молекул не могли не быть очень малыми – из-за незначительного выхода реакций, неустойчивости и распада, а также самопроизвольных процессов рассеяния и по ряду других причин.

Один из природных механизмов концентрирования в растворах реализуется на подвижных геохимических барьерах. Как показано выше, системы минералообразования (рудообразования), функционирующие на этих барьерах, по многим своим свойствам приближаются к живым системам. Растворимые органические вещества, которые синтезировались в подводных вулканах, могли выноситься на поверхность Земли или на дно водоемов нагретыми водами. На подвижных геохимических барьерах они образовывали осадок малорастворимых соединений. В режиме функционирования подвижных барьеров происходило концентрирование органических соединений [1,3,5]. Формировались системы предбиогенноза (предэкосистемы). Принципиально новым по сравнению с геологической жизнью было следующее: индивиды, составляющие системы, представляли собой органические и, возможно, предбиологические соединения. Их взаимодействие могло в дальнейшем привести к сборке примитивных форм организмов (предорганизмов).

Системы, о которых идет речь, еще далеки от биологических. Но они, по сути общего подхода, являются тоже «живыми» – самоорганизующимися системами. Они наиболее продвинуты к биологическим, так как обладают рядом существенных признаков, сближающих их с биологическими системами. При этом разрешается важная проблема предбиологической эволюции – концентрирования органических молекул в локальном объеме. Однако важнейшая проблема – организация сложной структуры живой клетки, возникновение специфических механизмов ее функционирования – остается нерешенной. В последние годы интенсивно ведутся исследования по искусственному воссозданию структуры живой клетки из органических компонентов небологической природы. Однако даже при успехе таких работ проблема зарождения биологической жизни на Земле не решается.

Обобщая изложенное, можно констатировать, что биологическая жизнь возникла из геохимической и по аналогии с ней. Основной движущей силой геохимической жизни являются потоки эндогенной энергии Земли, а биологической – экзогенной энергии Солнца. В близповерхностной области, где протекает геохимическая жизнь, на нее воздействовала экзогенная энергия. Синэнергетическим эффектом взаимодействия эндогенной и экзогенной энергии, а также сопряженных с ними потоков вещества и явилась биологическая жизнь. Она возникла, образно говоря, на основе усвоения геохимическими системами информации, заключенной в спектре солнечного излучения, и ее превращения во внутреннюю структурную энергию клетки.

Хотя законы перехода от геохимической жизни к биологической еще не ясны, тем не менее, можно указать общий принцип, которому подчиняются открытые геохимические системы и на основе которого можно объяснить предбио-

логическую эволюцию. Этим принципом можно считать саморегулирование химических реакций в открытой системе за счет отрицательных обратных связей с окружающей средой.

Благодаря наличию этих связей система таким образом реагирует на изменения во внешней среде, чтобы изменения в ней самой были минимальны. Этот расширенный принцип Ле-Шателье может быть назван принципом «самосохранения» открытых систем с сопряженными процессами. Он справедлив для тех состояний предбиологических систем, через которые осуществлялась их эволюция. По существу, принцип «самосохранения» является эмпирическим обобщением – следствием пройденного эволюционирующими системами пути, на котором предбиологические и биологические объекты с неизбежностью должны были быть устойчивыми по отношению к изменениям внешней среды.

В то же время эти изменения являлись движущей силой эволюции. Реакция предбиологических систем на изменения внешних условий привела к появлению многих специфических функций живого организма, направленных на его сохранение и функционирование в многократно изменяющихся на протяжении геологической истории условиях среды жизнеобитания. Функция деления (размножения), по существу, также является выражением принципа «самосохранения».

#### 4 Структурная энергия и биологическая жизнь

Как показано, ряд геологических систем минерало- и рудообразования обладают некоторыми общими свойствами с биологическими системами. Однако у индивидов (кристаллических частиц минералов) в этих системах отсутствуют признаки живых организмов. Они не способны совершать работу над окружающей средой. В этом отличие системы геоеценоза (геоэкосистемы) от биогеоеценоза (экосистемы).

Организм – это энергопреобразователь (эргопреобразователь ЭП). ЭП совершает «полезную» работу, когда он функционирует, «живет» – имеется подвод к нему энергии. Являясь преобразователем энергии, ЭП на основе эндогенной информации «извлекает» из внешних энергопотоков свободную энергию. Она аккумулируется в ЭП в форме структурной энергии. Последняя совершает работу функционирования организма.

В процессе совершения работы структурная энергия ЭП постепенно уменьшается, ЭП изнашивается («стареет») и со временем выходит из строя («отмирает»). Но, с другой стороны, система, составленная из системно связанных ЭП, может совершенствоваться. При этом растет удельная структурная энергия данной системы (в расчете на один ЭП).

Эргопреобразователи бывают естественными и искусственными. Общим для них является следующее:

- 1) выполнение функции – получение «полезной» работы;
- 2) наличие «программы», по которой они создаются (гены, чертежи);
- 3) аккумуляция (в структурной форме) свободной энергии естественных и искусственных энергопотоков в процессе сборки ЭП;

- 4) функционирование при подводе энергии и информации;
- 5) рассеяние изначально аккумулированной свободной энергии («утрача информации», «старение»);
- 6) конечное время «жизни»;
- 7) развитие, совершенствование, эволюция – путем «конструирования» (природой или человеком) новых ЭП, более сложных и специализированных.

Специфика естественных и искусственных ЭП обусловлена тем, что первые создаются самой природой, а вторые – человеком. Естественные ЭП возникают в ответ на требования природы – чтобы обеспечить устойчивость и развитие биосферы. Искусственные ЭП имеют ту же функцию применительно к социуму. Первые являются компонентами биосферы, вторые – техносферы и социосферы. Первые самосовершенствуются в ответ на изменения природной среды. Вторые совершенствует человек, чтобы удовлетворить свои развивающиеся потребности. Если естественные ЭП копируются путем репродукции, то искусственные – на заводском и «социальном» конвейере. Первые функционируют на современных потоках солнечной энергии (реже, эндогенной); вторые – как на них, так и на энергии, аккумулированной современной и былыми биосферами. Это обуславливает особенности развития и эволюции естественных и искусственных ЭП.

Развитие естественных ЭП происходило в достаточно узком интервале изменения удельного потока энергии, на котором они образовывались и функционируют. Действительно, поток солнечной энергии на земную поверхность равен  $1,6 \cdot 10^{-2} \text{ Дж} / (\text{см}^2 \cdot \text{с})$ , а эндогенной –  $5 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} / (\text{см}^2 \cdot \text{с})$ . Удельный поток энергии в ЭП определяется величиной поступающей в него энергии в единицу времени в расчете на единицу массы ЭП. Функционирование и развитие ЭП напрямую связано с потоками энергии, на которых они «живут»: чем поток больше, тем сложнее ЭП. Поэтому на малых потоках эндогенной энергии смогла возникнуть и функционировать в основном низкая геологическая форма движения материи. В то же время на существенно больших потоках экзогенной энергии возникла более высокая биологическая форма – образовалась биосфера. А антропосфера сформировалась на еще больших энергопотоках – к естественным потокам добавилась энергия, получаемая и используемая человеком.

Учитывая это, предлагается следующее определение жизни. *Жизнь есть открытая структурно организованная система организмов - энергопреобразователей, извлекающих с помощью своей эндогенной информации свободную энергию из внешних энергопотоков, которая аккумулируется в организмах в форме структурной энергии, совершающей работу над внешней средой с целью их самосохранения и развития.*

## 5 О структурной энергии системы природа-человек-общество

Данная проблема пока не решена. Ниже дается ее постановка. Структурная энергия применительно к отдельной стране отождествляется с ее национальным богатством, выраженным в энергетических единицах. Разработана методика и проведены расчеты национального богатства в энергетическом выражении для ряда стран мира [5].

Рассчитать работу всех процессов, которые формируют национальное богатство, не удастся. Есть лишь два природных процесса, работа которых может быть рассчитана: рудообразование и фотосинтез. Основываясь на расчете работы рудообразования и применяя метод сопоставления разных составляющих национального богатства, удастся рассчитать национальное богатство стран мира в энергетическом измерении.

Национальное богатство (другие термины: национальный капитал, страновой капитал) определяет в стоимостном выражении все имеющиеся в стране материальные и нематериальные ценности, участвующие в процессе воспроизводства социума. В эргодинамической трактовке [1] национальное богатство – это структурная энергия социума. Она соотносится с произведенной человеком и Природой работой (в обобщенном смысле) по формированию существующей структуры социума и выражается в энергетических единицах.

Развитость социума характеризуется удельным (в расчете на одного человека) национальным богатством (удельным национальным капиталом  $УНК$ ). Прогрессивное развитие социума имеет место, когда данная величина растет со временем  $t$  [1]:

$$d(УНК)/dt > 0 \quad (2)$$

Уравнение (2) в терминах структурной энергии переходит в (1).

Удельный национальный капитал  $УНК$  является суммой частных капиталов: физического  $УФК$ , человеческого  $УЧК$ , социального  $УСК$ , природного  $УПК$ , то есть [1,5]:

$$УНК = УФК + УЧК + УСК + УПК \quad (3)$$

Физический капитал характеризует все произведенные в социуме материальные ценности. Человеческий капитал – это условная стоимость человеческого фонда, а социальный – социального фонда или социальных структур. Природный капитал определяет в стоимостном выражении все имеющиеся в стране природные ресурсы. Физический капитал и не возобновляемая часть природного образуют материальные активы или осязаемый капитал, поддающийся прямым расчетам. Социальный, человеческий и возобновляемая часть природного не могут быть непосредственно рассчитаны без дополнительных допущений [1,5], образуя нематериальные активы или неосязаемый капитал. Все эти величины могут быть выражены и в энергетических единицах, поскольку национальное богатство отождествляется со структурной энергией.

Природный капитал рассматривается состоящим из возобновляемого и не возобновляемого (эко- и палеокапитала, соответственно). В основу расчетов был положен палеокапитал, который рассчитывался как работа образования прогнозных запасов руд социумов. Все остальные капиталы рассчитывались опосредованно, опираясь на эту величину. При этом делалось ряд допущений [5]. Полагалось равнозначным для стран мира иметь максимальное значение удельных (в расчете на одного человека) капиталов – физического, человеческого, социального и природного:

$$(УФК)_{max} = (УЧК)_{max} = (УСК_{max}) = (УПК)_{max} \quad (3)$$

Аналогично полагалось равнозначным для стран мира иметь максимальное значение как палеокапитала, так и экокапитала; как рудного палеокапитала, так и палеокапитала горючих ископаемых. Здесь мы отходим от рыночного метода расчета палеокапитала, неизбежно подверженного стихии рынка.

В расчетах учитывались для стран мира географическая площадь, площадь лесов, сельхозземель, запасы пресной воды (применительно к экокапиталу); горючие ископаемые и металлические полезные ископаемые (применительно к палеокапиталу). Горючие ископаемые включали в себя нефть, газ и каменный уголь. Металлические полезные ископаемые включали прогнозные запасы 16 видов: бокситы, железо, золото, марганец, медь, молибден, никель, ниобий, олово, ртуть, серебро, свинец, титан, хром, цинк.

Для остальных капиталов учитывались те же характеристики социумов, что и при их расчете в стоимостном выражении [5]: для физического капитала – *ВВП* (долл./год чел.); для витального – рождаемость (в расчете на человека) и продолжительность жизни; для интеллектуального - расходы социума на образование и здравоохранение (в расчете на одного человека за год); для духовного - суицидность (в расчете на одного человека за год); для социального - безработица, преступность (все в расчете на одного человека за год), социальное расслоение (через децильный коэффициент). Витальный, интеллектуальный и духовный капитал есть составляющие человеческого капитала.

Три первые страны по национальному богатству для 2007 г. в энергетическом измерении (в скобках указаны их значения в  $10^{18}$  Дж) будут: Китай (1148) – Индия (1100) – США (364). Россия в рейтинге занимает 9 место (между Пакистаном и Мексикой) с величиной национального богатства  $125 \cdot 10^{18}$  Дж. По экокапиталу Россия занимает первое место в мире ( $1,6 \cdot 10^{19}$  Дж), являясь по существу мировой экодержавой.

Наблюдается определенная корреляция в рейтингах стран по национальному богатству, выраженному в стоимостном (долл.) и энергетическом (Дж.) измерениях [5]. Это свидетельствует о перспективности предложенного метода расчета национального богатства в энергетическом измерении (структурной энергии социумов).

## 6 От природной к социальной гармонии

Триалектика – наука о гармонии экоса (глобальной системы природа-человек-общество) [2]. Под гармонией мы понимаем разрешение (согласование) противоположностей. Предлагается следующая формулировка ее законов [7].

*Первый закон – триадная парадигма развития.* Прогресс социоприродных систем реализуется на основе разрешения существующих в мире противоположностей путем рождения «нового», являющегося гармоническим синтезом разрешающихся противоположностей.

*Второй закон - разрешение противоположности бытие-сознания.* Не только бытие определяет сознание, но и сознание определяет бытие.

*Третий закон – от компромисса к гармонии.* Движение к состоянию гармонии (новому качеству) происходит через накопление и углубление компромисса (количества).

*Четвертый закон.* Состояние гармонии отвечает соотношению ее частей по «золотой пропорции».

Сущность развития, согласно триалектике – в разрешении противоположностей. Это происходит двояким способом. Первый - путем разного рода компромиссов между составляющими противоположностей. При этом имеем дело с частичным разрешением противоположностей. Второй - через полное разрешение противоположностей, являющееся их гармоническим синтезом. В результате рождается «новое»: состояние гармонии противоположностей - третья составляющая развития (отсюда термин – триалектика).

Триалектика исходит из того, что имеются не две сущности бытия – противоположности, как это полагает диалектика, а три. Третья сущность является разрешением противоположности, дающим «новое» третье. Последняя сущность и есть гармония противоположностей [2]. Попросту говоря, есть не два ответа «да» или «нет» на любой вопрос, а три: третий - «и да, и нет». В мире Природы противоположности в целом разрешены, и бытие Природы в целом подчинено гармонии.

Сформулируем главное эмпирическое обобщение, касающееся гармонии в Природе: *рассеяние энергии происходит через промежуточные состояния ее концентрирования в форме структурной (аккумулированной) энергии эволюционирующих систем.* Это же обобщение представим в виде эргодинамического закона триалектики: *противоположность концентрирование-рассеяния энергии разрешается их гармоническим синтезом - концентрированием на фоне рассеяния.* Приведем некоторые примеры эмпирического обоснования данного закона.

1. Энергия Солнца рассеивается в космосе не вся «даром». Часть ее аккумулируется планетой Земля (в форме ее структурной энергии), обуславливая процессы функционирования Земли («живая планета»).

2. Солнечная (экзогенная) энергия, приходящая на Землю, не вся рассеивается «даром». Часть ее аккумулируется растениями в процессе фотосинтеза, запасаясь затем в месторождениях горючих ископаемых («биологическая жизнь» Земли).

3. Человек использует для своего функционирования и развития экзогенную и эндогенную энергию непосредственно, но в основном аккумулированную в месторождениях полезных ископаемых. При этом используемая энергия аккумулируется в национальном богатстве социумов (в форме структурной энергии), которое расходуется и непрерывно воспроизводится.

4. Жизнь в целом имеет место благодаря одновременному существованию двух противоположностей – автотрофов и гетеротрофов, являясь их разрешением. Жизнь в целом – гармония автотрофов и гетеротрофов: сколько органического вещества синтезируется автотрофами, столько же и разлагается гетеротрофами.

5. Основное свойство жизни – ее «вечность» в целом и конечность жизни индивидов. Это свойство является гармоническим разрешением противоположности смерть-бессмертие. В этом аспекте жизнь индивида есть гармония бессмертия и смерти.

Все эти и другие многочисленные примеры трактуются с позиции триалектики как разрешение противоположности рассеяние-концентрирование энергии (в обобщенном смысле) через структурную энергию эволюционирующих систем. Структурная энергия непрерывно воспроизводится: рассеивается и производится. Тем самым рассеяние энергии осуществляется и через структурную энергию: люди рождаются и умирают, национальный продукт производится и утилизируется и т.д.

Если Природа функционирует по законам гармонии, то социум, наоборот, дисгармоничен. Современный кризис цивилизации – это финал предыстории, существование человечества в предкультуре. Если понимать под культурой «вторую природу», сотворенную человеком, все, что им создано, то это понятие неизбежно приобретает негативный оттенок. Человек в своем стремлении к господству над окружающим миром изобрел изощренные орудия убийства; среди них самое совершенное – атомную бомбу, способную уничтожить человечество. Да и массовая культура, основанная на безудержном и бесконтрольном проникновении информации в человеческое бытие и сознание, делает человека заложником и носителем самых низменных чувств и действий, убивающих не только творческое начало, но и саму жизнь. Получается, что культура – это и достояние цивилизации, созданное человеком, и то, что угрожает самому его существованию. Благодаря такой «культуре» Земля может вообще лишиться «второй природы». Получается парадокс: культура, приведшая человека к его исключительной роли в социоприродной среде, может уничтожить не только самую себя, но и всю цивилизацию.

Существующая «вторая природа» заполнена негативом: войны, насилие, неравенство, коррупция, отсутствие общего блага и др. И все это культура? Полагаем, что под культурой следует понимать не просто «вторую природу», а «вторую природу прогресса», то есть такую, которая способствует самосохранению и гармоническому развитию человека [8]. Одновременно в мире существует антикультура: созданная человеком «вторая природа регресса» - основа расчеловечивания человека. Одновременное функционирование обеих культур означает, что мы живем в эпоху предкультуры. Эпоха истинной культуры

начнется тогда, когда «вторая природа регресса» (подмир антикультуры) станет постепенно ликвидироваться на основе сознательной деятельности человечества.

Социальное конструирование происходит на основе законов развития, формулируемых человеком. Существуют два предельных пути развития. Первый определим как «конкурентное развитие» [9]. Это - либерализм. Его основания – материализм и диалектика (диадная парадигма развития). Его сущности:

- бытие определяет сознание;
- рост бытия опережает рост сознания;
- цель бытия – борьба, победа.

Этот путь не отвечает естеству, требованиям прогресса на современном этапе [9].

Второй путь – «гармоничное развитие» [9]. Его основания – социальный гуманизм (социогуманизм) и триалектика (триадная парадигма развития). Его сущности:

- не только «бытие определяет сознание», но и «сознание определяет бытие»;
- рост сознания опережает рост бытия;
- цель бытия – гармония, компромисс.

Развитие мира шло и продолжает идти по первому пути. Негативные последствия этого демонстрирует вся история, заполненная войнами, революциями, классовой борьбой и прочими язвами человечества. Материальный прогресс заведомо опережал гуманитарный – рост эволюционного качества человека. Главные причины неблагополучия современного мира: диадная парадигма развития как «борьба» противоположностей и материализм [9]. Установка материализма «бытие определяет сознание» не содержит обратной связи, ответственной за устойчивость социоприродных систем. Формировалась «вторая природа регресса».

Каковы же причины господства диадной парадигмы? Мир существует в условиях ограниченного материального ресурса. Он используется для производства материальных благ. Для материальной цивилизации, как предыстории человечества, определяющим оказывается закон возрастающих потребностей. Людям требуется все больше материальных благ, а для их производства – все больше материального ресурса. Но природный ресурс, по крайней мере, в его естественном состоянии, ограничен. Да и созданные в процессе трудовой деятельности человека искусственные материальные ресурсы: машины, технологии, пищевые суррогаты и другие продукты – являются предметом не всеобщего блага, а частной собственности. В результате становится неизбежной «борьба» за ограниченный ресурс, как между странами, так и между людьми внутри стран. А это – войны, революции, терроризм, преступность и, вообще, весь негатив жизни. Преуспевают сильнейшие. Имеет место непрерывно углубляющееся материальное неравенство – страновое и социальное.

Что касается науки, то для нее истинное состояние предполагает гуманизацию - с тем, чтобы она служила человечеству и общему благу. Об этом писал еще Л.Н.Толстой в работе «Что такое искусство?». Яркий пример антигуманности науки – изобретение на ее основе всякого и особенно ракетно-ядерного, химического оружия, наркотиков, информационного и климатического оружия.

Когда смотришь военные парады, учения и прочие демонстрации военной техники, то невольно возникает не только чувство гордости, но и печали, и разочарования. Человечество идет неестественным путем. Сколько молодых, здоровых людей оторвано от созидательного труда! Сколько ресурсов, материальных и человеческих, затрачено на производство оружия для уничтожения людей и материальной культуры! Автору скажут: Россия не собирается воевать, Россия защищается. Но то же скажет и Америка. Что же за мир построил человек на Земле, в котором жизнь без войны может быть обеспечена лишь силой оружия?!

Существующая траектория – это бряцание оружием, войны, терроризм. Это – массовая культура (а по сути, антикультура): культ потребительства, богатства, денег; телевидение с господством в нем пошлости (низкопробные сериалы, шоу с участием людей поверхностного знания, реклама, унижающая человека и т.п.) и многое другое.

Мировые СМИ раздувают военную истерию. В открытую обсуждается вопрос о ядерной войне. Уменьшение расходов на военно-промышленный комплекс, являющийся фактором регресса и антикультуры, не происходит ни в мире в целом, ни в отдельных странах. Военные расходы для мира в интервале лет 2009 – 2015 колеблются в пределах 2,2 – 3% от ВВП (данные Всемирного банка). Россия занимает третье место в мире по расходам на вооружение. Великобритания заявляет о праве на превентивный ядерный удар. И т.п.

Что это – конец «мира с позиции силы»? Казалось бы, современное ракетно-ядерное оружие фактически устранило возможность ведения мировых войн под страхом взаимного уничтожения. Наш коллега по науке доктор физико-математических наук А.М.Тарко (в соавторстве с А.А.Александровым и Н.Н.Моисеевым) показал это еще много лет назад (модель «ядерной зимы») [10]. Существующее «равновесие страха» не устойчиво. Любая «случайность может его нарушить. Давно бы следовало перейти от «мира с позиции силы» к «миру с позиции гармонии». Но происходит невероятное: легализация ядерной войны. Не менее опасен и неконтролируемый процесс информационного расчеловечивания.

Законы социоприродного развития не должны отрицать природные законы. Мир истинной истории человека станет следовать установкам гармонии, аналогичным природным. Триадная парадигма развития. Траектория гармонического развития: интегрализм – социогуманизм. Техно-гуманитарный баланс. Кооперация, суверенная глобализация, отсутствие войн. Гуманизация окружающей среды [4]. Замкнутые производственные циклы.

Чтобы устранить весь негатив материальной цивилизации, требуется новая цель развития. Как показывают естественно-гуманитарные науки, изучающие глобальную систему природа – человек – общество [1,2,4,5,9], в качестве такой цели выступает экосоциогуманизм.

Экосоциогуманизм, согласно триалектике, является гармоническим разрешением противоположности социализм-капитализм [1,2,4,5,9]. От социализма берется цель – гармоничное развитие человека, от капитализма – способ ее реализации: регулируемый рынок. Гармоничное развитие человека предполагает од-

современный сопряженный рост составляющих человеческого капитала: витальной (характеристика физического здоровья), интеллектуальной и духовной (характеристики человека как работника и носителя нравственности, ответственности). Экономика перестает быть целью, а становится средством – средством гармоничного развития человека.

Научные основания учения экосоциогуманизма: теория социоприродного развития, оригинальная концепция национального богатства и качества жизни, системная теория человеческого капитала, теория социогуманитарного государства, мировоззрение социогуманизма. Три главных цели социогуманитарного развития: от общества потребления – к обществу социального гуманизма, от «человека социального» - к «человеку социально-духовному» («Человеку Гармоничному»), от социального - к социогуманитарному государству. В социогуманитарном государстве разрешены основные противоположности либерализма: «я – они» через «мы», свобода – обязанность через установку «свобода для лучшего исполнения обязанностей» и др. [2,9, 11].

Уже больше 20 лет в России развивается учение социального гуманизма. Независимо существует концепция интегрального общества [12], которая в последнее время вызывает все больший интерес. Интегрализм идет на смену двум основным социально-экономическим учениям – буржуазному либерализму и марксистскому социализму. Конец XX и начало XXI века означали кризис индустриального и начало становления постиндустриального общества. Теорией постиндустриального общества и является, по мнению ряда исследователей, интегрализм.

Суммирование (интегрирование), вообще говоря, не дает нового качества, а ведет лишь к количественным изменениям. Интегральных обществ может быть много и разных, в зависимости от комбинации капиталистической и социалистической составляющих. Новое качество – гармоничное развитие человека, как синтез гуманизма и гармонии – приобретает общество социального гуманизма. Поэтому интегральное общество рассматривается нами как переходное от либерализма к социогуманизму.

По интегральному пути следуют Китай и Вьетнам. На постсоветском пространстве похожим путем идут Беларусь и Казахстан [12]. Они, в отличие от России, не бросились, очертя голову, в омут либерализма. Поэтому они имеют определенные успехи в развитии. В ряде стран Европы произошло вращение в капитализм социалистических элементов и частично достигнут компромисс между трудом и капиталом. Но все это - многочисленные возможные компромиссы между капитализмом и социализмом, но не новое качество (социогуманизм). Все эти страны делают лишь первые шаги на пути к социогуманизму. Однако еще ни одно государство не провозгласило и не претворяет в жизнь главную установку социогуманизма – гармоничное развитие человека.

Переход ряда стран на интегральное развитие означает начало отхода от диадной парадигмы развития как «борьбы» противоположностей – парадигмы предистории человечества; и утверждение триадной парадигмы гармонического синтеза противоположностей – парадигмы истинной истории. Современность отвечает началу истории.

## 7 Структурная энергия и прогресс

Эволюционирующие системы существуют благодаря сопряжению самопроизвольных процессов рассеяния энергии с не самопроизвольными процессами ее концентрирования. При этом рассеивающаяся энергия совершает работу по сборке и функционированию данных систем, формируя их структуру с аккумулярованной в ней структурной энергией. Существованию эволюционирующих систем отвечает формулировка II начала термодинамики как принципа сопряжения процессов: превращение теплоты в работу сопряжено с переходом тепла от нагретого к холодному телу [5].

Данная формулировка одновременно отвечает триада: противоположность концентрирование – рассеяние энергии разрешается их гармоническим синтезом: концентрированием на фоне рассеяния. Рассеяние энергии конструктивно, если на его фоне происходит ее концентрирование в форме структурной энергии. Концентрирование на фоне рассеяния – прогресс. Максимальный прогресс, при котором структурная энергия системы максимальна, отвечает состоянию гармонии противоположностей [9].

Сопряжение процессов имеет место в жизнедеятельности организмов, которые осуществляют синтез органического вещества из углекислого газа и воды – автотрофов. Он происходит лишь благодаря сопряжению с самопроизвольными процессами – реакциями окисления неорганических соединений у хемосинтезирующих бактерий, которые используют в своей жизнедеятельности энергию, освобождающуюся при окислении различных природных соединений (аммиака, закисного железа и др.); и поглощением солнечной энергии хлорофиллом растений. Таким образом, синтез органического вещества из углекислого газа и воды – сопряженный процесс (сам собой не реализующийся), а поглощение квантов света хлорофиллом растений и реакции окисления неорганических соединений в случае хемосинтезирующих бактерий – основные.

Что касается гетеротрофов (использующих в качестве источника углерода органическое вещество автотрофов, являющееся одновременно и источником энергии), то для них основным процессом является биохимический процесс окисления органических соединений (пищи) в организме, а сопряженным – процесс их функционирования: рождение, рост, размножение, добыча пищи, обучение и т.п.

Хемосинтезирующие и фотосинтезирующие организмы осуществляют работу подвода вещества за счет структурной энергии, аккумулярованной из потоков рассеяния энергии Земли и Солнца. Животные тоже сами подводят вещество (пищу), но оно используется и для воспроизводства структурной энергии. Наконец, человек сам осуществляет как подвод вещества, так и подвод энергии, используя для своего функционирования накопленные природой ресурсы и потоки энергии рассеяния Земли и Солнца.

Существует глубинная связь и взаимообусловленность процессов геологической и биологической жизни. С одной стороны, существует минералообразующая функция биоты. С другой, живая природа встраивается в процессы неживой

природы, используя их для своего самосохранения и устойчивого функционирования.

Действительно, при функционировании биогеохимического цикла углерода часть углерода выходит из цикла, захороняясь в недра с осадочными породами (в виде карбоната кальция и органического вещества) [4]. Скорость захоронения углерода, по данным геохимика А.Б.Ронова, имеет порядок  $10^{13}$  г/год [3]. Масса углерода (в составе углекислого газа) в атмосфере равна  $7 \cdot 10^{17}$  г., а в океане  $3,5 \cdot 10^{19}$  г. Тогда весь углерод океана и атмосферы может быть захоронен в недра Земли за время порядка  $3,57 \cdot 10^6$  лет. И жизнь бы на Земле прекратилась (из-за отсутствия углекислого газа – «пищи» растений).

Однако этого не происходит за счет протекания геологических процессов метаморфизма осадочных пород и вулканизма, при которых в атмосферу и океан выделяется углекислый газ. Значительная мобилизация углерода осадочных пород происходит при региональном (захватывающем большие объемы) метаморфизме глинисто-карбонатных пород.

Таким способом реализуется в природе кооперация (сопряжение) биогенных и абиогенных процессов, обеспечивающих устойчивость биологической жизни.

## 8 Заключение

Мир энергий триадичен. Для его полной характеристики, наряду с кинетической и потенциальной энергией, следует дополнительно использовать структурную энергию. Если кинетическая и потенциальная энергия характеризуют действующие и возможные количественные изменения в системе, то структурная энергия – характеристика качественных изменений эволюционирующей системы. Мир, где действует только кинетическая и потенциальная энергия, это – не эволюционирующий мир. Мир систем, обладающих структурной энергией, – эволюционирующий мир.

## Литература

1. Бушуев В.В., Голубев В.С. Основы эргодинамики. М., Энергия, 2003; второе издание. М., ЛЕНАНД, 2012.
2. Голубев В.С. Гармония спасет мир. М., ЛЕНАНД, 2017.
3. Голубев В.С. Модель эволюции геосфер. М., Наука, 1990.
4. Голубев В.С. Введение в синтетическую эволюционную экологию. М., Папирус Про, 2001.
5. Бушуев В.В., Голубев В.С. Эргодинамика – экоразвитие – социогуманизм. М., ЛЕНАНД, 2010.
6. Сафронов Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., Недра, 216.
7. Голубев В.С. Научные основы нового мироустройства на началах компромисса и гармонии. Экономические стратегии, №6, 2020.
8. Голубев В.С. Культура как «вторая природа» и техно-гуманитарный дисбаланс.

- Стратегические приоритеты, №1, 2018.
9. Бушуев В.В., Голубев В.С. Естественно-научные основы социального гуманизма. М., ЛЕНАНД, 2018.
  10. Тарко А.М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. М., ФИЗМАТЛИТ, 2005.
  11. Голубев В.С. Очерки социального гуманизма. Очерк 25. Когда свободы не сопряжены с обязанностями. // «Академия Тринитаризма», М., Эл. № 77-6567, публ.26444, 03.06.2020.
  12. Богомолов О.Т., Водолазов Г.Г., Глазьев С.Ю. и др. Новое Общетеоретические основы и мировая практика интегральное общество. М., ЛЕНАНД, 2016.

### References

1. Bushuev V.V., Golubev V.S. Basics of ergodynamics. M., Energy, 2003; Second edition. M., Lenand, 2012.
2. Golubev V.S. Harmony will save the world. M., Lenand, 2017.
3. Golubev V.S. The model of the evolution of the geosphere. M., Science, 1990.
4. Golubev V.S. Introduction to a synthetic evolutionary ecology. M., Papirus Pro, 2001.
5. Bushuev V.V., Golubev V.S. Ergodynamics - Eco-Watch - sociomanism. M., Lenand, 2010.
6. Safronov N.I. Basics of geochemical methods of searching for ore deposits. L., Nedra, 216.
7. Golubev V.S. The scientific foundations of the new world order on the principles of compromise and harmony. Economic strategies, №6, 2020.
8. Golubev V.S. Culture as "second nature" and techno-humanitarian imbalance. Strategic priorities, №1, 2018.
9. Bastuyev V.V., Golubev V.S. Naturally scientific foundations of social humanism. M., Lenand, 2018.
10. Tarko A.M. Anthropogenic changes in global biosphere processes. M., Fizmatlit, 2005.
11. Golubev V.S. Essays of social humanism. Essay 25. When freedom is not Spicy with duties. // "Academy of Trinitarism", M., El. № 77-6567, Puber.26444, 03.06.2020.
12. Bogomolov O.T., Dolazov G.G., Glazyev S.Yu. and others. New General Treatment Basics and World Practice Integral Society. M., Lenand, 2016.

**STRUCTURAL ENERGY AND LIFE**<sup>1</sup>Bushuev V.V. , <sup>2</sup>Golubev V.S.<sup>1</sup>Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia<sup>2</sup>Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia<sup>1</sup>E-mail:vital@guies.ru,<sup>2</sup>E-mail:v.s.golubev@bk.ru

**Annotation.** The article deals with current philosophical problems of the world order and the connection of energy and life in the surrounding world. Based on the use of a systematic approach to the study of the current problems of the modern world order, the author introduces the philosophical concept of "structural" energy as a characteristic of qualitative changes in the evolving system.

**Keywords:** philosophy, energy, evolution, environment

УДК 911.3+577.11

## Потребление ресурсов городскими поселениями

<sup>1</sup>Залиханов Алим Михайлович<sup>[0000-0002-2540-6045]</sup><sup>2</sup>Березкин Михаил Юрьевич<sup>[0000-0002-6945-2131]</sup><sup>1,2</sup>Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия<sup>1</sup>E-mail: bulungu@yandex.ru,<sup>2</sup>E-mail: mberezkin@inbox.ru

**Аннотация.** Прослеживается история городских поселений мира как центров притяжения, переработки и потребления материальных потоков в контексте изменения функций городов с неолита до настоящего времени. Проводится оценка потребления ресурсов городами в начале XXI века, текущих тенденций и нагрузки на мировую экосистему.

**Ключевые слова:** города, урбанизация, потребление ресурсов, потребление энергии, окружающая среда

### 1 Введение. История развития городских поселений

Укрупнение и объединение мелких населенных пунктов начало происходить еще в далеком прошлом. Известно, что первые протогорода возникли порядка 7-8 тысяч лет назад еще в неолите. С момента своего возникновения городские поселения являлись центрами потребления ресурсов и энергии для переработки сырья и обеспечения жизни населения, т.е. это были центры сосредоточения и потребления материальных потоков. В то же время, городские поселения также были источником потока продукции, но этот, выходящий из города материальный поток, был во много раз меньше входного потока ресурсов. Особенно резко все материальные потоки в городах возросли после промышленной революции и особенно в XX веке. Это связано с особенностями городской культуры, которые начали формироваться с момента возникновения городских поселений, несмотря на то, что города возникли как центры обслуживания сельского хозяйства [1].

В городах возник процесс формирования различных видов деятельности - культурная специализация была гораздо разнообразнее, чем в сельской местности, что привлекало в них все больше людей. Сельскохозяйственные технологии консервативны, они жестко привязаны к земле, к почвенному покрову, а в случае

скотоводства - растительному покрову. Новые специализации в сельскохозяйственном производстве появлялись намного медленнее, чем в городах, и не очень часто. И в древности, и позднее в развитое средневековье культурная специализация и инновационный процесс в городах шли намного быстрее. Если в энеолите в практике сельскохозяйственной деятельности человек придумал мотыгу, плуг и ручную мельницу, то после начала бронзового века примерно 7 тыс. лет назад делаются такие важные открытия, которые прямо не связаны с сельским хозяйством, как колесо, парусные лодки, строительство дорог, металлические орудия заменили каменные, использовались клепка и паяние, появилось металлические оружие и сосуды, а также мебель и глазурованные гончарные изделия. Железный век (начало около 3,5 тыс. лет назад) принес такие открытия, как алфавит, чеканку денег и создание основ рациональной науки [2].

Античная культура Эллады достигла очень высокого уровня потому, что развивалась она в городской среде, в условиях, которые можно назвать демократическими, где, в отличие от типичных «восточных» деспотий с подчинением определенному порядку, традициям, кастовым и другим ограничениям, люди могли высказывать свое мнение и опровергать авторитеты и реализовывать присущее людям стремление к творчеству. В городах существовали системы обучения, принцип которого был направлен на развитие способностей. Именно в греческой математике появилось изложение знаний в виде теорем: «дано - требуется доказать», в отличие от древнеегипетского или вавилонского способа обучения, где действовала схема: «делай так», «ты сделал правильно».

Городская культура средневековой Европы лишь через тысячу лет восприняла городскую культуру Эллады. До этого в Европе господствовала религиозное образование. Существовали соборные школы для подготовки духовенств. Некоторые из этих школ выросли настолько, что ввели курсы обучения другим свободным искусствами философии. Так появились университеты, которые постепенно развивали светское образование и отделились от церкви. В XI - XIV веках появляются университеты в Саламанке, Париже, Болонье, Оксфорде, Кембридже, Падуде, Неаполе, Праге, Кракове. В России первый университет появился 28 января 1724 г. в Петербурге. Это был Академический университет Петербургской академии наук. Чуть позже, в 1755 году, был учрежден Императорский Московский Университет.

## 2 Функции городов в XX веке

Таким образом, города стали центрами развития образования, а также науки, так как университеты были и остаются исследовательскими центрами. А это в свою очередь углубляет культурную специализацию и ускоряет инновационный процесс. Особенно быстрыми темпами образование, наука и инновационный процесс развивались в XX веке, что обусловило рост городского населения и валового внутреннего продукта, создаваемого в городах, а также рост количества и качества человеческого капитала. В XX веке практически весь инновационный

процесс сосредоточен в городах, в том числе и инновационный процесс для сельского хозяйства, но реализуется он на сельскохозяйственных угодьях.

Образование и инновационный процесс, в свою очередь обеспечивали более высокий уровень услуг в городах и более высокий комфорт. Это также было стимулом для перемещения в города сельского населения, помимо других причин - социальных и экономических.

Таким образом, города стали концентраторами населения, инновационного процесса, образовательных и научных центров, разнообразных услуг. Особенно быстро процесс концентрации шел в XX веке. Но одним из важнейших процессов был процесс стягивания и концентрации материальных потоков в города и превращения их на основе всех форм концентрации в ведущего генератора создания валового продукта. К концу XX века не осталось ни одной страны, в которой бы внутренний валовой продукт, создаваемый в городах, не превышал ту часть этого продукта, которая создается в сельском хозяйстве. Город давно перестал быть инструментом, для которого главным было обслуживание сельского хозяйства. Экономика большинства городов в основном работает сама на себя и другие городские поселения. Теперь уже сельское хозяйство стало системой, обслуживающей город. Но без этого обслуживания, обеспечивающего физиологические потребности и жизнедеятельность городских жителей, город существовать не может. Физически обслуживание представляет собой поток сельскохозяйственной продукции и возобновляемых ресурсов в города.

### 3 Объём и структура потребления ресурсов городами

Для удовлетворения физиологических потребностей каждому человеку требуется воздух, вода и пища, суточная масса которых составляет, соответственно, 15 кг ( $12 \text{ м}^3$ ), 2,5 кг (2,5 л) и 1,5 кг, т.е. поток вещества, равный 19 кг. Но для обеспечения жизнедеятельности необходимы также одежда (волокна), жилье (минеральный материал или древесина), мебель (древесина, пластик), бумага (древесина, волокна) и энергия (для обеспечения приготовления пищи, обогрева или охлаждения) и вода (для санитарно-гигиенических целей). Энергия может быть получена за счет биотоплива, ископаемого топлива или электротока. Большое значение имеет также поток строительного материала, так как жилища необходимы для защиты от внешних природных воздействий. Из этого минимального перечня видно, что значительную долю в обеспечении жизнедеятельности составляют возобновляемые ресурсы, которые можно получить только за счет использования окружающих город или удаленных от него экосистем.

Если рассматривать город с миллионным населением, то только для удовлетворения физиологических потребностей населения в течение суток понадобится почти 15 тыс. т, или  $12 \text{ тыс. м}^3$  воздуха, 2,5 тыс. т воды и почти 1,5 тыс. т пищевых продуктов. Таким образом, только для дыхания горожан требуется значительная масса воздуха, но главным его потребителем служит сжигание ископаемого топлива для обеспечения горожан теплом, электроэнергией и транспортом, без чего невозможна нормальная жизнедеятельность. Сжигание 1 кг угля требует 2,67 кг

кислорода. Но обычно использовался бурый уголь, содержащий около 70% углерода, а само сжигание происходит при избытке воздуха. В результате сжигание 1 кг бурого угля требует 12,2 кг воздуха. Следовательно, при потреблении в миллионном городе в среднем 4000 тыс. т угля в сутки для его сжигания затрачивается 24,4 тыс. т воздуха, а за год будет затрачено 8,9 млн. т воздуха. Не меньшего количества требует сжигание нефти и газа для усредненного города. Естественно, что такое потребление воздуха при котором из него изымается и связывается с углеродом кислород, снижает в пределах города его содержание в атмосфере по сравнению со стандартным - 21%. Потребление большой массы воздуха для производства тепла и энергии не требует его транспортировки. Воздушные потоки перемещаются в процессе региональной, полушарной и глобальной циркуляции в тропосфере.

Для жизнеобеспечения жителей миллионного города с учетом санитарно-гигиенических потребностей воды требуется значительно больше, чем для обеспечения физиологических потребностей. Исходя из нормы 250 л на душу населения в сутки, это составит в год более 90 млн. т. Это идеальные оценки. Данные, полученные на основе определения реального потребления, показывают, что город с миллионным населением потребляет в год около 230 млн. т воды [3]. Это расходование естественно объясняется тем, что, кроме непосредственного использования воды в домашних условиях, она используется для поливки улиц, мытья машин, полива растительности, используется также на предприятиях, в секторе общественного питания и т.д., наконец в водопроводных системах утечки воды достигают 20 - 40%. Так, в Бомбее они составляют 33%, в Сеуле 39%, в Каире 50%. В Москве утечки в водопроводной системе приближается к 30% [4; 5]. Многие города расположены на берегах рек и поэтому обычно не требуют удаленной доставки воды, хотя крупные города обычно нуждаются в дополнительной переброски воды. Например, канал Москва-Волга обеспечивает поступление 2,3 км<sup>3</sup> воды в год, а система водоснабжения Нью-Йорка из реки Делавэр - 1,3 км<sup>3</sup> в год [6]. Города в аридных районах или районах с выраженным сухим сезоном получают воду за счет опреснения морской воды и за счет создания ее запаса в период дождей на территории города, в том числе в бассейнах на крышах домов.

Необходимым элементом обеспечения жизнедеятельности горожан является энергия. Хотя потоки энергии определяется достаточно хорошо, на международном уровне нет организации, определяющей энергопотребление городов [7]. Сами города различаются по основным видам потребляемого ископаемого топлива. Так в Маниле и Джакарте преобладает использование нефти, в Пекине, Калькутте и Сеуле - угля, в Москве, Лондоне, Мехико - газа, а Сан-Паулу и Лос-Анджелес потребляют электроэнергию, вырабатываемую гидроэлектростанциями. Усредненный миллионный город потребляет в сутки 4000 т угля, 2800 т газа, 2700 т топлива для автомобилей, а всего 9500 т ископаемого топлива. Реальная ситуация сильно отличается от усредненной. Например, Пекин 20 лет назад более 70% своих энергетических потребностей обеспечивал за счет угля, а остальная часть, обеспечивающая в основном автотранспорт была получена за счет потребления нефти. В настоящее время использование угля и нефти для энергетических

целей снижается, но еще весьма значительно. Во многих китайских городах проблема с сильнейшим загрязнением воздуха существует многие десятилетия. В Сан-Паулу электроэнергия гидроэлектростанций обеспечивала почти 70% энергетических потребностей, а остальную часть, в основном потребности транспорта обеспечивает спирт, производимый из сахарного тростника [4; 8].

Для обеспечения нормальной жизнедеятельности городского населения оно должно быть обеспечено жильем. Это вызывает поток строительных материалов в город, который включает, который включает цемент, кирпич, гипс, металл, дерево, пластик, стекло и другие материалы. По некоторым оценкам затраты материала на создание 1 кв. м помещения требуется порядка 0,45 т [4]. Это означает, что при норме на 1 человека 10 м<sup>2</sup> жилой площади необходимо затратить на их создание 4,5 т строительного материала. При строительстве в Москве 2 м<sup>2</sup> в год необходим, следовательно, поток строительных материалов массой 900 тыс. т. Однако это не весь поток, так как он не учитывает обустройство территории, дворов, дорог и тротуаров. Для производства строительного материала, его перевозки и строительства затрачивается энергия, равная 5,8 ГДж на 1 м<sup>2</sup> жилья [4], т.е. строительство в Москве 2 млн. м<sup>2</sup> жилья требует с учетом косвенных и прямых затрат около 12 ПДж (1,2х10<sup>16</sup> Дж, или 3,3 млрд. кВтч) энергии.

Масса потребляемых пищевых продуктов существенно выше указанной ранее идеальной, так как включает значительную долю физиологически потребляемой воды, кроме того при приготовлении пищи всегда есть отходы при начале процесса (например, очистки овощей, кости и т.д.) и после потребления пищи (пищевые отходы). Определение потока продовольствия в город является сложной задачей, поскольку система снабжения диффузная (рассеянная) и все источники учесть невозможно. Опыт оценки имеется для Нью-Йорка, той его части, которую называют Нью-Йорк Сити (8,3 млн человек, площадь 787 км<sup>2</sup>), где в сутки потребляется более 20 тыс. т продовольствия, но только половина этой массы съедается. Такая же масса продовольствия потребляется в Москве в сутки. Осредненный миллионный город, по оценкам [3], ежедневно потребляет 2000 т пищи, или 730 тыс. т продовольствия в год. Из приведенных данных для осредненного города видно, что они достаточно хорошо согласуются с величиной потребления продовольствия в Нью-Йорке и Москве.

Города уже давно «срослись» с обеспечивающими их сельскохозяйственными территориями, в первую очередь непосредственно окружающими города. Такие симбиозы крупных городов-мегаполисов и агломераций с сельскохозяйственными территориями в англоязычной литературе получили название метроагроплексов (мегаагропереплетений) или индустриально-аграрных систем. Города зависимы от окружающих их аграрных и естественных систем, обеспечивающих их жизненно необходимыми ресурсами [6]. Это фундамент жизни городских поселений. Безусловно, кроме поступления продовольствия из окружающих непосредственно города агросистем, оно поступает и из отдаленных районов и даже других континентов, а также с пресноводных и морских акваторий. Эти территории, обеспечивающие физиологические и первоочередные нужды горожан, представляют собой второй экологический «след» городов, их давление на естествен-

ные экосистемы, которое выходит далеко за пределы территории собственно города [9]. Первым же экологическим следом служит сам город, который практически полностью вытесняет с занимаемой им территории естественные экосистемы.

В среднем, для обеспечения 1 км<sup>2</sup> городской территории при плотности населения 10 000 чел./км<sup>2</sup> требуется около 50 км<sup>2</sup> сельскохозяйственных угодий, 20 км лесов и 150 км<sup>2</sup> акваторий; в сумме, как показывают исследования, проведённые для разных регионов, это площади, превышающие непосредственно площадь города в 150-300 раз [1]. Это площадь т.наз. потребительского экологического следа города.

Площадь потребительского экологического следа на душу городского населения составляет, таким образом, 1,5-3 га/чел.

По данным ООН [10; 11], в 2018 году городское население мира превысило 55% мирового населения, или 4,2 млрд. человек, а общая площадь городов оценивается в 3,5 млн. км<sup>2</sup>, или около 2,7% площади земной суши (исключая Антарктиду). К 2050 году оно достигнет 68% населения, или величины, превышающей 6,5 млрд. при сохранении существующей тенденции к росту населения.

Простое суммирование площадей потребительских экологических следов городов показывает, что общая площадь составляет 63 – 127 млн. км<sup>2</sup>, а к 2050 году вырастет до 98 – 196 млн. км<sup>2</sup>, т.е. при максимальных оценках вся площадь суши будет превышена в 1,5 раза. Таким образом, человечество подходит к исчерпанию ресурсов, необходимых для обеспечения жизнедеятельности городов.

#### **4 Выводы**

На протяжении истории развития городов от неолита до нашего времени происходило изменение как их функций, так и объёмов, и структуры обмена веществом и энергией с сельскими поселениями и окружающей средой в целом.

К настоящему времени города выделяются, прежде всего, потреблением большого объёма ресурсов и энергии извне с одновременным большим объёмом выбросов в окружающую среду.

Площадь потребительского экологического следа городов – территория, требуемая для их жизнеобеспечения и стока отходов, в настоящее время эквивалентна 50% - 100% площади земной суши, а к середине XXI века при сохранении существующих тенденций вырастет до 75%-150%. Таким образом, человечество встает перед угрозой дефицита ресурсов, необходимых для обеспечения жизнедеятельности городов.

## Литература

1. Залиханов А.М., Дегтярев К.С., Соловьев А.А. Процесс урбанизации и экологические следы городов. // Доклады VII Международной научной конференции "Геоэкологические проблемы современности". Владимир, 9-10 октября 2015 г, место издания Владимир, 2015, с. 51-53.
2. Бернал Дж. Наука в истории общества. // М., Иностранная литература, 1956, 736 с.
3. The world environment 1972-1992. // Capman and Hall, London, 1992, 884 p.
4. Decker E.H., Elliot S., Smith F.A., Blake D.R., Rowland F.R. Energy and material flow through the urban ecosystem.// *Annual Rev. of Energy Environ.* 2000, 25 p/ 685-740.
5. Лосев К.С. Вода. Л., Гидрометеиздат, 1989, 222 с.
6. Залиханов А.М. Материальный поток для поддержания жизнедеятельности городских жителей и его экологический след за пределами города. // *Научная мысль Кавказа. Приложение*, 2004, № 2, с. 85-90.
7. Залиханов А.М. Экологический след городов.// *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, издательство Наука (М.), 2005, № 5, с. 81-83.
8. Голубев Г.Н. Геоэкология. М., ГЕОС, 1999, 338 с.
9. Залиханов А.М. Материальные потоки в странах и городах. // *Проблемы региональной экологии*, 2004, № 5, с. 25-30.
10. World Population Prospects. URL: <https://population.un.org/wpp/> , дата обращения – 28.06.2021.
11. 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. URL: <https://clck.ru/Vrdvj>, дата обращения – 28.06.2021.

## References

1. Zalihanov A.M., Degtyarev K.S., Solov'ev A.A. Process urbanizacii i eko-logicheskie sledy gorodov. // Doklady VII Mezhdunarodnoj nauchnoj konfe-rencii "Geoekologicheskie problemy sovremennosti". Vladimir, 9-10 ok-tyabrya 2015 g, mesto izdaniya Vladimir, 2015, s. 51-53.
2. Bernal Dzh. Nauka v istorii obshchestva. // M., Inostrannaya literatura, 1956, 736 s.
3. The world environment 1972-1992. // Capman and Hall, London, 1992, 884 p.
4. Decker E.H., Elliot S., Smith F.A., Blake D.R., Rowland F.R. Energy and material flow through the urban ecosystem.// *Annual Rev. of Energy Environ.* 2000, 25 p/ 685-740.
5. Losev K.S. Voda. L., Gidrometeoizdat, 1989, 222 s.
6. Zalihanov A.M. Material'nyj potok dlya podderzhaniya zhiznedeyatel'nosti gorodskih zhitelej i ego ekologicheskij sled za predelami goroda. // *Nauchnaya mysl' Kavkaza. Prilozhenie*, 2004, № 2, s. 85-90.
7. Zalihanov A.M. Ekologicheskij sled gorodov.// *Izvestiya Rossijskoj aka-demii nauk. Seriya geograficheskaya*, izdatel'stvo Nauka (M.), 2005, № 5, s. 81-83.
8. Golubev G.N. Geoekologiya. M., GEOS, 1999, 338 s.
9. Zalihanov A.M. Material'nye potoki v stranah i gorodah. // *Problemy regional'noj ekologii*, 2004, № 5, s. 25-30.

- 
10. World Population Prospects. URL: <https://population.un.org/wpp/> , data obrashcheniya – 28.06.2021.
  11. 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. URL: <https://clck.ru/Vrdvj>, data obrashcheniya – 28.06.2021.

## Resource Consumption by Urban Settlements

<sup>1</sup>Zalihanov Alim

<sup>2</sup>Berezkin Mikhail

<sup>1,2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>1</sup>E-mail: [bulungu@yandex.ru](mailto:bulungu@yandex.ru),

<sup>2</sup>E-mail: [mberezkin@inbox.ru](mailto:mberezkin@inbox.ru)

**Abstract.** The work traces the history of urban settlements of the world as centers of attraction, processing and consumption of material flows in the context of changes in the functions of cities from the Neolithic to the present. There is carried out resource consumption by cities at the beginning of the XXI century, current trends and pressure on the global ecosystem

**Keywords:** urban settlements, urbanization, resource consumption, energy consumption, environment

УДК: 551.583:57.025:574:581.9

## Углеродный цикл и изменения климата

<sup>1</sup>Замолодчиков Дмитрий Геннадьевич<sup>[0000-0002-2466-9003]</sup><sup>1</sup>Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия<sup>1</sup>E-mail: dzamolod@cepl.rssi.ru

**Аннотация.** В статье представлено интервью зам. главного редактора журнала «Окружающая среда и энерговедение» К.С. Дегтярева с доктором биологических наук, главным научным сотрудником Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН Дмитрием Геннадьевичем Замолодчиковым. Обсуждаемые темы: баланс углерода в географической оболочке и методы его оценки, причины изменений климата, наблюдения за эмиссией парниковых газов, создание карбоновых полигонов и ферм в России.

**Ключевые слова:** лес, углерод, баланс углерода, углекислый газ, парниковые газы, климат, изменения климата, карбоновые полигоны, карбоновые фермы.

### 1 Оценки баланса углерода в экосистемах

*Дмитрий Геннадьевич, в Вашей статье «Влияние объемов лесопользования на углеродный баланс лесов России: прогнозный анализ по модели CBM-CFS3» [1] сказано: «Леса Российской Федерации в настоящее время являются стоком атмосферного углерода, величины которого по различным оценкам составляют от 100 до 700 млн т С/год». С чем связан такой разброс в оценках и, собственно, по каким методикам проводят оценки?*

Связан это разброс с тем, что он действительно показывает реальную неопределённость оценок.

Тут надо понимать, что все опубликованные оценки являются именно оценками, а не результатам прямых измерений. Сейчас методы измерения баланса углерода в лесах продолжают разрабатываться. Например, есть большой проект РНФ, который ведёт Институт космических исследований, и они практически разработали систему ежегодного измерения запасов древесины с помощью спутниковых методов.

Углерод в лесу – это, всё-таки, в основном фитомасса; мы не говорим сейчас про углерод в почвах, это отдельная ситуация. И, зная запасы древесины в лесах, серию последовательных оценок, можно понять, как они растут, и отсюда сделать оценку баланса. Но пока это всё находится в стадии разработки и, до сих пор, насколько мне известно, публикаций не было.



**Рис. 1.** Д.Г. Замолодчиков

Есть оценки, для которых используются разные исходные источники информации. Это может быть Государственный Лесной реестр. Это могут быть спутниковые данные или какие-то другие картографические источники информации. На их основе делаются какие-то предположения и допущения.

Один из типичных способов оценки – собрать данные по каким-то конкретным исследованиям и дальше распространить на площади. Но территория лесов России – это сотни миллионов га (прим.: более 800 млн. га), а исследований – несколько тысяч, что недостаточно для адекватной характеристики всех имеющихся вариантов лесов.

Кроме того, есть методы лесоводственной оценки – например, по приросту. Есть серия публикаций ВНИИЛМ (Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства) – довольно агрессивных публикаций, что в России недооценивают поглощение углерода. Но, при этом, они используют такой подход, как средний прирост, а это некая оценочная характеристика, которая, строго говоря, в два раза выше, чем реальный прирост. Понятно, почему оценка ВНИИЛМ получается завышенной.

Мы в своих работах, старались соблюдать требования МГЭИК (IPCC), которая разрабатывает, в том числе, и методические руководства для национальных кадастров парниковых газов.

Вы сейчас верно подметили, в российском обществе идёт дискуссия, и все спорят – сколько углерода поглощают леса. И постоянно ссылаются при этом на рамочную конвенцию ООН по изменению климата [2] и Парижское соглашение [3]. Но вообще вся эта дискуссия, строго говоря, не к месту. Потому, что в рамках Рамочной конвенции ООН и Парижского соглашения никто не призывает оценивать углеродный бюджет лесов, а предлагают оценивать углеродный эффект лесного хозяйства. Потому, что в рамках конвенции и соглашения учитываются антропогенные источники и стоки парниковых газов. И это, на самом деле, очень важная тонкость, которая часто недооценивается.

Углеродный бюджет лесов включает множество факторов – скажем, повышение продуктивности из-за изменения климата, повышение продуктивности за счёт фертилизации повышенными концентрациями CO<sub>2</sub>, за счёт выпадения азота и, конечно же, действия человека. А действия человека – это рубки, управление лесовосстановлением, защита лесов от пожаров и так далее. То есть, в углеродный бюджет лесов вкладывается большое количество факторов как естественного, так и антропогенного характера.

В отчётность в национальном кадастре парниковых газов входят только антропогенные эффекты. И по этому поводу даже были специальные международные договоренности.

И, в зависимости от того, какие факторы учитывать, получаются различные оценки. Тот самый разброс оценок связан, во-первых, с наличием в некоторых системах оценки явных некорректных методических приёмов; а, если рассматривать только корректные системы оценки, которые всё равно дают большой разброс, за счет учета разных совокупностей процессов. И здесь, в первую очередь, конечно, сказывается разный учет роли почвы.

*На чём именно, на какой информационной базе основаны эти оценки? Насколько я понимаю, есть данные о площади и составе лесов, и есть известные данные, измеренные показатели способности деревьев разных пород и возрастов к поглощению углерода, а потом это экстраполируется на территорию... Что-то вроде этого?*

Да, что-то вроде. Существует такой источник информации, как Государственный Лесной реестр. Строго говоря, это главный источник статистических сведений по лесам, на основе которых и планируется ведение лесного хозяйства. Скажем, каждый субъект РФ имеет Лесной план. Этот Лесной план разрабатывается именно на основе Государственного Лесного реестра.

Что представляют собой эти данные Государственного Лесного реестра? Это данные по площадям и запасам древесины – это две базовые характеристики: площадь и запасы; соответственно, в подразделении на различные категории насаждений.

Насаждения идентифицируются по преобладающей породе. Это, можно сказать, особенность российской лесной инвентаризации - определение преобладающей породы. Причём это не обязательно фактически преобладающая порода. Там более сложные алгоритмы для определения, скажем, 4 сосны и 6 берёз – это будет сосняк, а не березняк. Но это уже детали. Если посмотреть на строки Лесного реестра, там будут обозначения: сосна, берёза, лиственница, осина, дуб и т.д.

Кроме того, дифференциация идёт по возрастному составу. В Государственном Лесном реестре используются 6 групп возраста: 1) молодняки 1 класса возраста, 2) молодняки 2 класса возраста, 3) средневозрастные; 4) приспевающие; 5) спелые и 6) перестойные.

А, с точки зрения бюджета углерода, возраст – едва ли не важнейшая характеристика. Молодое насаждение растёт и активно поглощает углерод. Спелое насаждение находится в более-менее стабильном состоянии, и его фитомасса приблизилась к своему постоянному значению.

Далее, все эти данные подразделяются на категории защитности, категории назначения лесов. Самые крупные категории: защитные, эксплуатационные и резервные леса. Дальше защитные леса подразделяются ещё на 18 групп: противоэрозионные, нерестовые полосы, водозащитные и т.д., и т.п.

И эти данные Государственного Лесного реестра существуют для всей территории земель Лесного фонда России.

Однако не все леса находятся на землях Лесного фонда. Например, имеются земли ООПТ (особо охраняемых природных территорий). Там тоже есть леса, но в Государственный Лесной реестр они не входят. И в этом есть определённая проблема с инвентаризацией лесов заповедников. Есть леса на заброшенных бывших сельскохозяйственных землях, их много, не менее 30 млн. га, но это пока «незаконные» леса, для которых нет никакого учёта.

Лесной реестр в последнее время критикуется многими исследователями. Отмечается, что деятельность по лесоустройству после принятия Лесного кодекса 2006 года была передана на региональный уровень и была существенно сокращена, поэтому данные Государственного Лесного реестра вовремя не обновляются и «стареют» и, из-за этого, во многом они уже не являются достоверными. Но, тем не менее, пока это лучший источник, дающий наиболее подробную информацию. Хотя, например, сравнение со спутниковыми данными показывает, что запасы в Лесном реестре занижены примерно на 20%-30%. И это при том, что

площади, наоборот, завышены – согласно Лесному реестру у нас лесов несколько больше, чем на самом деле, поскольку нарушения и вырубки в последние годы привели к гибели лесов на многих площадях.

Часть оценок углеродного лесного баланса ориентируются на данные Государственного Лесного реестра. Только часть, потому, что существуют полностью независимые от этого системы оценки, которые, в основном, ориентируются на современные дистанционные данные. Поскольку методы дистанционного зондирования, конечно же, очень сильно прогрессируют в последние десятилетия. Скажем, помимо анализа оптического диапазона, который долгое время был основным направлением, всё большее распространение получают радарные методы, лидарные методы, которые более ориентированы на получение массовых либо объёмных оценок. И это позволяет надеяться на получение в разумные сроки более содержательных, полученных методами прямого измерения, данных.

*Что касается дистанционного зондирования – это способы выявления структуры леса (из которой можно делать выводы о балансе углерода) или уже прямые замеры эмиссии газов?*

Это зависит уже от метода, который используется. Если мы идём по пути анализа оптического диапазона, то здесь стандартной методикой является установление тех или иных характеристик, как спектральных, так и текстурных... Здесь главная задача автоматического дешифрирования – установить те или иные процедуры, которые соответствуют тем или иным оптическим характеристикам и тем или иным полигонам на поверхности. Но это, опять же, модель, которая имеет свои ошибки и, на самом деле, ошибки достаточно велики, и тут никуда не денешься.

А есть именно методы измерения. Мы говорили – объём. Что такое радар? Со спутника идёт радиосигнал, отражается от поверхности и возвращается и, в зависимости от свойств поверхности (это ровная поверхность травяной экосистемы или это лесная экосистема и т.д.), по ослаблению возвращающегося сигнала можно получить информацию о запасах древесины. Это я уже считаю методом прямого определения запасов древесины.

То есть, нужно различать, какой конкретно дистанционный метод используется. И, в принципе, их достаточно много. Например, есть метод дистанционного определения поглощения и концентрации CO<sub>2</sub> в столбе воздуха. Потому, что инфракрасное излучение поглощается тем же самым CO<sub>2</sub> (с чего начинается, собственно, парниковый эффект). Такие методы тоже есть. Например, японские

спутники, которые дальше пересчитывают концентрации, и это уже прямое определение непосредственно потоков CO<sub>2</sub>. Такое тоже есть.

*Извините за некоторый дилетантизм... если говорить о прямом измерении традиционными методами, как это происходит? Допустим, дерево растёт, поглощает больше углерода, нужного ему для роста ... Как измеряется количество углерода, поглощённое отдельным деревом? Газоанализаторы, измерение массы дерева, какие-то другие способы?*

Если мы рассматриваем чисто исторически, понятно, что здесь использовался целый ряд способов. Если мы рассматриваем растущее дерево, то как рассчитать поглощение CO<sub>2</sub>? Есть много методов, но самый простой, конечно, это весовой метод. Мы определяем вес дерева, дерево состоит из органического вещества, и примерно 0,5 от его сухой массы составляет углерод. В различных фракциях могут быть вариации – от 0,40 до 0,53, но в среднем 0,5. То есть, условно говоря, если мы знаем вес дерева, мы узнаем и вес углерода, который в нём находится. Для того, чтобы узнать вес дерева, совсем не обязательно его рубить, хотя такие исследования до сих пор проводятся. Древесных пород достаточно много, и они отличаются по характеристикам, например, плотности древесины, хотя ещё в 1960-е годы были изданы очень хорошие справочники по плотности древесины.

Вспомним, на что направлена инвентаризация лесов. В первую очередь, как я говорил уже, это площади. Чем больше площади, тем больше у тебя леса. А, кроме того, важнейший в лесном хозяйстве параметр – это запас древесины. Это нужно для обеспечения и предоставления заготовки древесины. Который, как известно, измеряется в кубометрах. Это означает, что определение объёмов в лесу – это первейшая цель лесного таксатора. Существуют стандартные методы определения запасов через определение диаметров, расчёта по ступеням возраста и т.д., и т.п. Эти методы хорошо отработаны.

Есть и современные методы, которые позволяют, с использованием оптических и лазерных приборов, более точно учитывать форму ствола и другие параметры. В общем, определить объём дерева достаточно легко. А дальше, зная плотность, можно рассчитать запас углерода.

Так или иначе, большинство исследований лесного углерода использует эти принципы. Но это не единственный способ. Поскольку есть, например, экофизиологические методы определения – измерение фотосинтеза хвои и т.д. А есть методы измерения экосистемного обмена углерода, это так наз. Eddy Covariance – современный достаточно сложный метод, позволяющий получать оценку обмена CO<sub>2</sub> и другими парниковыми газами на уровне экосистемы. Это башни (towers) с различными анализаторами, и это уже не связано с классическими методами лесоведения.

## 2 Причины изменения климата. Роль парниковых газов и антропогенного фактора

*Примечание. См. также доклад Д.Г. Замолодчикова «Естественная и антропогенная компоненты современного потепления» [4].*

*Следующий вопрос связан с ролью парниковых газов и весом антропогенной составляющей в идущем потеплении. Насколько я понимаю, господствующая (во всяком случае, преобладающая) ныне позиция заключается в том, что ведущую роль в текущем потеплении климата играет антропогенный фактор, а именно антропогенная эмиссия парниковых газов, прежде всего, углекислого газа (CO<sub>2</sub>).*

*Основной аргумент в пользу этой позиции – очевидная корреляция между потеплением климата и ростом эмиссии парниковых газов антропогенного происхождения.*

*В то же время, существует точка зрения, связывающая потепление, прежде всего, с естественными причинами. В данном случае, в качестве контраргументов приводится, в частности, следующее: 1) на Земле были более тёплые эпохи, чем сейчас, во время которых содержание CO<sub>2</sub> было меньше, чем сейчас; 2) нынешнее потепление идёт примерно с XVIII – XIX вв., сменив Малый ледниковый период, т.е. началось ещё тогда, когда больших выбросов в атмосферу не было; 3) есть корреляция и между потеплением и природными циклами – в частности, циклами солнечной активности или изменением орбитальных параметров Земли; 4) наконец, говорится и о том, что доля антропогенного CO<sub>2</sub> – менее 1,5% от всего поступления углекислого газа в атмосферу; при этом, основным парниковым газом является, всё-таки, не CO<sub>2</sub>, а водяной пар. И это всё тоже факты. Кроме того, говорится и о том, что более 90% CO<sub>2</sub> содержится в Мировом океане; при потеплении снижается его растворяющая способность, и больше поступает из океана в атмосферу, т.е. причинно-следственная связь между CO<sub>2</sub> и потеплением, скорее, обратная.*

*Какой концепции, объясняющей причины текущего изменения климата, придерживаетесь Вы, и какие аргументы в её пользу находите наиболее сильными; какова Ваша оценка аргументации той или иной стороны?*

Здесь я никакой сенсации не сотворю, поскольку разделяю общепринятую точку зрения антропогенного потепления. При этом, в своей научной карьере я специально занимался этими вопросами. У меня есть публикации по моделированию глобального климата и рассмотрению различных факторов.

С одной стороны, надо сказать, что явления и процессы которые Вы назвали, действительно существуют. И отмечу, например, что я полностью согласен с В.М. Фёдоровым в отношении естественного генезиса 60-летней изменчивости (60-летняя осцилляция климата в Северной Атлантике [5]). Я сам об этом писал, она хорошо видна, и я не разделяю точки зрения МГЭИК, считающей, что этого нет.

Проблема, характерная для маргинальных климатических скептиков, состоит в том, что простое наличие естественных процессов интерпретируется как противоречие антропогенному потеплению климата. При этом, «климатические скептики» не проводят количественных оценок вкладов тех или иных факторов на уровне биосферы, на уровне земного шара. В данном случае, Вы сказали, что (и это так) основным резервуаром  $\text{CO}_2$  является океан. Если мы сейчас берём атмосферу, то в ней 800 млрд. тонн углерода в форме  $\text{CO}_2$ ; метана там намного меньше. Соответственно, в океане  $\text{CO}_2$  38 000 млрд – в 40 раз больше.

Ну, казалось бы, о чём тут говорить? Хорошо известно, что океан при потеплении уменьшает растворимость газов. Вода при росте температуры уменьшает растворимость  $\text{CO}_2$ , и вода при нагревании выделяет  $\text{CO}_2$ , достаточно посмотреть на кастрюлю при нагреве воды. При закипании стенки кастрюль покрываются пузырьками. Растворённые газы выделяются из воды.

Но давайте посмотрим реальные данные по балансу парниковых газов. Это, заодно, ответ на ваш вопрос об антропогенной эмиссии в 1-2% от содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере. На самом деле, это не 1-2%, а ныне это уже 10%. Но мы об этом не будем подробно говорить, чтобы не перегружать цифрами. Я буду давать упрощённые цифры; просто они легко запоминаются. Современная эмиссия антропогенного углерода преимущественно за счёт сжигания ископаемого топлива, а также за счёт изменения землепользования, т.е. сведения тропических лесов и сельского хозяйства, составляет примерно 10 млрд. тонн в год. Из этих 10 гигатонн в год ежегодно в атмосфере остаётся половина – это правило 50%, как я его формулирую. Т.е. 5 гигатонн в год остаётся в атмосфере и обеспечивает увеличение концентрации  $\text{CO}_2$ , а 5 гигатонн поглощается биосферой. То есть, биосфера является стоком  $\text{CO}_2$ , она не может быть его источником. Это просто закон сохранения массы, иначе не получается. Те цифры, про которые я говорю, очень хорошо устанавливаются, поскольку мы знаем концентрацию  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Это мониторится на многих станциях атмосферной химии, и мы можем довольно легко пересчитать в общее содержание. И, кроме того, экономическая статистика по сжиганию ископаемого топлива тоже довольно точна – здесь статистика намного точнее, чем по естественным стокам на отдельных территориях.

Для 5 гигатонн, попадающих в атмосферу, действует второе правило 50% - примерно 2,5 гигатонны растворяется в океане. Почему растворяется? Да потому, что океан недонасыщен по сравнению с атмосферой.

Да, температура океана растёт, но этот рост температуры, скажем так, не доминирует над ростом концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Т.е. здесь, в данном случае, существует градиент «атмосфера – океан»: океан, в силу большой растворимости  $\text{CO}_2$ , недонасыщен, он адаптирован, условно говоря, к прежним, доиндустриальным, количествам  $\text{CO}_2$  (в атмосфере) – это порядка 280 ppm; а сейчас это уже 420 ppm. И поэтому океан поглощает  $\text{CO}_2$ , и поэтому кислотность океана увеличивается.

Т.е. здесь все «кирпичики» сходятся в одну конструкцию. И примерно 2,5 гига-тонны уходят на сушу. И здесь сложнее понять, почему на суше-то это происходит. В основном, конечно, говорят про фертилизацию  $\text{CO}_2$ , просто по правилу Ле Шателье, поскольку  $\text{CO}_2$  – реагент фотосинтеза, то его увеличение приводит к большей скорости фотосинтеза.

Но здесь всё намного сложнее. Я сам занимаюсь углеродным балансом наземных экосистем, но и мне здесь далеко не всё ясно, поскольку увеличение первичной продукции образования органической материи приводит к немедленному увеличению гетеротрофного дыхания. Поскольку в экосистеме есть продуценты, редуценты и консументы. И, если чего-то становится больше, то организмы начинают это есть и потреблять. И поэтому, строго говоря, в устойчивой экосистеме не образуется таких пулов, куда идёт сток углерода. В ней запасы углерода оказываются постоянными, а потоки углерода могут сильно возрастать – продукция растёт, но растёт, соответственно, и деструкция.

Тем не менее, факт остаётся фактом, и это доказано с помощью изучения изотопного состава  $\text{CO}_2$ , т.е. различные процессы обладают различными коэффициентами фракционирования легких и тяжелых изотопов углерода, хорошо известен изотопный состав атмосферного топлива, известно, что происходит при фотосинтезе и т.д., и вот за счёт среднего изотопного состава  $\text{CO}_2$  это и образуется.

В данном случае, рассмотрев эти конкретные цифры, мы, во-первых, утверждаем, что антропогенные эмиссии значимы для определения  $\text{CO}_2$  в биосфере и атмосфере Земли. Т.е. эти 10 гига-тонн, хотя они меньше величины первичной продукции – когда Вы говорили про 1-2% - это не совсем корректная оценка, но суть в том, что мы не можем сравнивать первичную продукцию с антропогенной эмиссией. Мы должны сравнивать дисбаланс между первичной продукцией и деструкцией. А этот дисбаланс равен всего лишь 2,5 гига-тонн - то, что мы относили к наземной биосфере. Это означает, что биогенные процессы в биосфере могут компенсировать только  $\frac{1}{4}$  современных антропогенных эмиссий. Всё очень просто – четверть, 25%, не более. И ещё 25% компенсируют простые физико-химические процессы растворения  $\text{CO}_2$  в океане. И на 50% эти эмиссии не компенсированы, поскольку  $\text{CO}_2$  в атмосфере растёт. И это именно за счёт антропогенных процессов, а не каких-то других, о которых говорят «климатические скептики».

*Есть ли положительная сторона в потеплении? Исследователь, первым предположивший, что потепление связано с антропогенной эмиссией парниковых газов – это был Гай Стюарт Каллендер (Guy Stewart Callendar) в 1938 году [6], считал это, скорее позитивным явлением – он исходил из того, что потепление улучшает сельскохозяйственные условия в Северном полушарии и отодвигает на неопределённый срок наступление нового ледникового периода. Со своей стороны, Вы видите какие-то позитивные эффекты текущего потепления? И, если да, то какие – позитивные или негативные последствия, перевешивают?*

Помню, и у меня был разговор с уважаемым мною учёным, и тот мне изложил концепцию своего знакомого, что активные выбросы человеком CO<sub>2</sub> отвечают его целям и задачам, поскольку тормозят новый ледниковый период, что это элемент стабилизации климата Земли, предотвращающий наступление Ледникового периода, и не Малого, а Большого, который должен наступить через 15 000 лет. Это устранение жёсткой ситуации с чередованием ледниковой и межледниковой.

Если говорить более серьёзно, то понятно, что потепление обладает как позитивными, так и негативными эффектами. И, в общем-то, позитивные эффекты преобладают там, где наблюдаются те или иные формы лимитирования по температуре, а Россия – самая холодная страна мира. И понятно, что объяснить у нас народу, что потепление – это плохо, очень трудно. Я в своей жизни в десятки раз больше страдал от холода, чем от жары.

Да, для России имеется довольно большое количество позитивных эффектов. И вот, скажем, буквально сегодня с утра я читал одну свежую статью, где рассматривался экологический потенциал Сибири в соответствии со сценарием МГЭИК. И утверждалось, что сценарий в соответствии с RCP (representative concentration pathways) 8,5 приводит к существенному улучшению условий Сибири. Произойдёт повышение температуры на фоне увеличения количества осадков и отступление вечной мерзлоты с изменением условий почвообразования.

А территория Сибири – это на 80% вечная мерзлота и низкопродуктивные лиственничники. И поэтому люди и живут там узкой полоской вдоль границы с Китаем и Монголией, начиная с Западной Сибири, далее по линии Красноярск-Иркутск, Уссурийск – Владивосток, в южной части.

Если же говорить о влиянии CO<sub>2</sub> на продуктивность, то примерно с 1950 по 1990 год производительность мирового сельского хозяйства выросла примерно на 40%-50%, причём и в Советском Союзе, и в США. Понятно, что свою роль сыграла генная модификация и другие технологии, тем не менее, рост CO<sub>2</sub> стимулировал продуктивность.

Но, при этом, для времени после 1990-х характерна стабилизация. На самом деле, этот очень мощный рост продуктивности сельского хозяйства с середины 1950-х до середины 1990-х относится к тому периоду, когда рост CO<sub>2</sub> стимулировал продуктивность растений. А дальше у них начинается физиологическое лимитирование при концентрациях, как раз приближающихся к 400 ppm CO<sub>2</sub> в атмосфере.

Строго говоря, на самом деле частичное решение продовольственной проблемы уже связано с глобальным потеплением климата в отношении роста CO<sub>2</sub>, но это обычно предпочитают не афишировать. То есть, человечество уже получило серьёзные плюсы от потепления, но есть и очень серьёзные минусы, как они есть в любом изменении. Они хорошо известны: повышения уровня мирового океана, например. И от этого никуда не денешься – потопнем ведь! И Петербург, и Нью-Йорк, и Мальдивы...

Поэтому говорят про адаптацию. А, кроме того, конечно же, как говорят – не дай Бог тебе жить в эпоху перемен!

Это и вероятность нарастания экстремальных погодных явлений. Это действительно так, есть широко известный график Росгидромета, он ежегодно публикуется в докладах об особенностях климата, там показан рост количества экстремальных погодных явлений на территории России. Так за последние тридцать лет он вырос примерно в 3 раза.

Понятно, и тут есть проблемы с учётом статистики, но факт остаётся фактом – наводнений и засух становится больше. А, кроме того, Россия – лесная страна, а интенсивность лесных пожаров тоже становится больше, никуда от этого не денешься и, как только где-то возникают условия экстремальной засухи, леса начинают гореть, тем более, леса у нас преимущественно хвойные, а хвойники очень легко горят.

Да, есть и позитивные эффекты глобального потепления, но негативные, всё же, преобладают.

Да, конечно, для России это проще, чем, например, для стран тропической Африки, где из-за потепления растёт засушливость климата. Но у нас такая же ситуация на юге европейской части России, где у нас чернозёмы и основная житница. Понятно, что в Нечерноземье и в Сибири условия улучшатся и, допустим, мы получим возможность сеять больше ржи и пшеницы в Сибири, но, если при этом станет хуже на юге европейской части России, то ещё неизвестно, будет в итоге плюс или минус. Кроме того, освоение новых территорий потребует и новых затрат.

---

*В принципе, классическое правило – при потеплении идёт смещение природных зон в более высокие широты и, кроме того, чем выше широта, тем сильнее изменения климата...*

Да. Это известный факт. В нашей Арктике, например, потеплело уже на 4°, при среднем значении по миру примерно 1°. В целом для России это примерно 2°.

*А для, например, Конго это около 0°, и экваториальная зона должна расширяться...*

В принципе, да, экваториальные и тропические зоны в этом отношении более устойчивы, хотя и там некоторые эффекты наблюдаются.

Также прошлые эпохи потеплений и оледенений проходили на фоне меньшей концентрации CO<sub>2</sub>. А антропогенное воздействие создало такую ситуацию с CO<sub>2</sub>, которой не было на протяжении уже десятков миллионов лет. И поэтому проводить полные аналогии между четвертичным периодом и нынешней ситуацией нельзя. Поскольку CO<sub>2</sub>, всё-таки, сейчас слишком велик.

### **3 Карбоновые фермы и улавливание углерода**

*Спасибо. Ещё одна группа вопросов, которую хотелось бы затронуть – карбоновые фермы (или, если по-русски - «углеродные фермы») и, в целом, эффективность тех или иных способов улавливания углерода...*

Я бы сразу разделил. Программа карбоновых полигонов, постепенно повышающая свою популярность и известность – это не программа по улавливанию углерода, потому, что это в принципе разные вещи.

Как правило, улавливание углерода – вопрос, связанный с технологиями связывания антропогенных выбросов углерода. А вопрос поглощения углерода за счёт фотосинтеза в природных и природно-антропогенных системах – это вопрос именно поглощения. Carbon capture and storage – это совсем не то, что carbon sequestration.

*Тогда, если говорить именно о «карбоновых фермах», в чём их смысл, что они дают? Этот проект анонсирован Минобрнауки, честно говоря, я узнал о нём из СМИ [7], а в качестве ведущих экспертов (по информации СМИ) выступают люди, не являющиеся профессиональными биологами или климатологами, что,*

*честно говоря, априори уже вызывает некоторую настороженность по отношению к этому проекту...*

В целом, контуры программы карбоновых полигонов (карбоновые фермы и карбоновые полигоны – тоже разные вещи) пока формируются.

Минобрнауки сформировал экспертный совет, в основном, из исследователей, представляющих академическую и университетскую среду, долгое время занимавшихся инструментальными наблюдениями потоков CO<sub>2</sub>. И сейчас сама программа карбоновых полигонов на самом деле превращается в научно-образовательную программу.

Речь идет о том, что в ней принимают участие, в основном, крупные, серьезные ВУЗы, которые на имеющихся у них стационарах размещают приборы – те самые Eddy Covariance (считающиеся системой №1; у нас это часто называют системой или методом турбулентной ковариации, иногда у нас его называют микрометеорологическим методом или методом микродинамических пульсаций), обеспечивающие учет потоков парниковых газов, а также других газов, на которые есть анализаторы, на экосистемном уровне.

А, кроме того, есть образовательный компонент, на этих точках будут проходить практику, писать свои дипломные работы и диссертации студенты и аспиранты, обучающиеся в этих вузах.

Речь идет о создании на территории России системы карбоновых полигонов с детальным и современным изучением обмена парниковых газов. Такие системы, в принципе, есть давно и по всему миру, а метод Eddy Covariance активно начал развиваться где-то с конца 1990-х – начала 2000-х. До этого он был в тестовом режиме. Есть AmeriFlux, есть EuroFlux, а в России этого было немного, поскольку оборудование и его эксплуатация дорогостоящие. У нас было несколько точек – в Красноярском крае, в Якутии; в Европейской части – в Центральном Лесном заповеднике. А, в рамках этой программы полигонов, ещё, по меньшей мере, 8 полигонов добавляется.

На самом деле, чем ещё интересна эта программа? Тем, что планируется партнерство бизнеса и бюджетных организаций. Предполагается, что, основными спонсорами, источником средств для покупки дорогостоящего оборудования, станут частные компании.

*А в чём их интерес?*

С моей точки зрения, тут есть некоторая спекулятивная составляющая. Предполагается, что тем самым компания сможет компенсировать свои выбросы. Эта

система уже действует, в частности, этим уже занимаются угольные компании, например, СУЭК.

И первый карбоновый полигон в Калужской области, как раз, строго говоря, и был профинансирован именно по такому варианту.

*И что собою представляет типичный карбоновый полигон?*

Это некая территория, где проводятся научные исследования. В той же Калужской области это зарастающие лесом сельскохозяйственные поля. Там есть и обрабатываемое поле, и участки молодого леса, над ними постоянно летают дроны, интенсивно измеряющие спектральные характеристики поверхности.

А дальше исследователи пытаются установить соответствие между спектральными характеристиками и обменом CO<sub>2</sub>.

Это тестовый участок, полигон, и здесь, как раз, надо различать карбоновые фермы и карбоновые полигоны. Сейчас карбоновые фермы – это понятие, входящее в программу карбоновых полигонов.

Чем отличается ферма от полигона? Полигон – это средство исследования и объект исследования. А ферма – это то, где разрабатываются те самые технологии поглощения. И с этим пока намного сложнее.

Потому, что, что такое технологии поглощения? Посадить лес и смотреть? Ну, наверно, правильно. Либо (технологии) обработки почвы? Т.е. ферма – это некий эксперимент, где дополнительное поглощение обеспечивается за счёт активной манипуляции со стороны человека.

А полигон – это давно существующий объект: лес, болото, травянистые экосистемы, где стоит задача точного определения баланса парниковых газов.

*У меня сразу возникает также, возможно, чисто дилетантский образ: ферма – это когда огораживается какой-то участок земли, там начинают, например, выращивать какие-то быстрорастущие деревья, активно поглощающие углерод, а потом, допустим, когда они вырастут, их срубают и сажают новые...*

Это, скажем так, один из вариантов. На самом деле, в молодости, в начале 1990-х, я на полном серьёзе хотел разработать систему выращивания осины и затопления её в Мировом океане...

*Это утопия? Почему бы и нет?*

Здесь такая ситуация... Как раз тогда активно прорабатывались вопросы захоронения CO<sub>2</sub>. Понятно, что на выбросах мощных электростанций и промышленных предприятий можно CO<sub>2</sub> улавливать. Это, как раз, carbon capture and storage. Но куда дальше этот CO<sub>2</sub> девать? Есть вариант закачивать его обратно в землю, в те же ёмкости, что образуются при добыче каменного угля или природного газа. А другой вариант был провести трубу на 1,5 км в океан. Но с океаном решили не шутить, поскольку посчитали, что тут возможно слишком много непредсказуемых последствий для глобальной экологической системы. С осинкой, наверно, то же...

И сейчас, взгляды последнего десятилетия (Россия в этом смысле страна относительно архаичная) заключаются в создании своего рода биоэкономики – использования лесов не просто для, скажем, сжигания пеллет и т.д., а просто для расширения использования древесины в разных отраслях экономики – например, строительства деревянных домов (что для России, впрочем, неудивительно).

Тем самым мы экономим ископаемое топливо – 1 кг продукции из древесины позволяет сэкономить до 7 кг ископаемого топлива, если мы учитываем весь технологический или энергетический цикл. Правильнее просто использовать углерода древесины, чем закапывать его под землю.

Но мы по-прежнему все боремся за повышение поглощения углерода лесами, хотя бороться на самом деле надо немножко за другое.

*Возвращаясь к карбоновым полигонам и фермам – из СМИ у меня сложилось впечатление, возможно, ошибочное, что при разработке и реализации этой программы профессионалы оказались отодвинуты в сторону, что а priori рождает некоторое недоверие ко всему этому проекту... В принципе, с Вашей точки зрения, это действительно полезный проект?*

Я бы не сказал, что специалисты были отодвинуты. Создание того же экспертного совета... Там несколько десятков человек, многие из них мне достаточно хорошо знакомы. Это отрядный путь, это не люди, пришедшие ниоткуда, это люди, с которыми я пересекался на протяжении последних десятилетий, действительно грамотные известные имена. И, в том числе, благодаря этому перевес идёт в сторону именно карбоновых полигонов. Может быть, потому, что, в основном, это люди, которые занимались мониторингом, сейчас внимание к фермам несколько меньше.

И, как я уже говорил, с фермами намного сложнее. Полигоны уже есть, а фермы включены в программу, но проработанной технической документации по фермам я, например, не видел. О них пока только идут разговоры.

## Литература

1. Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Курц В. А. Влияние объемов лесопользования на углеродный баланс лесов России: прогнозный анализ по модели cbm-cfs3 // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. — 2014. — № 1. — С. 5–18.
2. United Nations Framework Convention on Climate Change. URL: <https://clck.ru/VtLRX>.
3. The Paris Agreement. URL: <https://clck.ru/V7PNB>.
4. Замолодчиков Д.Г. Естественная и антропогенная компоненты современного потепления климата // Доклад на семинаре «Причины изменений климата и вес антропогенной составляющей: модели и результаты. Оценки роли парниковых газов в изменениях климата». Организаторы: НИЛВИЭ географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и Исследовательская ассоциация CENTERO. URL: <https://clck.ru/VtLcW>.
5. Федоров В.М., Сидоренков Н.С. Изменчивость температуры поверхности океана в северном полушарии и Североатлантическая осциляция в связи с приходящей солнечной радиацией // Электронный ресурс "Солнечная радиация и климат Земли". 2015. URL: <http://solar-climate.com/geo/amo.htm>
6. Шрайбер В.М. Из истории исследований парникового эффекта земной атмосферы // «Биосфера», 2013, т.5, №1, с.37-46.
7. Эксперт: России необходимо монетизировать свой потенциал в секвестрации углеродов. ТАСС, 23.09.2020. URL: <https://tass.ru/obschestvo/9525467>

## References

1. Zamolodchikov D. G., Grabovskij V. I., Kurc V. A. Vliyanie ob'emov lesopol'zovaniya na uglerodnyj balans lesov Rossii: prognoznyj analiz po modeli cbm-cfs3 // Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozyajstva. — 2014. — № 1. — S. 5–18.
2. United Nations Framework Convention on Climate Change. URL: <https://clck.ru/VtLRX>.
3. The Paris Agreement. URL: <https://clck.ru/V7PNB>.
4. Zamolodchikov D.G. Estestvennaya i antropogennaya komponenty sovremennogo potepleniya klimata // Doklad na seminare «Prichiny izmenenij klimata i ves antropogennoj sostavlyayushchej: modeli i rezul'taty. Ocenki roli parnikovyh gazov v izmeneniyah klimata». Organizatory: NILVIE geograficheskogo fakul'teta MGU im. M.V. Lomonosova i Issledovatel'skaya asociaciya CENTERO. URL: <https://clck.ru/VtLcW>.
5. Fedorov V.M., Sidorenkov N.S. Izmenchivost' temperatury poverhnosti okeana v severnom polusharii i Severoatlanticheskaya oscillyaciya v svyazi s prihodyashchej solnechnoj radiacijey // Elektronnyj resurs "Solnechnaya radiaciya i klimat Zemli". 2015. URL: <http://solar-climate.com/geo/amo.htm>
6. Shrajber V.M. Iz istorii issledovanij parnikovogo effekta zemnoj atmosfery // «Biosfera», 2013, t.5, №1, s.37-46.
7. Ekspert: Rossii neobhodimo monetizirovat' svoj potencial v sekvestracii uglerodov. TASS, 23.09.2020. URL: <https://tass.ru/obschestvo/9525467>

## Carbon Cycle and Climate Change

<sup>1</sup>Zamolodchikov Dmitry

<sup>1</sup> Center for Forest Ecology and Productivity of Russian Academy of Sciences (RAS), Moscow, Russia

<sup>1</sup>E-mail: dzamolod@cepl.rssi.ru

**Abstract.** The article presents an interview of the deputy editor-in-chief of the journal Environmental, Earth and Energy Study K. Degtyarev with a Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Center for Ecology and Forest Productivity of Russian Academy of Sciences Dmitry Zamolodchikov. Topics under discussion: carbon balance in the environment and methods for its assessment, causes of climate change, observation of greenhouse gas emissions, creation of carbon polygons and farms in Russia.

**Keywords:** forest, carbon, carbon dioxide, greenhouse gases, climate, climate change, carbon polygons, carbon farms.

УДК 349.6

## Правовые проблемы конкурсного отбора для включения в схему размещения генерирующих объектов ВИЭ

<sup>1,2</sup> Попова Елена Николаевна [0000-0003-4229-6586]<sup>1</sup> Университет «Лазурный Берег», Франция, Ницца<sup>2</sup> НИЛ ВИЭ Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: arbitr.popova@gmail.com

**Аннотация.** В статье с юридической точки зрения рассматривается проблематика функционирования системы конкурсного отбора государством предприятий-участников рынка ВИЭ для целей последующего включения их в схему размещения генерирующих объектов ВИЭ и возникновения у них права на получение государственной поддержки. Автором рассмотрены критерии государственного отбора, порядок и условия его проведения на региональном уровне, требования и критерии отбора инвестиционных проектов на примере Республики Башкортостан. По итогам рассмотрения и анализа вышеуказанных вопросов, автором установлены основные практические проблемы реализации данной системы конкурсного отбора и даны рекомендации по их устранению на законодательном уровне.

**Ключевые слова:** конкурсный отбор, схема размещения генерирующих объектов, энергетика, энергоэффективность, возобновляемая энергетика, право, юриспруденция, юрист, законодательство, государственная поддержка, инвестиционный проект.

### 1 Введение

Энергетическая политика РФ в отношении ВИЭ предусматривает развитие данной отрасли поэтапно с целью координации с социально-экономическим развитием государства в целом.

Так, Энергетическая стратегия РФ на период до 2030 года [1], предусматривает три этапа реализации государственной энергетической политики. Только Второй этап «переход к инновационному развитию» и третий этап «развитие инновационной экономики», которые реализуются в период 2015 – 2030 гг., предусматривают государственную поддержку возобновляемой энергетики.

В свою очередь, такая государственная поддержка избирательна и оказывается государством не всем предприятиям ВИЭ.

## 2 Целевые показатели

Государственная поддержка ограничивается Целевыми показателями величин объемов ввода установленной мощности генерирующих объектов по видам возобновляемых источников энергии [2], которые ежегодно устанавливаются Правительством РФ с целью реализации указанных этапов государственной энергетической политики.

**Таблица 1.** Целевые показатели величин объемов ввода установленной мощности генерирующих объектов по видам возобновляемых источников энергии

Виды генерирующих объектов. Генерирующие объекты, функционирующие на основе:	2014-2020	2021	2022	2023	2024	Всего
энергии ветра	1 701	500	500	500	182,6	3 383,6
фотоэлектрического преобразования энергии солнца	1 434,2	162,6	162,6	99,5	99,5	1 958,4
энергии вод, установленной мощностью менее 25 МВт	86,5	24,9	34,9	48,7	15	210
Итого	3 221,7	687,5	697,5	648,2	297,1	5 552

Так, согласно указанным Целевым показателям, в период с 2014 года по 2024 год планируется ввести в эксплуатацию: 1) ветровые электростанции (ВЭС) – 3383,6 МВт; 2) солнечные электростанции (СЭС) - 1958,4 МВт; 3) малые ГЭС мощностью менее 25 МВт – 210 МВт; 4) прочие ВИЭ – 0 (ноль) МВт. Это означает, что государство заинтересовано во вводе ежегодно в эксплуатацию только ограниченного объема мощностей генерирующих объектов, функционирующих на ВИЭ.

Соответственно государство отбирает предприятия ВИЭ, которые обеспечат запланированный объем мощности, путем процедуры квалификации (аккредитации), а для торговли энергией на розничных рынках - дополнительно посредством прохождения конкурса по включению предприятия в схему развития электроэнергетики региона.

## 3 Схема размещения генерирующих объектов

Учет таких предприятий производится путем их внесения в Схему размещения генерирующих объектов электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на территории Российской Федерации [3], в которой отражаются по регионам РФ все генерирующие объекты, прошедшие процедуру квалификации, конкурсный отбор и имеющие правовое основание для получения государственной помощи.

**Таблица 2.** Фрагмент Схемы размещения генерирующих объектов электроэнергетики на основе использования ВИЭ на территории РФ (Центральный федеральный округ)

Наименование генерирующего объекта	Место расположения генерирующего объекта	Вид используемого возобновляемого источника энергии
Центральный федеральный округ		
Биогазовая электростанция	Белгородская обл., Борисовский район	биогаз
Ветровая электростанция	Белгородская обл., Яковлевский район, х. Крапивенские двory	энергия ветра
Солнечная электростанция	Белгородская обл., Яковлевский район, х. Крапивенские двory	энергия солнца
Тверецкая ГЭС	Тверская обл.	энергия воды
Рыбинская ГЭС	Ярославская обл, г. Рыбинск, Волжско-Камский каскад, р. Волга	энергия воды
Угличская ГЭС	Ярославская обл, г. Углич, р. Волга	энергия воды

#### 4 Критерии государственного отбора генерирующих объектов

Чем руководствуется государство при выборе конкретных предприятий ВИЭ?

Из анализа положений Раздела III «Основных направлений государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года» [4] следует, что отбор предприятий ВИЭ для их деятельности в определенном регионе страны и включение их генерирующих объектов в указанную Схему осуществляется государством, исходя из учета производственных сил, перспективы социально-экономического развития конкретного региона и ресурсной базы.

Это означает, что государство при выборе предприятий для оказания государственной помощи исходит из регионального аспекта: необходимости размещения в конкретном регионе того или иного генерирующего объекта ВИЭ, функционирующего на конкретном источнике энергии.

Одним из критериев квалификации (аккредитации) генерирующих объектов предприятий ВИЭ является включение генерирующего объекта в схему и программу перспективного развития электроэнергетики субъекта Российской Федерации, на территории которого он расположен.

В свою очередь, генерирующие объекты, включенные в региональную схему, отражаются в общей Схеме размещения генерирующих объектов ВИЭ на территории РФ [5].

В соответствии с п. 28 (1) Постановления Правительства РФ от 17.10.2009 N 823 [6], включение генерирующего объекта ВИЭ, в отношении которого продажа электрической энергии (мощности) планируется на розничных рынках, в схему развития электроэнергетики региона осуществляется на конкурсной основе.

## **5 Порядок и условия проведения конкурсных отборов**

Порядок и условия проведения конкурсных отборов, а также требования к соответствующим инвестиционным проектам и критерии их отбора устанавливаются органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации. Законодательство предоставило региональным властям право самостоятельно принимать решения о поддержке генерирующих объектов ВИЭ, исходя из их экономической и экологической целесообразности.

В качестве примера, рассмотрим требования к инвестиционным проектам ВИЭ и участникам отбора, а также критерии отбора, которые установлены Правительством Республики Башкортостан.

Согласно п. 14 Постановления Правительства Республики Башкортостан от 29 марта 2017 года N 124 [7], участниками конкурсного отбора могут быть юридические лица и индивидуальные предприниматели, соответствующие следующим требованиям:

отсутствие проведения процедуры ликвидации, банкротства или реорганизации путем разделения или слияния;

отсутствие приостановления деятельности в установленном законодательством порядке;

отсутствие задолженности по уплате налогов, сборов и иных обязательных платежей в бюджеты бюджетной системы Российской Федерации за прошедший календарный год, размер которой превышает 25 процентов балансовой стоимости активов заявителя, по данным бухгалтерской отчетности за последний отчетный период.

## **6 Требования к инвестиционным проектам**

Требования к инвестиционным проектам ВИЭ (согласно Приложению №1 к Постановлению):

1) реализация инвестиционного проекта должна обеспечивать минимизацию роста цен (тарифов) на электрическую энергию (мощность) для конечных потребителей розничного рынка электроэнергии Республики Башкортостан.

2) параметры инвестиционного проекта в части прогнозных объемов производства электрической энергии (мощности) не должны превышать одного из значений, указанных в Приложении №1.

- 3) реализация инвестиционного проекта должна обеспечивать:
- минимизацию экологического ущерба;
  - решение социальных задач на территории его реализации.
- 4) инвестиционный проект должен предусматривать определенный вид генерирующего объекта, функционирующего на основе ВИЭ; определенное территориальное расположение генерирующего объекта на территории Республики Башкортостан; определенные сроки ввода генерирующего объекта в эксплуатацию; определенный плановый объем установленной мощности генерирующего объекта, который не может превышать 5 МВт.
- 5) инвестиционный проект должен предусматривать строительство генерирующего объекта ВИЭ в виде отдельного энергоблока электростанции или иного технологически обособленного генерирующего объекта, который не отбирался ранее в рамках конкурсных отборов.
- 6) параметры инвестиционного проекта не должны превышать предельной величины капитальных затрат на возведение 1 кВт установленной мощности генерирующего объекта, установленной Правительством Российской Федерации для соответствующего вида генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии, в отношении соответствующего календарного года ввода в эксплуатацию генерирующего объекта и диапазона установленной мощности, к которому относится генерирующий объект.

## 7 Критерии отбора инвестиционных проектов

Критерии отбора инвестиционных проектов (Приложение №2 к Постановлению):

- 1) плановая величина капитальных затрат на возведение 1 кВт установленной мощности генерирующего объекта ВИЭ, заявленная участником конкурсного отбора;
- 2) плановая расчетная себестоимость производства электрической энергии (мощности) (в расчете на один киловатт-час);
- 3) плановый срок реализации инвестиционного проекта до ввода генерирующего объекта в эксплуатацию;
- 4) плановый срок возврата инвестированного капитала;
- 5) базовый уровень нормы доходности капитала;
- 6) наличие информации о влиянии инвестиционного проекта на минимизацию экологического ущерба и решение социальных задач на территории его реализации с приложением обосновывающих (подтверждающих) документов, материалов и сведений.

## 8 Выводы

Анализируя вышеуказанные требования к участникам и инвестиционным проектам, а также критерии отбора, можно сделать следующий вывод. Требования к

участникам достаточно четкие, однозначные и предсказуемые. Что касается, требований к инвестиционным проектам и критериям их отбора, то они имеют оценочный характер. Ведь, к примеру, участнику конкурса нужно доказать определенными документами и пояснениями, минимизирует ли его проект экологический ущерб, решает ли социальные задачи региона или нет. Указанные требования достаточно абстрактные, и непонятно, из чего исходят конкурсная комиссия, когда решает, что один проект минимизирует экологический ущерб, а другой – нет. В данном случае все решается на усмотрение комиссии, что не исключает риск коррумпированности процедуры конкурсного отбора. Ведь формально можно не пройти конкурсный отбор с формулировкой, что проект не соответствует требованию о решении социальных задач региона, к примеру, либо ввиду несоответствия проекта иному абстрактному критерию.

Ситуация также усугубляется тем, что каждый регион может устанавливать свои критерии отбора. В таком случае процедура конкурсного отбора непрозрачна и непредсказуема. Нельзя заранее предугадать, выполнив все требования конкурса, будет ли отобран инвестиционный проект либо нет.

## 9 Заключение

Для решения данной проблемы необходимо установить на федеральном уровне ряд четких и прозрачных требований к критериям конкурсного отбора, которые бы брались за основу при разработке региональных критериев и соответствовали бы федеральным требованиям, дополняли и конкретизировали их.

Необходимость этого обосновывается тем, что, не пройдя конкурсный отбор для включения в схему и программу перспективного развития электроэнергетики субъекта РФ, предприятие ВИЭ не сможет далее участвовать в процедуре квалификации генерирующего объекта ВИЭ и соответственно претендовать на государственную поддержку. Достаточно на региональном уровне «заблокировать» путь предприятия ВИЭ путем отказа в прохождении указанного конкурса, как предприятие теряет дальнейшую возможность получить поддержку своей деятельности от государства.

**Благодарность.** Статья выполнена при научном руководстве Соловьева Александра Алексеевича, д. физ.-мат. н., профессора, академика РИА (НИЛ ВИЭ Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова) при участии Дегтярева Кирилла Станиславовича, к. геогр. н. (НИЛ ВИЭ Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова).

## Литература

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2030 года».

2. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р (ред. от 19.07.2019) «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года», Приложение №1.
3. Приказ Минэнерго России от 29.07.2011 N 316 (ред. от 19.04.2012) "Об утверждении схемы размещения генерирующих объектов электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на территории Российской Федерации" (Зарегистрировано в Минюсте России 08.11.2011 N 22236).
4. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р (ред. от 19.07.2019) «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года», Раздел III.
5. Приказ Минэнерго России от 29.07.2011 N 316 (ред. от 19.04.2012) "Об утверждении схемы размещения генерирующих объектов электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на территории Российской Федерации" (Зарегистрировано в Минюсте России 08.11.2011 N 22236).
6. Постановление Правительства РФ от 17.10.2009 N 823 (ред. от 13.08.2018) "О схемах и программах перспективного развития электроэнергетики" (вместе с "Правилами разработки и утверждения схем и программ перспективного развития электроэнергетики").
7. Постановление Правительства Республики Башкортостан от 29 марта 2017 года № 124 «О порядке проведения конкурсных отборов по включению генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии, в отношении которых продажа электрической энергии (мощности) планируется на розничном рынке электроэнергии, в схему и программу перспективного развития электроэнергетики Республики Башкортостан».

## References

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 13 noyabrya 2009 g. № 1715-r «Ob utverzhdenii Energeticheskoy strategii Rossii na period do 2030 goda».
2. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 08.01.2009 N 1-r (red. ot 19.07.2019) «Ob osnovnykh napravleniyakh gosudarstvennoy politiki v sfere povysheniya energeticheskoy effektivnosti elektroenergetiki na osnove ispol'zovaniya vozobnovlyаемых источников энергии na period do 2024 goda», Prilozhenie №1.
3. Prikaz Minenergo Rossii ot 29.07.2011 N 316 (red. ot 19.04.2012) "Ob utverzhdenii skhemy razmeshcheniya generiruyushchih ob"ektov elektroenergetiki na osnove ispol'zovaniya vozobnovlyаемых источников энергии na territorii Rossijskoj Federacii" (Za-registrirovano v Minyuste Rossii 08.11.2011 N 22236).
4. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 08.01.2009 N 1-r (red. ot 19.07.2019) «Ob osnovnykh napravleniyakh gosudarstvennoy politiki v sfere povysheniya energeticheskoy effektivnosti elektroenergetiki na osnove ispol'zovaniya vozobnovlyаемых источников энергии na period do 2024 goda», Razdel III.
5. Prikaz Minenergo Rossii ot 29.07.2011 N 316 (red. ot 19.04.2012) "Ob utverzhdenii skhemy razmeshcheniya generiruyushchih ob"ektov elektroenergetiki na osnove ispol'zovaniya vozobnovlyаемых источников энергии na territorii Rossijskoj Federacii" (Za-registrirovano v Minyuste Rossii 08.11.2011 N 22236).

6. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 17.10.2009 N 823 (red. ot 13.08.2018) "O skhemah i programmah perspektivnogo razvitiya elektroenergetiki" (vmeste s "Pravilami razrabotki i utverzheniya skhem i programm perspektivnogo razvitiya elektroenergetiki").
7. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Bashkortostan ot 29 marta 2017 goda № 124 «O porjadke provedeniya konkursnyh otborov po vklyucheniyu generiruyushchih ob'ektov, funkcioniruyushchih na osnove ispol'zovaniya vozobnovlyаемых istochnikov energii, v otnoshenii kotoryh prodazha elektricheskoy energii (moshchnosti) planiruetsya na roz-nichnom rynke elektroenergii, v skhemu i programmu perspektivnogo razvitiya elektroenergetiki Respubliki Bashkortostan».

## **The Legal Problems of Competitive Selection for Inclusion in Scheme of Placing of Generating Objects of Renewable Energy**

Popova Elena <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Université Côte d'Azur, Batiment M, 28 Avenue de Valrose 06108 Nice CEDEX 2, France,

<sup>2</sup> Research Laboratory of Renewable Energy, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University

**Abstract.** From the legal point of view, the article examines the problems of the functioning of the system of competitive selection by the state of enterprises participating in the renewable energy market for the purpose of their subsequent inclusion in the scheme of renewable energy generating facilities and their right to receive state support. The author considers the criteria for state selection, the procedure and conditions for its implementation at the regional level, the requirements and selection criteria for investment projects using the example of the Republic of Bashkortostan. Based on the results of consideration and analysis of the above issues, the author has identified the main practical problems of the implementation of this competitive selection system and gives recommendations on how to address them at the legislative level.

**Keywords:** competitive selection, scheme of generating facilities, energy, energy efficiency, renewable energy, law, jurisprudence, lawyer, legislation, state support, investment project.

УДК: 52-6; 551.581; 551.583

## СОЛЯРНАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

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

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

E-mail: fedorov.msu@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлено интервью зам. главного редактора журнала «Окружающая среда и энергосистемы» К.С. Дегтярева с ведущим научным сотрудником Научно-исследовательской лаборатории геоэкологии Севера географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, кандидатом географических наук Валерием Михайловичем Фёдоровым. Обсуждаемая тема – теории и причины изменений глобального климата. Автор считает, что климат меняется, прежде всего, в силу естественных причин, и выдвигает теорию, названную им Солярной теорией изменения климата (СТИК).

**Ключевые слова:** климат, глобальный климат, изменения климата, экология, солнечная радиация, орбитальные параметры Земли, Солнечная система, солярная теория изменений климата

Климат – важнейшая характеристика природной среды обитания человека и общества, поэтому исследование изменений глобального климата является одной из важнейших научных и практических проблем. Эта проблема определяется необходимостью прогнозирования последствий климатических изменений для природной среды, человека и общества. Наиболее важным в проблеме исследования и прогнозирования изменений климата и связанных с ними последствий является вопрос о причинах, вызывающих эти изменения [1, 2 – 4]. Среди возможных причин формирования и изменения климата основными считаются солнечная радиация, парниковый эффект планеты, вулканическая деятельность и механизмы теплообмена.

Солнечная радиация является основным источником энергии, определяющим радиационный и тепловой баланс Земли. С широтными особенностями распределения солнечной радиации связано расположение климатических поясов (широтная зональность). С изменением радиационного тепла с высотой связана высотная поясность. В древности Гиппархом (древнегреческий астроном, географ и математик II-го века до нашей эры) было дано объяснение годовой смене климатических сезонов. Эта смена объяснялась изменением наклона падения солнечных

лучей, связанным с орбитальным движением Земли и наклоном оси ее вращения («климат» в переводе с греческого языка означает – «наклон»). Кроме этого, отмечаются межгодовые и многолетние изменения климата, причины которых пока однозначно не определены.

В регулировании поступления солнечной радиации к Земле (без учета атмосферы) и распределении ее по земной поверхности (солярный климат Земли) выделяются два механизма, имеющие различную физическую природу. Один механизм связан с изменением активности Солнца. Другой механизм определяется небесно-механическими процессами, изменяющими элементы земной орбиты (расстояние Земля – Солнце, продолжительность тропического года и др.), наклон оси вращения и связанные с ними изменения в поступлении солнечной радиации и ее распределении по широтам и сезонам.

В перераспределении радиационного тепла в природной системе Земли (в атмосфере и океане) участвуют механизмы: межширотного теплообмена (меридионального переноса тепла от экваториальной области к полярным районам – «тепловая машина первого рода»), теплообмена в системе океан – материк, связанного с реверсивной сезонной сменой областей холода и тепла («тепловая машина второго рода»), теплообмена в системе океан – атмосфера, межполушарный теплообмен и др. [5,6]. Важным фактором в регулировании термического режима Земли является состав атмосферы (прежде всего, содержание  $H_2O$ ), определяющий величину альбедо (отражения приходящей от Солнца коротковолновой радиации), роль парникового эффекта планеты и ее изменение [2, 4].

В XX веке отмечена тенденция повышения глобальной приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) и температуры поверхности океана (ТПО), однако причины этого однозначно не определены. Широко распространено мнение о том, что основной причиной изменения глобального климата является парниковый эффект, связанный, главным образом, с эмиссией парниковых газов, определяемой антропогенным фактором [7]. В то же время, не подвергается сомнению то, что солнечная радиация имеет важнейшее значение в генезисе климата и в развитии жизни на Земле [1, 2–4, 5, 6, 8, 9].

В связи с этим мы публикуем интервью зам. главного редактора журнала «Окружающая среда и энергосодержание» К.С. Дегтярева с автором солярной теории изменения климата, ведущим научным сотрудником Научно-исследовательской лаборатории геоэкологии Севера географического факультета МГУ им. Ломоносова, кандидатом географических наук Валерием Михайловичем Фёдоровым. Обсуждаемая тема – причины изменений глобального климата.

В.М. Фёдоров придерживается точки зрения, что изменения глобального климата определяются радиационными факторами, регулируемые характеристиками орбитального движения Земли и наклоном оси ее вращения. В Солярной теории изменения климата (или просто солярной теории климата), рассматриваются вариации приходящей солнечной радиации по широтам и сезонам, а также характеристики инсоляции, регулирующие механизмы теплообмена. Изменение инсоляционных характеристик связано с изменением орбитального движения Земли (расстояние Земля – Солнце, склонение) и наклона оси ее вращения. Важ-

нейшим фактором изменения глобального климата является меридиональный перенос радиационного тепла, усиление которого связано с уменьшением наклона оси. Характеристикой меридионального переноса радиационного тепла является инсоляционная контрастность – разность солнечной радиации, поступающей в область, являющуюся источником тепла ( $0^{\circ} - 45^{\circ}$ ), и радиацией, приходящей в область стока тепла ( $45^{\circ} - 90^{\circ}$ ).

Инсоляционная контрастность обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражает изменение меридионального градиента инсоляции. Межполушарный теплообмен регулируется инсоляционной сезонностью Земли, а теплообмен в системе океан – атмосфера, связанный с сезонной сменой областей источника и стока тепла определяется инсоляционной сезонностью полушарий.

Информационная и методологическая основа теории – выполненные В.М. Фёдоровым совместно с А.А. Костиным расчёты инсоляции с высоким пространственным и временным разрешением и детальное исследование солярного климата Земли.



Рис. 1. В.М. Фёдоров

*Валерий Михайлович, отчего, всё-таки, меняется климат? И, в частности, с чем связано текущее глобальное потепление?*

Ответ на первый вопрос есть во всех учебниках климатологии. По двум основным причинам. Одна связана с солнечной радиацией, без которой вопрос о климате потерял бы всякую актуальность. Другая связана с парниковым эффектом планеты. При этом известно, что основным парниковым газом является водяной пар. Это и понятно, Земля – планета водная, около 70% ее поверхности занято океанами и морями, из которых испаряется влага. И, конечно, известен гидрологический цикл – круговорот воды в природе. Фазовые переходы воды в пар или лед и обратно происходят с выделением или поглощением тепла. Так вот, изменения глобального климата связаны, прежде всего, с этими факторами. Кроме этого, тектоника, вулканизм, возможно, скорость осевого вращения Земли и др.

На второй вопрос можно ответить так. Современное потепление глобального климата определяется усилением меридионального переноса тепла из экваториальной области в полярные районы. Эта тенденция началась около 10 тыс. лет назад, и ею определяется климат современного межледникового (голоцена). Эта тенденция потепления усиливалась в позднем голоцене (например, малый климатический оптимум) или ослаблялась (например, малый ледниковый период). Усиление потепления было связано с максимумом межполушарного теплообмена и максимальной зимней инсоляционной контрастностью в Северном полушарии (около 1000 г. н.э.). Ослабление определялось минимумом летней инсоляции в Северном полушарии (около 1550 г.). Усиление меридионального переноса тепла, связанного с уменьшением наклона оси, сопровождается положительными обратными связями. Так, адвекция тепла из низких широт в высокие широты приводит к потеплению в области стока тепла. Следствием этого является увеличение испарения и содержания водяного пара в атмосфере, что приводит к усилению парникового эффекта и дополнительному потеплению, которое вновь приводит к увеличению испарения и т.д. Инсоляционной контрастностью в регрессионной модели определяется приблизительно 70–75% многолетних изменений приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) и температуры поверхности океана (ТПО). С учетом Климатической мультидекадной осцилляции (с периодом около 60 лет) регрессионная модель объясняет более 85% наблюдаемых изменений ПТВ и ТПО.

*Сейчас, можно сказать, господствующая концепция – глобального потепления, идущего с беспрецедентно большой скоростью, и связанного, прежде всего, с антропогенным фактором. Мне интересно, во-первых, в чём именно её научное обоснование? Просто корреляционная взаимосвязь потепления и роста эмиссии парниковых газов? И, если научная основа этой концепции слаба, почему и как она победила?*

Я бы не стал говорить о беспрецедентно большой скорости. За 100 лет глобальная температура изменилась приблизительно на 1 градус. Утверждать, что это беспрецедентная скорость, я бы не стал.

Хотел бы сразу сослаться на свою статью в журнале «Политика и общество». Она называется «Политика в области климата и вопросы национальной безопасности Российской Федерации» [10].

Там всё описано. Парниковый эффект обнаружил Жан-Батист Фурье ещё в начале XIX века. Далее, уже в конце позапрошлого столетия, последовало предположение Сванте Аррениуса, что парниковый эффект может быть связан с двуокисью углерода. А в конце 1930-х Гай Стюарт Каллендер (Guy Stewart Callendar) на основе имевшихся тогда данных о росте содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере и его выбросах при сжигании топлива, предположил, что парниковый эффект и потепление климата может иметь антропогенное происхождение [11].

Да, это была силлогическая конструкция, умозрительное предположение, на тот момент не встретившее понимание научного сообщества, тем более, что в 1940-е – начале 1950-х потепление сменилось похолоданием, притом, что антропогенная эмиссия CO<sub>2</sub> продолжала расти. Однако эта идея была реанимирована несколько десятилетий спустя, причём, при активном участии политиков, например, таких, как бывший вице-президент США Альберт Гор. Физической основы для климата это не имеет, поскольку по содержанию и по удержанию тепла водяной пар превосходит двуокись углерода, связанную с деятельностью человека, на три порядка. Эти представления, основанные только на предположениях (Аррениуса и Календер), широко распространены. Думаю потому только, что это кому-то нужно.

Отметим, что и ИРСС – ведущая организация, продвигающая идею главной роли антропогенного фактора в потеплении, финансируется Государственным департаментом США в объёме приблизительно \$ 10-12 млн. в год. Во всяком случае, такая информация есть в интернете.

*Я заметил некоторое изменение «риторики» в последнее время. Заговорили о том, что, хотя были тёплые периоды, теплее нынешнего, в прошлом – и, разумеется, без антропогенного воздействия, но такого резкого потепления не было никогда...*

Можно посмотреть и оценить, каковы темпы этого потепления. Есть несколько массивов температурных данных. Наиболее известные в нашей стране, например, массивы данных Университета Восточной Англии (University of East Anglia) и Национального управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) США.

Ничего там страшного нет. Берутся средние земные температуры за период 1961-1990 гг., и от него отсчитываются аномалии. Эти аномалии за 100 с небольшим лет находятся в пределах 1<sup>0</sup> для атмосферы и ещё чуть менее для океана. Много говорят об этом. Но надо исходить из реальных оценок темпов потепления и, исходя из этого, оценивать дальнейшие изменения климата и их последствия. Однако, это возможно, если известны причины изменения климата. Антропогенный CO<sub>2</sub> таковой не является. И выбросы – это проблема не климатическая, а экологическая.

*А что, в принципе, понимается под температурой Земли, и что именно имеют в виду, когда говорят, что она растёт?*

Методика расчёта следующая. В настоящее время за основу принят период 1961-1990 гг. (хотя его можно сдвигать в прошлое или будущее). Для этого периода по данным метеостанций рассчитываются средние температуры воздуха

по широтным зонам (на высоте 2 метра над землёй - высота будки на метеостанции), затем они умножаются на косинус средней широты зоны (поскольку площади с повышением широты уменьшаются), далее берётся среднее значение, которое делится на косинус 450. Это расчёты по данным непосредственных наблюдений. А реконструированные температуры прошлых эпох получают по совокупности косвенных методов; например, используется спорово-пыльцевой анализ, хотя, конечно, это более грубая оценка на основе косвенных признаков. Так вот, в настоящее время приповерхностные температуры Земли и полушарий превышают соответствующие нормы – ПТВ Земли и полушарий, характерные для периода 1961-1990 гг.

*В чём суть Вашего подхода к объяснению изменений климата, и что в нём нового?*

Подход основывается на представлениях о том, что изменения глобального климата определяются глобальными причинами. Эти причины – гравитационное взаимодействие – изменяющее характеристики орбитального движения Земли, наклон оси и скорость осевого вращения нашей планеты. И электромагнитное взаимодействие – или солнечная радиация, приход и распределение которой по широтам и сезонам зависит от орбитальных характеристик Земли, наклона оси ее вращения. Это логично. Смена климатических сезонов связана с тем, что ось вращения имеет наклон. С изменением угла наклона связаны многолетние изменения климата, как показали наши исследования. Я уже упоминал о 75-85% объясняемой инсоляционной контрастностью изменчивости ПТВ и ТПО. Инсоляционная контрастность, отражающая изменение меридионального градиента инсоляции, которым регулируется перенос тепла в системе океан – атмосфера, линейно связана с углом наклона оси.

Чтобы получить результат, объясняющий изменения температурного режима глобального климата пришлось выполнить, во-первых, расчеты инсоляции с высоким пространственным и временным разрешением (понятно, что солнечная радиация – основной источник энергии гидрометеорологических процессов).

Расчеты инсоляции - задача интересная. Первоначально, 100 лет назад их выполнил Милутин Миланкович на основе учета трёх астрономических параметров: эксцентриситета, долготы перигелия и наклона оси (рис. 2). Затем это повторяли его последователи (Шараф, Будникова, Вернекар, Берже, Ласкар и др.) с учетом появления новых данных в теории возмущений и открытия новых небесных тел в Солнечной системе. Но это низкочастотные вариации. Периоды изменений астрономических параметров и связанных с этим вариаций инсоляции длительны: для эксцентриситета это около 90 тыс. лет, для наклона оси – 40 тыс. лет, для долготы перигелия – от 19 до 24 тыс. лет.

Однако, климатические выводы основывались только на учёте приходящей солнечной радиации, причём только за летний период и только на 65-ю широту

(650 с.ш.). Расчеты выполнялись и на некоторые другие параллели, но климатическая схема, связывающая солярный климат с глобальным, оставалась прежней.

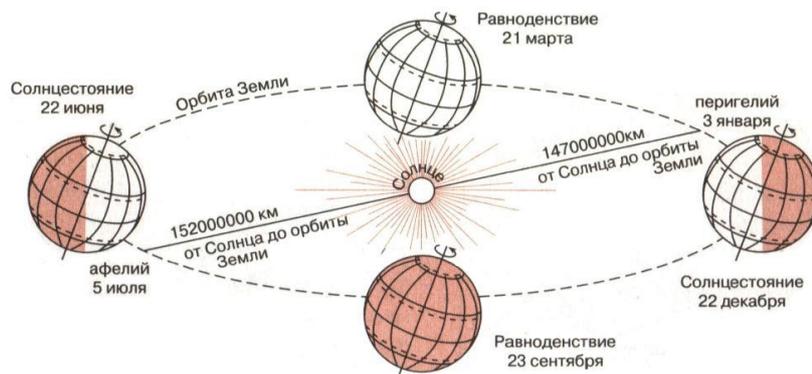


Рис. 2. Орбитальное движение Земли в современную эпоху

Первоначально результаты расчетов инсоляции согласовывались с данными Вальтера Пенка и Эдуарда Брикнера по периодам альпийских оледенений (рис.3): Гюнц, Миндель, Рисс, Вюрм (русские аналоги: Окское, Днепровское, Московское и Валдайское оледенения). Но позже, с появлением методов абсолютного датирования, обнаружилась рассогласованность, и схема потеряла свою актуальность, но, тем не менее, сохранила свою привлекательность.

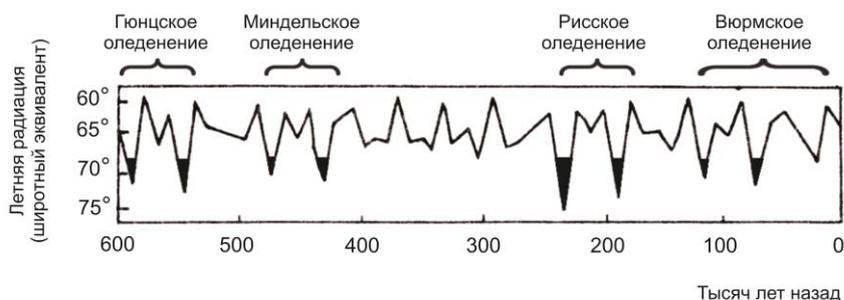


Рис. 3. Амплитуды вековых отклонений летних сумм радиации для 65° градусов с.ш. в значениях широтных эквивалентов [12]

В семидесятых годах прошлого столетия появились данные по донным фораминиферам. Спектральный анализ показал сходную периодичность изменений изотопного состава этих фораминифер и изменения летней инсоляции на 650 с.ш. Однако, поскольку совпадение периодов ещё не является доказательством причинно-следственной связи, а только намеком на нее, про астрономическую теорию климата снова забыли.

Также проводились расчёты также с учётом периодических вариаций, но на меньшие промежутки времени и, самое главное, что всего на 5 дней в году: на точки равноденствия и солнцестояния и ещё на одну точку  $120^\circ$  геоцентрической долготы, что соответствует примерно середине лета.

Таким образом, астрономическую теорию климата применять к объяснению причин палеоклимата стало проблематично, к объяснению современного климата просто невозможно из-за низкого разрешения в расчетах инсоляции – как временного, так и пространственного.

Временного – потому, что и у Миланковича, и у Шараф и Будниковой были расчёты с шагом примерно в 5000 лет, у Вернекара, Берже, Ласкара, Монины – с шагом в 1000 лет.

Как это делается? Например, при расчетах инсоляции на 650 с.ш. Известно, во сколько там восход и заход Солнца, например, 1 января, и легко посчитать суточную радиацию. Таким же образом, рассчитывается суточная радиация на 2 января и т.д. до 31 декабря. Затем делается шаг на 1000 или 5000 лет в прошлое или будущее и, с учётом изменений долготы перигелия, эксцентриситета и наклона оси, то же самое пересчитывается и т.д. Таким образом, временные «бреши» получались от 1000 до 5000 лет по времени.

Низкое пространственное разрешение определялось тем, что расчёты велись только на отдельные параллели. Поэтому появлялись и пространственные «бреши». Кроме того, при всех этих расчётах Земля рассматривалась как сфера. Между тем, Земля – эллипсоид. Наши расчеты инсоляции для сферы и эллипсоида позволили оценить влияние формы Земли на характер ее облучения. Разница в инсоляции сферы и эллипсоида оказалась соизмеримой с вариациями солнечной активности в 11-летнем цикле за период инструментальных наблюдений.

Кроме того, Миланкович, хотя и сделал большой шаг к исследованию солярного климата, но при переходе к глобальному климату учитывал только вариации приходящей солнечной радиации. И не учитывал механизмы переноса радиационного тепла или теплообмена, за что этот подход критиковал ещё Михаил Иванович Будыко.

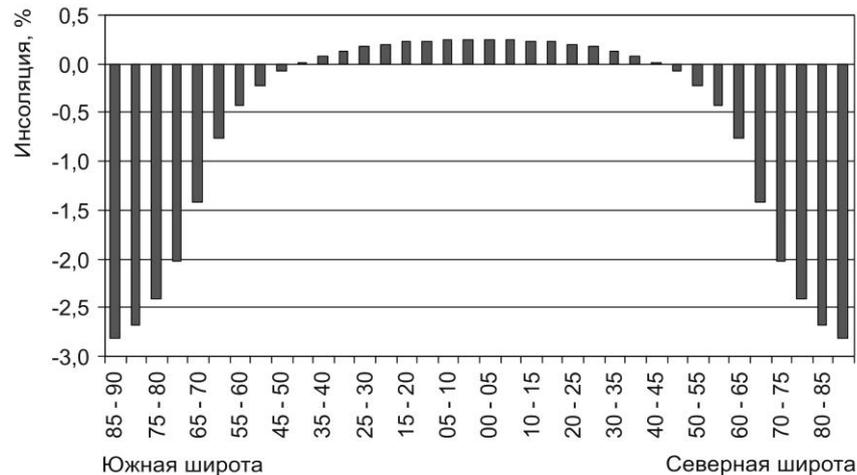
Таким образом, сам подход привлекателен, поскольку представляется логичным объяснить изменения климата глобальными причинами, отражающими два известных в макромире фундаментальных физических взаимодействия: гравитационное и электромагнитное. Однако объяснить климатические изменения на основе существующей астрономической теории климата Миланковича не удавалось.

Мы подумали и решили пойти другим путём – провели (совместно с А.А.Костиным – выпускником нашего мехмата) расчёты с высоким пространственным и временным разрешением на основе высокоточных астрономических

эфемерид НАСА [13]. Это база данных, в которых в табличной, а сейчас уже в полиномиальной, форме содержатся данные на полдень каждого дня о положении небесных тел в Солнечной системе, т.е. их орбитальные элементы. На время расчетов актуальны были эфемериды DE406, позволявшие осуществить высокоточные расчёты на период 5000 лет в прошлое и на 1000 в будущее. Если распечатать рассчитанный нами массив данных по инсоляции, то получится порядка 200 книг по 300 страниц. Мы занимались этим примерно года два [14], несколько раз пересчитывали из-за обнаруженных ошибок при программировании. Это была довольно сложная задача. В результате был получен массив данных по инсоляции с разрешением по пространству  $10 \times 10$  и по времени  $1/360$  часть продолжительности тропического года (приблизительно сутки). При этом, если наши предшественники рассчитывали инсоляцию для параллелей – характеристику пространства первого порядка, то мы рассчитывали на элементарную площадь – характеристику пространства второго порядка.

Мы также учли эллипсоидальную форму Земли и, более того, сейчас мы посчитали инсоляцию и для разных высотных уровней от верхней тропосферы до нижней мезосферы. Таким образом, мы на интервале 5000 в прошлое и 1000 лет в будущее закрыли все пространственные и временные «бреши» в астрономической теории климата. Это давало возможность провести детальные исследования солярного климата Земли. Сопоставление результатов анализа изменений характеристик солярного климата Земли (инсоляционная контрастность, инсоляционная сезонность Земли и полушарий, вариаций приходящей радиации по сезонам и широтам) позволили сделать определённые выводы о причинах изменения климата. Во-первых, удалось учесть механизмы теплообмена, основной из которых – меридиональный перенос радиационного тепла. Выяснилось, что из-за уменьшения наклона оси увеличивается приход радиации в экваториальную область и сокращается в полярные районы (рис. 4). Соответственно, увеличивается **меридиональный градиент инсоляции**.

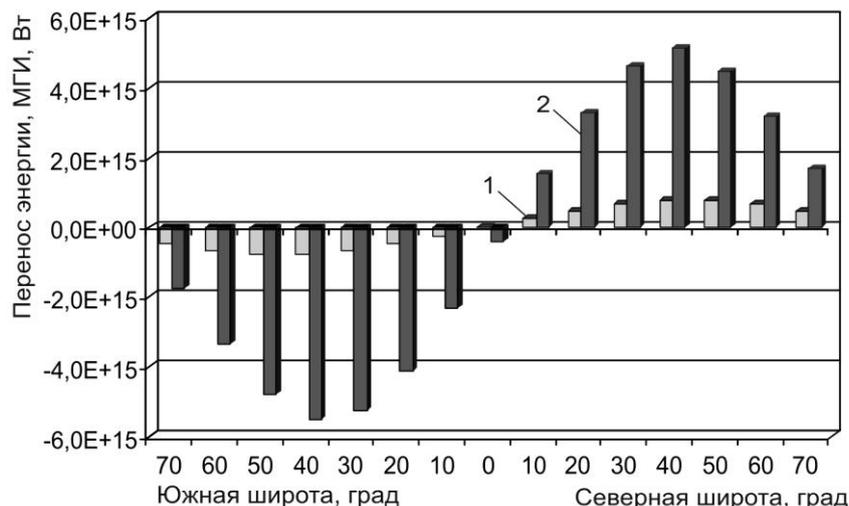
Мы рассчитали средний годовой градиент инсоляции и сравнили его распределение со средним годовым переносом энергии в системе океан-атмосфера (рис. 5). Оценки переноса энергии представлены в ряде работ, например, у Палмена (E. Palmen) и Ньютона (C.W. Newton) [16]. **Получилась практически линейная корреляция с коэффициентом 0,98-0,99.**



**Рис. 4.** Изменение годовой инсоляции Земли в широтных зонах с 3000 г. до н.э. по 2999 г. н.э. в процентах от 3000 г. до н.э. [15]

Но, поскольку перенос энергии в системе океан-атмосфера не может управлять меридиональным градиентом инсоляции, это значит, что меридиональный градиент инсоляции управляет переносом энергии в системе океан-атмосфера. А меридиональный градиент инсоляции, в свою очередь, линейно связан с изменением угла наклона земной оси. Следовательно, при изменении угла наклона оси, изменится меридиональный градиент инсоляции, что повлечет изменения и меридионального переноса энергии в системе океан – атмосфера.

Нами была рассчитана инсоляционная контрастность (ИК) – обобщенно по областям источника и стока тепла отражающая изменение меридионального градиента инсоляции. ИК – это разность солнечной радиации, приходящей в область источника тепла в полушарии ( $0^{\circ}$  –  $45^{\circ}$ ) и радиации, приходящей в область стока тепла ( $45^{\circ}$  –  $90^{\circ}$ ). Коэффициент корреляции ИК с данными ПТВ и ТПО Климатического центра Хедли (Hadley Centre for Climate Science and Services) Университета Восточной Англии по температурам поверхности океана и воздуха в среднем (по полушариям и для Земли) составил 0,85. На основе тесной связи была построена простая регрессионная модель изменения ПТВ (Земли и полушарий) и ТПО (Мирового океана и полушарий). Оказалось, что 70%–75% многолетних изменений ПТВ и ТПО объясняются многолетними изменениями инсоляционной контрастности, отражающей изменения меридионального переноса радиационного тепла и переноса энергии в системе океан – атмосфера.



**Рис. 5.** Среднее многолетние значение МГИ (1) и средний годовой перенос энергии в системе океан – атмосфера (2) [16]

Далее мы проанализировали различия наших модельных ПТВ и ТПО, полученных из уравнения регрессии на основе данных по инсоляции, и фактических ПТВ и ТПО (по данным Hadley Centre). И получилось очень интересно – эти различия совпадают с 60-летними колебаниями температур, проявляющимися по всему миру, но наиболее масштабно в Северной Атлантике [17], где эта осцилляция известна как АМО (Atlantic Multidecadal Oscillation). С учётом этой осцилляции с периодом около 60 лет, уже удалось объяснить приблизительно 85% многолетних изменений ПТВ и ТПО. То есть, современные изменения ПТВ и ТПО определяются, в основном, изменением инсоляционной контрастности (связанной с наклоном оси) и 60-летней осцилляцией (вариации которой, вероятно, связаны с изменением скорости вращения Земли вокруг оси). Упрощенно, АМО - это зональный (по Лапласу) прилив с периодом около 60 лет, определяющий периодическую динамику движения холодных водных масс к экватору и тёплых от экватора (вероятно в это колебание также вовлекаются глубинные – холодные, и поверхностные – теплые воды).

Таким образом, изменения климата вполне объясняются без помощи антропогенного  $\text{CO}_2$ . Глобальная температура увеличивается от того, что уменьшается наклон земной оси. С уменьшением наклона оси увеличивается поступление солнечной радиации в низкие широты, и возрастает мощность экваториального «калорифера». Следовательно тепло интенсивнее переносится в область его стока, где становится теплее. От этого увеличивается испарение и содержание водяного пара в атмосфере, усиливается парниковый эффект. Происходит усиление потепления по уже описанной в ответах на другие вопросы схеме.

*Положительная обратная связь...*

Конечно. И, кроме того, в тёплых воздушных массах, приходящих из экваториальных и тропических областей в умеренные и арктические районы, происходит конденсация, и за счёт этого выделяется дополнительное скрытое тепло. Вот физические механизмы, которые всё это объясняют и являются дальнейшим развитием астрономической теории климата и ее приложением к объяснению изменений современного глобального климата.

*Прошу прощения за дилетантский вопрос, но откуда известно, что наклон земной оси меняются, и как это определяют?*

Составление эфемерид является одной из основных задач теоретической астрономии. Это непосредственные радиометрические (радиотелескопы) и лазерные измерения, а также теоретический расчёт на основе теории Ньютона, теории возмущения небесных тел. Рассчитываются массы небесных тел Солнечной системы и их орбитальные характеристики. Мы в расчетах инсоляции используем эти данные (расстояние Земля – Солнце, геоцентрическая долгота, склонение и др.).

Гравитационное влияние небесных тел заставляет ось вращения Земли колебаться с периодом около 40 тыс. лет. Размах этого колебания составляет около 2 градусов и 37 минут (это около 11% от современного угла наклона оси). Известны также нутационные колебания наклона оси с периодом 19 лет. Они связаны с лунным гравитационным воздействием на ось вращения Земли. С изменением наклона оси с разной периодичностью изменяются и характеристики инсоляции по широтам и по сезонам. Отсюда возникают как вариации приходящей радиации, так и изменения в механизмах переноса радиационного тепла.

Как я уже говорил, уменьшение угла наклона началось около 10 000 лет назад. Это период, характеризующий начало активной фазы перехода от холодного плейстоцена к тёплому голоцену, деградации покровных ледников. Но климат связан не с одним фактором. Я рассказал только про один из них – инсоляционную контрастность. Но на фоне этого потепления действуют и другие факторы, связанные с механизмами теплообмена, обусловленными, опять же, неравномерным поступлением радиации, а также с тектоникой и изменением активности Солнца. Собственно это разные физические проявления или следствия радиационного фактора

Например, Малый климатический оптимум голоцена - период первых поселений викингов в Гренландии, синхронизируется с максимумом межполу-

шарного теплообмена (около 1000 года). Межполушарный теплообмен - это процесс переноса тепла из летнего полушария в зимнее. Он регулируется инсоляционной сезонностью Земли.

Этот перенос тепла из летнего полушария в зимнее не сбалансирован и имеет периодический характер изменения. Максимум разности между летней инсоляцией в Южном полушарии и зимней инсоляцией в Северном и между летней инсоляцией в Северном полушарии и зимней инсоляцией в Южном полушарии приходится приблизительно на 1000 г. Другой причиной малого климатического оптимума мог быть максимум зимней инсоляционной контрастности в Северном полушарии, который приходится на это же время. То есть, тепло из летнего Южного полушария переносится в зимнее Северное, где в зимний сезон отмечается максимум меридионального переноса тепла.

Малый ледниковый период (XV-XVIII вв.) наступил тоже на фоне идущего долгосрочного потепления (связанного с уменьшением наклона оси с начала голоцена), но связан был с минимумом летней инсоляции в Северном полушарии. Летняя инсоляция имеет существенное значение по нескольким причинам. Во-первых, при её увеличении увеличивается испарение и усиливается парниковый эффект. Кроме этого, из-за деградации морских льдов и ледников уменьшается альbedo и прогрев поверхности, от которой нагревается атмосфера, дополнительно усиливается. В период минимума летней инсоляции, соответственно, происходят обратные эффекты. Летний минимум солнечной радиации в Северном полушарии приходится приблизительно на 1550-й год. Именно к этому периоду относятся картины замёрзшей Темзы и каналов в Голландии.

Природная система неоднородна, и поэтому она реагирует в разных местах по-разному. Это уже другой, не глобальный, а региональный климатический масштаб. В разных районах отклик на минимум летней инсоляции в разных районах отличался по фазе и по снижению температуры.

Итак, главная причина изменения глобального климата – изменение меридионального градиента инсоляции, регулирующего изменения меридионального переноса тепла («тепловая машина первого рода» по Шулейкину). На этот процесс накладываются более мелкие колебания, например 60-летнее колебание, а также колебания, связанные с сезонными и полушарными вариациями инсоляции, инсоляционной сезонностью Земли и полушарий. Так характеристиками сезонной инсоляции Земли регулируется межполушарный теплообмен.

Теплообмен между океаном и атмосферой (связанный с сезонной сменой областей источника и стока тепла – «тепловая машина второго рода» по Шулейкину), регулируется инсоляционной сезонностью в полушариях. Эти механизмы теплообмена или переноса радиационного тепла действуют одновременно, по-

этому надо определять их участие в многолетних изменениях температурного режима Земли для разных пространственных и временных масштабов. Это у нас сейчас актуальная задача.

Также возникает интересный аспект в связи с изучением продолжительности современного потепления. Он связан с тем, что из-за более эффективного переноса радиационного тепла в Северном полушарии, чем в Южном, меридиональный температурный градиент в Северном полушарии уменьшается, а в Южном увеличивается.

Это связано с тем, что в Южном полушарии меридиональный перенос тепла блокируется в значительной степени «ревущими сороковыми» – зональный перенос в атмосфере, а в океане – Циркумантарктическим течением. В результате в южную область стока тепла его приходит меньше, а в области стока поступление радиационного тепла увеличивается. Температурный градиент в Южном полушарии, таким образом, увеличивается, тогда, как в Северном полушарии он уменьшается из-за активного меридионального переноса тепла в область его стока. В общем, температурные изменения в полушариях имеют асинхронный характер. Эти следствия, как эффекты отрицательной обратной связи в Северном полушарии и положительной обратной связи в Южном полушарии, придется учитывать при прогнозировании изменений климата.

*Кажется, я начинаю понимать, с чем связан успех концепции антропогенного потепления климата. У Вас сложные объяснения взаимодействия радиационных, гравитационных, термодинамических факторов. А «антропогенная» гипотеза предлагает простой и понятный ответ на вопрос. Мы видим, что растут связанные с антропогенной деятельностью выбросы парниковых газов, и это безусловный факт, и одновременно с этим идёт потепление, и это тоже факт. Отсюда тут же напрашивается вывод, что климат теплеет из-за человеческой деятельности, приводящей к росту выбросов в атмосферу. Всё выглядит понятным и очевидным. И цифры, приводящиеся по выбросам CO<sub>2</sub>, действительно огромны – на каждого человека по несколько тонн в год, всего десятки миллиардов тонн ежегодно. Много это или мало в масштабах Земли, следующий вопрос, но выглядит впечатляюще...*

Сколько тонн CO<sub>2</sub> приходится на человека – это вопрос к росту населения Земли и экологии.

Водяной пар, и это прописано во всех учебниках климатологии, является основным парниковым газом. По объёмному содержанию в атмосфере (в среднем около 2%, максимально до 4%) он многократно превосходит CO<sub>2</sub>. Суммарное содержание CO<sub>2</sub> естественного и антропогенного происхождения составляет 0,04%.

При этом около 1% от этого только антропогенный CO<sub>2</sub>. По удержанию тепла 76% приходится на водяной пар и 4% на CO<sub>2</sub> (также суммарный). Если учесть, что CO<sub>2</sub>, связанный с выбросами в результате деятельности человека, составляет около 1%, то водяной пар как по содержанию, так и по удержанию тепла на три порядка превосходит CO<sub>2</sub> антропогенного происхождения.

Как я уже отмечал, Земля – планета водная и более 2/3 ее поверхности занято океаном и морями с поверхности которых испаряется влага влаги. Облака – это образования, в основном, из водного пара. Морские льды и горные ледники – это тоже вода только в твердом состоянии. Фазовые переходы воды сопровождаются процессами выделения или поглощения тепла. Поэтому, учитывая также известный гидрологический цикл – круговорот воды в природе, всерьез говорить о влиянии на климат антропогенного фактора не приходится.

Выбросы – это проблема, прежде всего, экологическая. Однако и в этой проблеме не стоит забывать, что CO<sub>2</sub> вообще полезен планете, как сырье для фотосинтеза (повышения урожайности).

*Не могу не отметить, что потепление (равно как и похолодание) климата имеет целый спектр не только отрицательных, но и положительных последствий. Более того, и автор гипотезы антропогенного потепления климата Г.С. Каллендер [11] рассматривал его, скорее, как благо - улучшение сельскохозяйственных условий и задержка наступления очередного ледникового периода...*

Я такими оценками последствий изменения глобального климата не занимался. Пока мы можем дать оценочные прогнозы изменения характеристик глобального климата, природной среды. Это уже лучше чем, неопределенность, которая следует из сценарных прогнозов. Отмечу, что в Климатический оптимум голоцена температура была на 20–30 выше, но, например, вечная мерзлота, как была, так и есть. Тем не менее, наиболее характерной чертой изменения глобального климата является не потепление, а усиление неустойчивости, связанной с повышением вихревой активности (таких образований как циклоны, в том числе, тропические и антициклоны). Этот вывод следует из наших результатов.

Также много стали писать и говорить о метане, его большей (примерно в 20 раз) эффективности удержания длинноволновой радиации от земной поверхности, чем у CO<sub>2</sub>. Однако, если это и так, хотя это требует подтверждений, то не стоит забывать, что CO<sub>2</sub> в атмосфере примерно в 225 раз больше, чем метана.

А сам рост содержания CO<sub>2</sub> связан с тем, что температура поверхности океана повышается. При повышении ТПО растворимость CO<sub>2</sub> снижается, поэтому его содержание в атмосфере увеличивается. Это физически обосновано. А предположение, что потепление связано с увеличением CO<sub>2</sub>, и предположение о

том, что увеличение CO<sub>2</sub> связано с антропогенной деятельностью – это всего лишь предположения.

*Простите, ещё один дилетантский вопрос – по эффекту «ядерной зимы», о котором много говорили 30-40 лет назад. Тогда предполагалось, что выбросы в атмосферу вызовут, напротив, резкое понижение температуры. В настоящее время со сходными эффектами связывают уже потепление. Нет ли тут противоречия? Складывается впечатление, что, если бы сейчас шло не потепление, а похолодание, его бы тоже можно было посредством таких же спекулятивных построений легко связать с антропогенной деятельностью ...*

Наверно, противоречие тут есть. Хотя мне эта тема не очень интересна. Но, если рассматривать с точки зрения физики, ситуация двояка во всех случаях: с одной стороны – удерживается инфракрасное излучение с поверхности Земли, с другой – не пропускаются ультрафиолетовые лучи на её поверхность. А соотношение того и другого остаётся под вопросом. Однозначных результатов, насколько мне известно, получено не было. Да, если бы сейчас шло похолодание, его можно было бы, при желании, объяснить тем, что антропогенные выбросы пыли, сажи и других соединений блокируют поступление ультрафиолетового излучения к Земле. А наблюдаемое в настоящее время потепление объясняется радиационным форсингом антропогенного CO<sub>2</sub>, то есть его вкладом в удержание длинноволнового излучения.

Как мной отмечалось, эмиссия «парниковых» газов, связанная с деятельностью человека – это проблема экологическая. Климат меняется по естественным причинам, и бороться с этим невозможно. Наклон оси изменить невозможно, даже совместными усилиями стран, подписавших Парижское соглашение по климату. К изменениям климата и его последствиям можно только адаптироваться заблаговременно на основе прогнозов, которые основаны на реальных факторах изменения климата. С проблемами загрязнения атмосферы, водных и земельных ресурсов можно и нужно бороться.

Кстати, добавлю, что на основе регрессионной модели, используя инсоляционную контрастность как предиктор, мы спрогнозировали изменение содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере, поскольку оно связано с ростом ТПО и, как следствие, уменьшением растворимости углекислого газа в океане. То есть, увеличение содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере является не причиной, а следствием повышения ТПО. Согласно этой модели, содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере к середине XXI века (2050 г.) увеличится приблизительно на 16% относительно 2015 года – года принятия Парижского соглашения по климату. И это совершенно независимо от того, что будет предприниматься в соответствии с Парижским соглашением, поскольку содержание антропогенного CO<sub>2</sub> (которое, собственно, собираются регулировать) составляет около 1% от общего содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере.

Разделение по генезису климатических и экологических проблем позволит эффективнее адаптироваться к одним и решать другие.

## Литература

1. Кондратьев К.Я., 1992. Глобальный климат. Наука, Санкт-Петербург.
2. Монин А.С., Берестов А.А., 2005. Новое о климате. Вестник Российской академии наук, Том 75, № 2, с. 126–138.
3. Монин А.С., Шишков Ю.А., 1979. История климата. Гидрометеиздат, Ленинград.
4. 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>.
5. Сидоренков Н.С., 2002. Атмосферные процессы и вращение Земли. Гидрометеиздат, Санкт-Петербург.
6. Федоров В.М., Кононова Н.К., 2015. Солнечная радиация, приходящая на верхнюю границу атмосферы и изменчивость циркуляционных процессов в Северном полушарии. Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, № 576, с. 183–200.
7. 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.
8. Федоров В.М., 2018. Солнечная радиация и климат Земли. Физматлит. Москва.
9. Шулейкин В.В., 1953. Физика моря, 3-е изд., перераб. и доп. Изд-во АН СССР, Москва.
10. Фёдоров В.М. Политика в области климата и вопросы национальной безопасности Российской Федерации // «Политика и общество», №12/2017, с. 80-89. DOI: 10.7256/2454-0684.2017.12.24888.
11. Шрайбер В.М. Из истории исследований парникового эффекта земной атмосферы // «Биосфера», 2013, т.5, №1, с.37-46.
12. Имбри Дж., Имбри К.П. Тайны ледниковых эпох. М., «Прогресс», 1988 г., 264 с.
13. Ephemerides. URL: <https://ssd.jpl.nasa.gov/?ephemerides> .
14. Fedorov V.M., Kostin A.A. Calculation of Solar Radiation Arriving to the Outer Fringe Based on Astronomical Ephemerides DE 406 // Solar Radiation and Climate of the Earth, 2015. URL: <http://solar-climate.com/en/ensc/kost.htm> .
15. Федоров В.М., Голубев В.Н., Фролов Д.М. Многолетняя изменчивость инсоляции Земли и содержания двуокси углерода в атмосфере // Жизнь Земли. Т. 40, №1/2018, с.12-21.
16. Пальмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. Под. ред. С.П. Хромова – Ленинград: Гидрометеиздат, 1973 – 615 с.: ил.
17. Фёдоров В.М. Североатлантическая осциляция и КМО. URL: <http://solar-climate.com/geo/amo.htm>.

## References

1. Kondrat'ev K.YA., 1992. Global'nyj klimat. Nauka, Sankt-Peterburg.
2. Monin A.S., Berestov A.A., 2005. Novoe o klimate. Vestnik Rossijskoj akademii nauk, Tom 75, № 2, s. 126–138.

3. Monin A.S., SHishkov YU.A., 1979. Istoriya klimata. Gid-rometeoizdat, Leningrad.
4. Monin A.S., SHishkov YU.A., 2000. Klimat kak problema fiziki. Uspekhi fizicheskikh nauk, Tom 170, № 4, s. 419–445, <https://doi.org/10.3367/UFNr.0170.200004d.0419>.
5. Sidorenkov N.S., 2002. Atmosfernye processy i vrashchenie Zemli. Gidrometeoizdat, Sankt-Peterburg.
6. Fedorov V.M., Kononova N.K., 2015. Solnechnaya radiaciya, prihodyashchaya na verhnyuyu granicu atmosfery i izmenchi-vost' cirkulyacionnyh processov v Severnom polusharii. Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Vo-ekova, № 576, s. 183–200.
7. Fedorov V.M., Kostin A.A., 2019. Vychislenie insolyacii Zemli dlya perioda ot 3000 g. do n.e. do 2999 g. n.e. Proces-sy v geosredah, № 2(20), s. 254–262.
8. Fedorov V.M., 2018. Solnechnaya radiaciya i klimat Zemli. Fizmatlit. Moskva.
9. Shulejkin V.V., 1953. Fizika morya, 3-e izd., pererab. i dop. Izd-vo AN SSSR, Moskva.
10. Fyodorov V.M. Politika v oblasti klimata i voprosy nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii // «Po-litika i obshchestvo», №12/2017, s. 80-89. DOI: 10.7256/2454-0684.2017.12.24888.
11. Shrajber V.M. Iz istorii issledovaniy parnikovogo ef-fekta zemnoj atmosfery // «Biosfera», 2013, t.5, №1, s.37-46.
12. Imbri Dzh., Imbri K.P. Tajny lednikovyh epoh. M., «Progress», 1988 g., 264 s.
13. Ephemerides. URL: <https://ssd.jpl.nasa.gov/?ephemerides> .
14. Fedorov V.M., Kostin A.A. Calculation of Solar Radiation Arr-iving to the Outer Fringe Based on Astronomical Ephemerides DE 406 // Solar Radiation and Climate of the Earth, 2015. URL: <http://solar-climate.com/en/ensc/kost.htm> .
15. Fedorov V.M., Golubev V.N., Frolov D.M. Mnogoletnyaya izmenchivost' insolyacii Zemli i sodержaniya dnuokisi ug-leroda v atmosfere // ZHizn' Zemli. T. 40, №1/2018, s.12-21.
16. Pal'men E., N'yuton CH. Cirkulyacionnye sistemy atmosfery. Pod. red. S.P. Hromova – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973 – 615 s.: il.
17. Fyodorov V.M. Severoatlanticheskaya oscillyaciya i KMO. URL: <http://solar-climate.com/geo/amo.htm>.

## SOLAR THEORY OF CLIMATE CHANGE

Fedorov Valery

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: [fedorov.msu@mail.ru](mailto:fedorov.msu@mail.ru)

**Abstract.** The article presents an interview of the journal “Environmental Earth and Energy Study” deputy editor-in-chief K. Degtyarev with the senior researcher of Laboratory for Geo-ecology of the Northern Territories at Geographical Faculty of Lomonosov Moscow State University, PhD Valery Fedorov. The topic under discussion is theories and causes of global climate change. The author believes that the climate is changing, primarily due to natural causes, and puts forward a theory, which he called the Solar Theory of Climate Change (STCC).

**Keywords:** climate, global climate, climate change, environment, solar radiation, orbital parameters of the Earth, Solar system, Solar Theory of Climate Change.

УДК 621.3:621.22:620.91

## КАТАМАРАН КАК ПАРУСНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА: УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

<sup>1,2</sup>Чекарев Константин Владимирович <sup>[0000-0002-5140-5142]</sup><sup>1,3</sup>Залиханов Алим Михайлович <sup>[0000-0002-2540-6045]</sup><sup>1</sup>МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия<sup>2</sup>E-mail: kostya-chekarev@yandex.ru<sup>3</sup>E-mail: bulungu@yandex.ru

**Аннотация.** Установки, преобразующие кинетическую энергию ветра в электрическую энергию, в том числе плавающие ветровые установки, из-за низкой плотности воздуха имеют большие размеры. Предложен вариант парусной энергетической установки, преобразующей энергию ветрового потока в энергию водного потока, которая, в свою очередь, используется для производства электроэнергии. Созданный макет парусной энергетической установки, выполнен в виде катамарана, симметричного относительно носа и кормы, который совершает циклические движения по дуге окружности в заданном относительно направления ветра угловом интервале. Проведены лабораторные исследования, которые показали принципиальную возможность создания и эксплуатации подобной установки. Для достижения оптимальных динамических характеристик созданы несколько конструкций катамарана и которыми проведены экспериментальные исследования. Полученные результаты представлены в данной статье.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, гидроэнергетика, морские электростанции, парусное судно, парусная энергетическая установка

## 1 Введение

Ветроэнергетика - одна из самых быстро развивающихся отраслей возобновляемой энергетики. По оценкам IRENA [1], в 2020 году общая мощность оншорных ветроэлектростанций (ВЭС) в мире выросла с 594 до 699 ГВт, офшорных - с 28 до 34 ГВт. Одной из причин, ограничивающей рост мощности офшорных станций, является их высокая стоимость, которая определяется, в том числе, глубиной моря в месте расположения. В целом, согласно [2], капитальные затраты на 1 кВт установленной мощности в 2019 году составили \$ 1473 для оншорных и \$3800 для офшорных станций, выровненная стоимость выработки электроэнергии (LCOE) – соответственно, \$0,053 и \$0,115/кВтч.

В качестве альтернативы разрабатываются плавающие ветровые установки, в частности, в 2017 году у побережья Шотландии была запущена экспериментальная плавучая ветроустановка в рамках совместного норвежско-шотландского проекта [3]. В настоящее время у берегов Португалии осуществляется строительство плавучей ветроэлектростанции, состоящей из трех турбин суммарной мощностью 25МВт, одна из которых мощностью 8 МВт была запущена в 2019 году [4].

Нами был предложен вариант установки, позволяющей уменьшить размер преобразователя энергии плавучей энергетической установки [5]. Решить данную задачу помогает факт нахождения плавучей установки в двух средах - воздушной и водной, плотность которой примерно в тысячу раз больше воздушной. Если кинетическую энергию воздушного потока преобразовать в кинетическую энергию водного потока, то размеры преобразователя этой энергии можно существенно уменьшить. Такое преобразование можно осуществить с помощью парусной энергетической установки. Предложенный вариант установки содержит парусный катамаран, к днищу которого прикреплен гидрогенератор, выполненный в виде винта и электрогенератора. При движении катамарана возникает обтекающий его корпус водный поток, который вращает винт и соединенный с ним электрогенератор. Для передачи вырабатываемой энергии потребителю используется электрический кабель.

Автоматическое управление парусной энергоустановкой следует сделать максимально простым и обеспечивающим надежность ее работы. Было высказано предположение, что такое управление можно реализовать, если траекторию движения катамарана организовать так, чтобы он совершал циклические движения по дуге окружности в заданном угловом интервале с точками поворота, расположенными симметрично относительно направления ветра. В этом случае управление его движением сводилось бы к автоматическому определению точек на траектории для изменения направления движения катамарана и автоматическому изменению положения парусов. Сам катамаран должен быть механически связан с с бумом, закрепленным на морском дне, что позволяет ему двигаться по траектории, которая может быть представлена в виде основания равностороннего треугольника. Однако для такого движения катамаран должен иметь специальную конструкцию, а именно, он должен быть симметричным относительно носа

и кормы. Для проверки возможности реализации предлагаемой конструкции была создана экспериментальная установка, на которой были проведены исследования [6].

## 2 Экспериментальная установка и методика проведения исследований

Экспериментальная установка включала экспериментальный бассейн, в котором проводились исследования, генератор ветрового потока и четыре варианта макета парусной энергетической установки разного веса, с разным количеством мачт и разной площадью парусов.

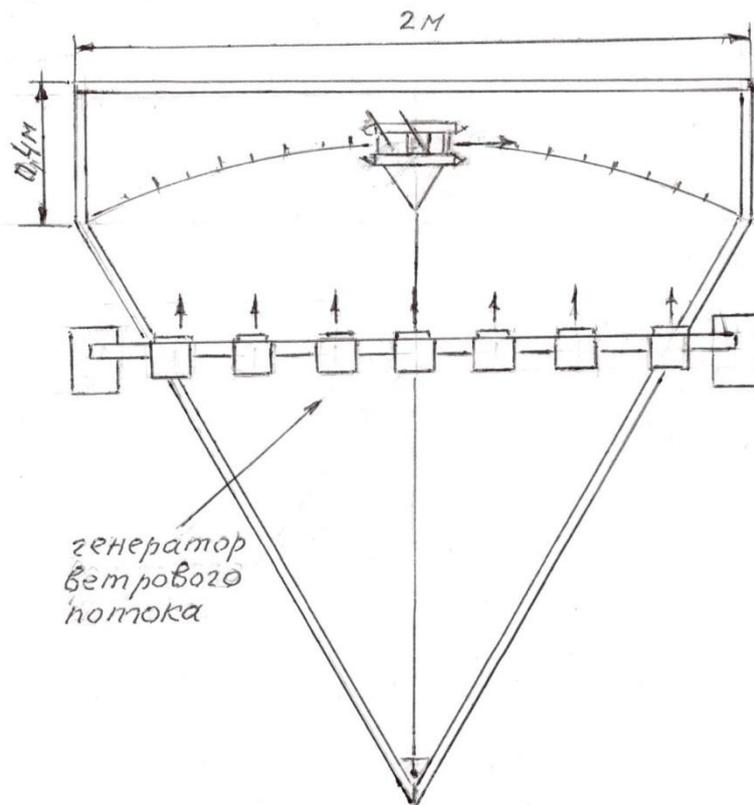
Макеты парусной энергетической установки были выполнены в виде симметричных относительно носа и кормы катамаранов. Корпуса катамаранов первого и второго варианта выполнены из пластикового короба прямоугольного сечения со сторонами 2,5 см и 4 см. Длина корпусов катамаранов без конусов на его концах составляла 300 мм, ширина 14,5 см. На катамаране 1 было установлено две мачты, а на катамаране 2 три мачты. К каждой из мачт был прикреплен косою парус площадью 215 кв. см., сделанный из лавсановой пленки с металлическим покрытием. Площадь парусов катамаранов 1 и 2 составляла, соответственно, 430 см<sup>2</sup> и 645 см<sup>2</sup>, а их вес был равен 420 грамм.

Корпуса катамаранов третьего и четвертого варианта были выполнены из легкой пластиковой трубки диаметром 3,6 см. Длина его корпусов без конусов на его концах составляла 32 см, расстояние между центрами корпусов 14 см. На катамаране 3 было установлено три мачты, а на катамаране 4 - четыре мачты. К каждой из мачт были прикреплены паруса площадью 294 см<sup>2</sup>. Форма парусов на катамаранах 3 и 4 отличалась от формы парусов на катамаранах 1 и 2, а их общая площадь составляла, соответственно, 882 см<sup>2</sup> и 1176 см<sup>2</sup>. Вес катамаранов 3 и 4 был равен 280 грамм. Изображения второго и третьего варианта макета парусной энергетической установки представлены на Рис. 1.



**Рис. 1.**Изображения второго (слева) и третьего (справа) вариантов макета парусной энергетической установки

Высота стенок бассейна была равна 8 см. В качестве герметического материала при заполнении бассейна водой использовалась полиэтиленовая пленка толщиной 200 микрон. В вершине располагалось крепежное устройство для лески, толщиной 0,3 мм, имитирующей кабель-трос, присоединяющий в реальном масштабе катамаран к месту крепления на морском дне, куда подведен кабель от гидрогенератора.



**Рис. 2.** Схема экспериментального бассейна. В центре дуги показано положение катамарана.

Над экспериментальным бассейном располагался генератор ветрового потока. Он был выполнен в виде системы вытяжных вентиляторов в количестве 8 штук, расположенных на рейке длиной 2 метра на расстоянии 22 см друг от друга. Концы рейки закреплены на стойках высотой 22 см. Конструкция генератора ветрового потока была разработана на основе полученной трехмерной картины ветрового поля отдельного вентилятора (Рис. 3).

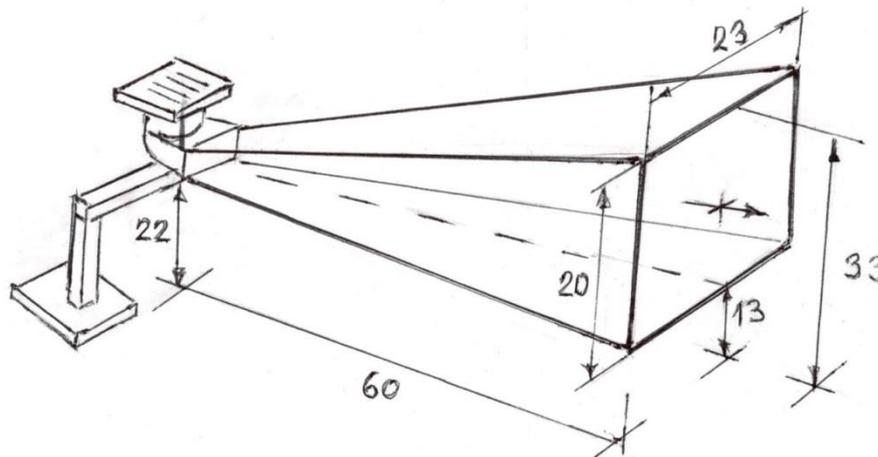


Рис. 3. Трехмерная картина ветрового поля вытяжного вентилятора

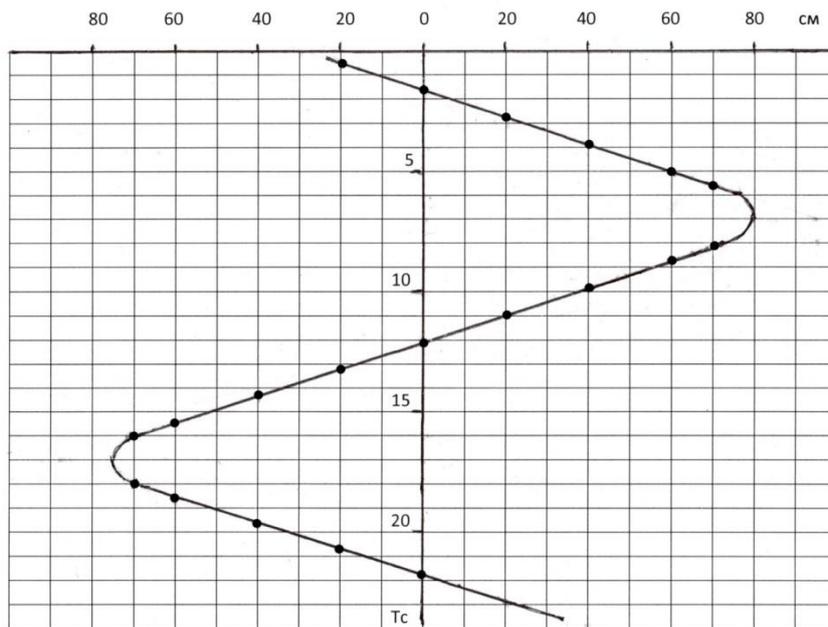
Высота расположения генератора ветрового потока определялась так, чтобы на расстоянии 60 см от выходных отверстий генератора нижняя граница ветрового потока совпадала с нижней кромкой парусов катамарана при его движении по дуговой траектории. Скорость ветра на этом расстоянии равнялась 3,6 м/с.

В начале эксперимента катамаран соединялся посредством удерживающей лески с крепежным устройством и включался генератор ветрового потока, после чего катамаран начинал двигаться по круговой траектории. В точках поворота дистанционно с помощью пульта управления подавался сигнал изменения положения парусов, и катамаран начинал двигаться в обратную сторону. В ходе экспериментов движение катамарана снималось на камеру, установленную на высоте 1.5 м над траекторией движения катамарана. По полученным записям движения катамарана по траектории строились графики движения катамарана и определялась его скорость в различных точках траектории.

### 3 Результаты экспериментов и их обсуждение

Пути повышения скорости парусного судна определяются из соотношения сил, действующих на него со стороны воздушного и водного потоков. Сила воздействия со стороны воздушного потока пропорциональна площади парусов, а сила воздействия со стороны водного потока пропорциональна произведению квадрата скорости судна на площадь сечения водного потока, взаимодействующего с его корпусом. При движении парусного судна с постоянной скоростью эти силы равны и направлены в противоположные стороны. При неизменной силе со стороны воздушного потока скорость парусного судна можно увеличить путем уменьшения площади сечения водного потока, взаимодействующего с его корпусом, что можно сделать за счет уменьшения веса судна.

Со всеми типами катамаранов, описанных выше, были проведены экспериментальные исследования для определения скорости их движения по дуговой траектории при различном весе и площади парусов. Для того, чтобы выяснить, какое влияние оказывает гидрогенератор на скорость движения катамаранов, проводилось исследование движений катамаранов с гидрогенератором и без гидрогенератора. График движения катамарана 3 с гидрогенератором представлен на Рис. 4.



**Рис. 4.** График движения катамарана 3 с гидрогенератором

Данные о средней скорости движения катамаранов в экспериментах представлены в таблице 1. Приведенные в таблице 1 скорости катамаранов можно представить в виде функциональной зависимости, введенной на основе учета сил, определяющих скорость его движения. Скорость движения катамаранов определяется воздействием воздушного потока на паруса катамарана, взаимодействием водного потока с корпусом катамарана.

**Таблица 1.** Средняя скорость катамаранов при движении с гидрогенератором и без гидрогенератора.

Тип катамарана	Скорость движения, см/с			
	Катамаран 1	Катамаран 2	Катамаран 3	Катамаран 4
Скорость катамарана с гидрогенератором	7,7	13,8	18,2	21,0
Скорость катамарана без гидрогенератора	12,5	17,5	23,8	27,1
Отношение скоростей	1,6	1,3	1,3	1,3

Катамаран движется по дуговой траектории в некотором угловом интервале с точками поворота, расположенными симметрично относительно направления ветра. В некотором угловом интервале положение парусов по отношению к направлению ветра меняется не значительно, поэтому силу ветра, действующую на катамаран и его скорость можно считать постоянными. Сила, действующая со стороны воздушного потока  $F$ , пропорциональна площади парусов  $Q$ , а сила воздействия водного потока пропорциональна произведению квадрата скорости катамарана  $V^2$  на площадь сечения  $S$ , перпендикулярную водному потоку, которую образуют корпуса катамаранов. При равномерном движении силы воздействия на катамаран воздушного и водного потоков равны и направлены в противоположные стороны:

$$k_1 Q = k_2 V^2 S \quad (1)$$

откуда

$$V = A\sqrt{D} \quad (2)$$

где  $D = Q/S$

Соотношение  $D = Q/S$  показывает, какая величина площади катамарана приходится на единицу площади сечения, препятствующему его движению со стороны водного потока. Из экспериментов было определена величина  $A = 2,3$  для скорости ветра  $3,6$  м/с.

При движении катамарана без гидрогенератора площадь сечения  $S_1$  равна миделевому сечению, которое находится из соотношения

$$LS_1 = V_b \quad (3)$$

где  $L$  – длина корпусов катамарана,  $V_b$  – объем вытесненной катамараном воды, равный весу катамарана.

При движении катамарана с гидрогенератором площадь сечения  $S_2$  находится экспериментально. При движении катамарана с гидрогенератором и без гидрогенератора с одной и той же площадью парусов силы сопротивления в обоих случаях равны, но отличаются произведением площади сечения сопротивления на квадрат скорости, т.е.

$$S_1 V_1^2 = S_2 V_2^2, \quad (4)$$

откуда

$$S_2 = S_1 (V_1/V_2)^2 \quad (5)$$

где соотношение  $V_1/V_2$  можно получить из экспериментов и использовать в расчетах.

В таблицах 2 и 3 приводятся экспериментальные данные, позволяющие представить скорость движения катамаранов как функцию соотношения  $D$  при их движении по круговой траектории с гидрогенератором и без гидрогенератора.

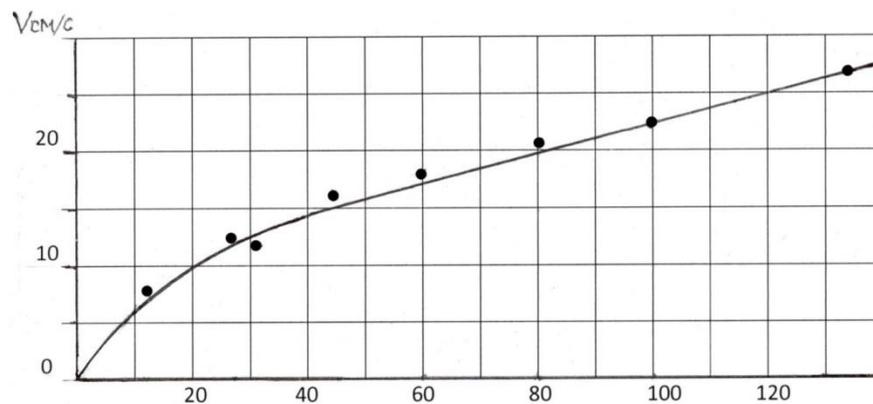
**Таблица 2.** Характеристики движения катамаранов без гидрогенератора.

Тип катамарана	Катамаран 1	Катамаран 2	Катамаран 3	Катамаран 4
Площадь парусов $Q, \text{см}^2$	430	645	882	1176
Вес, г	420	420	280	280
Площадь сечения $S_1, \text{см}^2$	14	14	8,75	8,75
Соотношение $D = Q/S_1$	31	46	101	134
Скорость без гидрогенератора, см/с	12,5	17,5	23,8	27,1

**Таблица 3.** Характеристики движения катамаранов при их движении с гидрогенератором

Тип катамарана	Катамаран 1	Катамаран 2	Катамаран 3	Катамаран 4
Площадь парусов $Q, \text{см}^2$	430	645	882	1176
Вес, г	420	420	280	280
Площадь сечения $S_2, \text{см}^2$	35,8	23,6	14,7	14,7
Соотношение $D = Q/S_2$	12	27	60	80
Скорость с гидрогенератором, см/с	7,7	13,8	18,2	21,0

Приведенные в таблицах 2 и 3 данные о скоростях катамаранов всех типов при их движении с гидрогенератором и без гидрогенератора представлены на Рис. 5. Там же приведена кривая  $V = A\sqrt{D}$ , где  $D = Q/S$ ,  $Q$  - площадь парусов, а  $S$  - площадь сечения сопротивления водного потока.  $A = 2,3$ .



**Рис. 5.** График зависимости скорости движения всех типов катамаранов при их движении с гидрогенератором и без генератора как функция D. Точки - экспериментальные результаты.

## 4 Выводы

Проведенные эксперименты показали принципиальную возможность использования катамарана в качестве парусной энергетической установки и оригинальную схему позиционирования этой установки в прибрежной зоне, что потенциально открывает возможность снижения себестоимости получаемой электрической энергии. Для малоразмерного макета парусной энергоустановки экспериментально получены зависимости скорости движения катамарана от площади парусов и веса катамарана. Полученная функциональная зависимость скорости катамарана от соотношения площади парусов и площади сечения сопротивления движению катамарана позволяет определять динамические характеристики катамаранов и оптимизировать площадь парусов, вес и длину корпусов катамарана. Результаты экспериментов могут использоваться для решения задачи повышения мощности парусных энергетических установок в реальном масштабе.

Для реализации предложенной парусной энергетической установки необходимо также решить задачу автоматического управления его движение по траектории. Решение этих задач будет являться предметом исследований в следующих экспериментах.

## Литература

1. IRENA Statistics Time Series. [электронный ресурс] URL: <https://irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series> дата обращения: 30.06.2021.

2. Renewable Power Generation Costs [электронный ресурс] URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>. дата обращения: 30.06.2021.
3. Плавающие ветряки [электронный ресурс] URL: <http://savenergy.info/page/floating-windmills/>, дата обращения: 30.06.2021.
4. WindFloatAtlanticProject [электронный ресурс] URL: <https://www.power-technology.com/projects/windfloat-atlantic-project>, дата обращения: 30.06.2021.
5. Патент РФ № 2 722 760 Парусная установка, преобразующая энергию потоков двух сред. URL: <https://edrid.ru/rid/220.018.2431.html>.
6. Чекарев К.В., Залиханов А.М., Соловьев Д.А., Дегтярев К.С. Парусная энергетическая установка, преобразующая энергию потоков двух сред // Окружающая среда и энергетика, №3, 2020, с. 39-46.

### References

1. IRENA Statistics Time Series. [internet resource] URL: <https://irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series> reference date: 30.06.2021.
2. Renewable Power Generation Costs [internet resource] URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>. reference date: 30.06.2021.
3. Plavayushchievetryaki [internetresource] URL: <http://savenergy.info/page/floating-windmills/>, reference date: 30.06.2021.
4. WindFloatAtlanticProject [internet resource] URL: <https://www.power-technology.com/projects/windfloat-atlantic-project>, reference date: 30.06.2021.
5. Patent of Russian Federation № 2 722 760, date 03.06.2020, URL: <https://edrid.ru/rid/220.018.2431.html>.
6. Chekarev K.V., Zalihanov A.M., Solovyov D.A., Degtyarev K.S. Wind-driven power machine, transforming energy of the two environs // Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №3(2020) DOI: 10.5281/zenodo.4139506

## CATAMARAN AS A SAILING POWER PLANT: INCREASING SPEED PARAMETERS

<sup>1,2</sup>Chekarev Konstantin

<sup>1,3</sup>Zalihanov Alim

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

<sup>2</sup>E-mail: [kostya-chekarev@yandex.ru](mailto:kostya-chekarev@yandex.ru)

<sup>3</sup>E-mail: [bulungu@yandex.ru](mailto:bulungu@yandex.ru)

**Abstract.** Installations that convert kinetic wind energy into electricity, including floating wind turbines, are large due to the low air density. The authors propose

a sailing power plant that converts energy of the wind flow into energy of the water flow, which is used to generate electricity. That makes it possible to reduce the size of the energy converter. A model of a sailing power plant was created. It was made as catamaran-wise, symmetrical with respect to the bow and stern, which makes cyclical movements along an arc of a circle in an angular interval specified with respect to the direction of the wind. Laboratory studies showed the fundamental feasibility of the installation, though its implementation requires to solve a number of problems, in particular, to determine design solutions to increase the speed of the catamaran. There were created several versions of the catamaran model of different weights, with a different number of masts and sail areas, with which experimental studies were carried out. The article presents the results of these studies.

**Keywords:** wind power, hydropower, offshore power plants, sailing vessel, sailing power plant