



DOI 10.22363/2313-2310-2021-29-1-55-71

УДК 621.22

Научная статья / Research article

Климатические проблемы и гидроэнергетика как эффективный способ достижения целей Парижского соглашения

В.В. Тетельмин

*Российский университет дружбы народов,
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
Всероссийское общество охраны природы,
Российская Федерация, 119017, Москва, ул. Большая Ордынка, д. 29, стр. 1*
✉ v-tetelmin@rambler.ru

Аннотация. Энергетика ископаемого топлива и обусловленный ею рост концентрации парниковых газов в атмосфере являются основными причинами глобального изменения климата. Следуя целям Парижского соглашения, мировая энергетика начинает переводить значительную часть производства топливной энергии на производство возобновляемой энергии. Цель работы заключается в том, чтобы дать количественную характеристику некоторым процессам энерготехнологического перехода. Приводится примерная расчетная доля различных энергоисточников в мировой энергетике к концу XXI в. Ввиду ограниченности возможностей биосферы современный уровень производства энергии за счет только возобновляемых источников практически недостижим. Предлагается оптимальный сценарий снижения глобальных выбросов диоксида углерода за счет снижения использования угля на 170 млн т/год, которое обеспечит соответствующее снижение выбросов на 620 млн т/год и достижение к 2050 г. вещественного баланса углерода в системе «эмиссия – сток». При оптимальном сценарии потребуется вводить в эксплуатацию альтернативные замещающие мощности около 160 ГВт/год, при этом средняя глобальная температура дополнительно поднимется по сравнению с современной на 0,6 °С. Рассматриваются возможности и преимущества развития российской гидроэнергетики в качестве экологически и экономически эффективной альтернативы «угольным проектам». В складывающейся реальности российским гидроэнергетикам рекомендуется определить свою амбициозную долю российской квоты по снижению выбросов и вводу до 2050 г. в эксплуатацию 30 ГВт замещающей гидроэнергетической мощности с дополнительной выработкой электроэнергии до 120 ТВт·ч/год.

Ключевые слова: Парижское соглашение, парниковый газ, изменение климата, возобновляемые источники энергии, гидроэнергетика

История статьи: поступила в редакцию 20.11.2020; принята к публикации 30.11.2020.



Для цитирования: Тетельмин В.В. Климатические проблемы и гидроэнергетика как эффективный способ достижения целей Парижского соглашения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29. № 1. С. 55–71. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-1-55-71>

Climate challenges and hydraulic power industry as a powerful tool to achieve the goals of the Paris Agreement

Vladimir V. Tetelmin

*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation
All-Russian Society for Nature Conservation,
29 Bolshaya Ordynka St, bldg 1, Moscow, 119017, Russian Federation*
✉ v-tetelmin@rambler.ru

Abstract. Fossil fuel energy and increase in concentrations of greenhouse gases in the atmosphere cause global climate change. In pursuance of the goals of the Paris Agreement, the global power industry must switch a significant part of fuel energy production to renewable energy production. The expected share of various sources in the global power industry by the end of the 21st century is provided. However, the limited possibilities of the biosphere make the current level of energy production from renewable sources nearly impossible. The most preferable scenario is proposed to reduce global carbon dioxide emissions by reducing the use of coal by 170 million tons per year, which will ensure a corresponding reduction in emissions by 620 million tons per year and the achievement by 2050 of the material balance of carbon in the “emission – flow” system. Under the most preferable scenario, it will be necessary to commission alternative replacement powers of about 160 GW per year; at the same time, the average global temperature will additionally rise by 0.6 °C compared to the current one. The prospects and advantages of the development of the Russian hydraulic power industry as an environmentally and economically efficient alternative to “coal projects” are considered. In the emerging reality, Russian hydraulic power companies are advised to determine their ambitious share of the Russian quota for reducing emissions and commissioning 30 GW of replacement hydraulic power capacities by 2050 with additional electricity generation of up to 120 TWh per year.

Keywords: Paris Agreement, greenhouse gas, climate change, renewable energy sources, hydraulic power industry

Article history: received 20.11.2020; revised 30.11.2020.

For citation: Tetelmin VV. Climate challenges and hydraulic power industry as a powerful tool to achieve the goals of the Paris Agreement. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;29(1):55–71. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-1-55-71>

Введение

Человек создал максимально благоприятные условия для своего развития, вооружившись в середине XIX в. энергетикой ископаемого топлива, и с тех пор энергетически обеспеченное мировое население растет по экспоненте, разрушая естественные экосистемы и ставя тем самым под угрозу

свое будущее. По этой причине вопросы энергетической и экологической безопасности человечества являются наиболее обсуждаемыми. В XX в. человечество в 10 раз увеличило энергопотребление, в 100 раз скорость передвижения и в 1000 раз мощность оружия. В настоящее время за один день в топках и моторах сжигается около 15 млн т угля и 10 млн т нефти, а эффективная энергетическая мощность современной цивилизации приближается к 20 млрд кВт.

Гипертрофированная зависимость мировой экономики от ископаемого топлива несет в себе несколько опасностей. Первая заключается в нарастающей эмиссии парниковых газов (ПГ) и соответствующем усилении парникового эффекта. Современные годовые выбросы мировой экономики превышают 40 млрд т CO₂, из которых в атмосфере ежегодно накапливается не менее 19 млрд т основного ПГ – диоксида углерода. Миллиард автомобилей и тысячи дымовых труб расшатывают климатическую систему Земли. За 150 лет промышленного сжигания угля и нефти в атмосферу выброшено около 2 трлн т CO₂, а средняя температура на планете увеличилась на 1,1 °С [1]. Вторая опасность заключается в том, что запасы угля, нефти и природного газа на Земле конечны. Если человечество будет игнорировать эти опасности и следовать сегодняшней парадигме энергообеспечения, то к концу века цивилизация окажется на подогретой планете и без нефти.

Цель исследования – дать количественную характеристику процессам энерготехнологического перехода. Происходящие климатические изменения беспрецедентны как по скорости событий, так и по их глобальному охвату. Каждые 10 лет в мире происходит потепление на 0,18 °С, в России – на 0,45 °С [1]. Накопленная климатической системой Земли тепловая энергия в количестве $52 \cdot 10^{12}$ Дж меняет картину океанических течений и циркуляцию воздушных потоков, повышает уровень Мирового океана, смещает границы лесов и вечной мерзлоты, повышает частоту наводнений и засух [2]. Постепенно стирается климатическая грань между Арктикой и тропиками, отчего происходят усиленные выбросы CO₂ и метана из оттаивающих вечномерзлых пород.

Неблагоприятные и опасные гидрометеорологические явления по силе воздействия на экономику выходят на первое место. Предполагается, что к 2030 г. ущерб от глобального изменения климата составит 3,2 % мирового ВВП. Уильям Нордхаус – Нобелевский лауреат в области экономики за 2018 г. предлагает выбросы ПГ считать товаром со своей стоимостью. Эта мера приведет к отказу от широкого использования ископаемого топлива, что в первую очередь коснется России, где удельные выбросы CO₂ составляют 1,3 кг/долл. ВВП, что в 4 раза больше, чем, например, в Японии и Франции.

Материалы и методы

В качестве исходных материалов использовались расчетные данные предыдущих исследований автора, данные гидроэнергетического потенциала России, а также оценочных докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата ООН [3–7], в которых утверждается, что влияние человека является «доминирующей причиной наблюдаемого потеп-

ления». Современная наука предсказала поджидающие человечество опасности и призывает постепенно отходить от использования ископаемого топлива, интенсивность которого нарастает год от года (рис. 1). Если предположить, что выбросы ПГ удастся прекратить прямо сейчас, то глобальная температура будет расти еще около 100 лет. Парниковый эффект обладает петлей обратной связи, его легче запустить, чем остановить [1; 3]. Чтобы прекратить антропогенный рост температуры, нужно не только прекратить выбросы, но и ежегодно улавливать из атмосферы и утилизировать около 30 млрд т CO₂, чтобы в текущем столетии изъять из атмосферы 1 трлн т этого накопленного антропогенного ПГ и вернуть концентрацию этого газа в атмосфере до исходного значения 280 ppm.

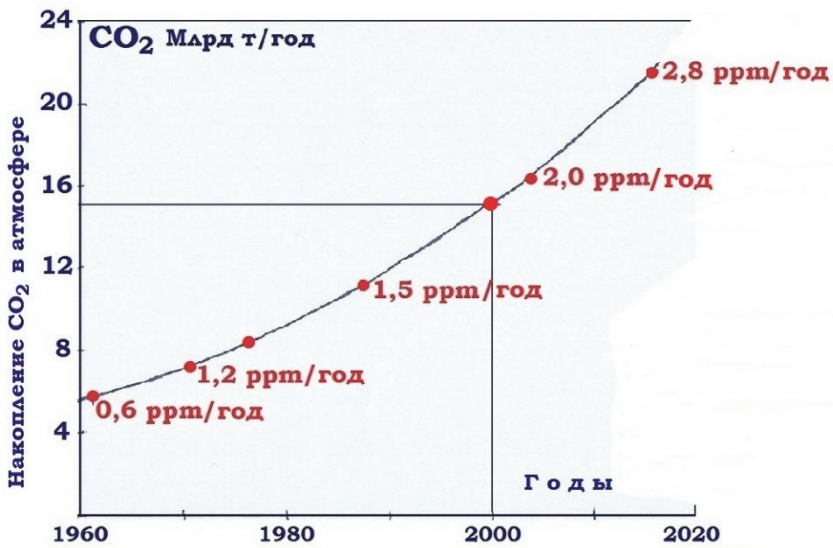


Рис. 1. Абсолютное увеличение содержания CO₂ и темп роста его концентрации в атмосфере Земли с 1960 г. (1 ppm – миллионная объемная доля)

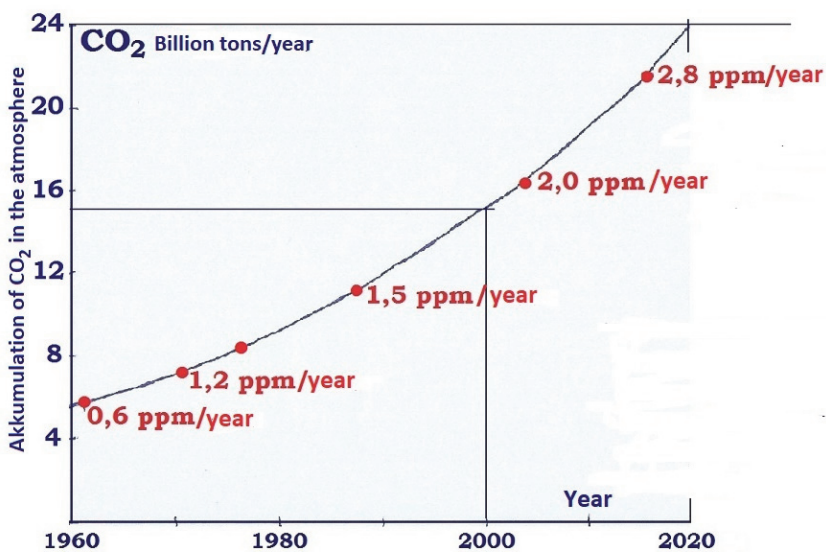


Figure 1. Absolute increase in the global CO₂ emission, and the growth rate of its concentration in the Earth's atmosphere since 1960

Результаты

Парижское соглашение (ПС), которое Россия ратифицировала в сентябре 2019 г., направлено на ограничение роста глобальной температуры максимальным значением 2°C сверх доиндустриального уровня. Для достижения обозначенной цели каждая страна должна внести свой вклад в сторону ужесточения природоохранных мер, в частности ограничить антропогенные выбросы ПГ, чтобы добиться «углеродной нейтральности». Понятие «климатическая углеродная нейтральность» не требует полного исключения глобальных выбросов CO_2 и допускает антропогенные выбросы CO_2 в количестве около 20 млрд т/год, которые способны принять и усвоить Мировой океан и биосфера в целом. По мере роста эмиссии диоксида углерода биосфера постепенно подстраивается под новую более высокую концентрацию CO_2 в атмосфере и наращивает свои фотосинтетические возможности по аккумуляции данного антропогенного газа. Этот невидимый процесс происходит за счет постепенного роста фотосинтезирующей мощности глобальной фитомассы и повышенного закисления Мирового океана. Например, в 1965 г. климатическая система Земли депонировала около 9 млрд т антропогенного CO_2 , а в 2015 г. уже 19 млрд т. Однако при нынешнем темпе роста сжигания ископаемого топлива биосфера не справляется с удалением из атмосферы основного парникового газа. Например, в 1965 г. остались в атмосфере непоглощенными около 5 млрд т антропогенного CO_2 , а в 2015 г. в атмосфере дополнительно накопилось уже около 18 млрд т CO_2 .

В 2017 г. мировая добыча угля, нефти и газа достигла 11,5 млрд т нефтяного эквивалента ($1 \text{ т н. э.} = 44,76 \text{ ГДж}$), произведено и использовано энергии за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ) 945 млн т н. э., на атомных станциях (АЭС) – около 500 млн т н. э. Таким образом, человечество подошло к объему использования энергии в быту, промышленности и на транспорте в количестве 13 млрд т н. э. в год.

Из этого количества Россия использует промышленной энергии около 700 млн т н. э. в год. Кроме этой «классической» энергии человечество использует около $7 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год «энергии жизни», заключенной в продуктах питания [2]. Примерное состояние энергетического обеспечения человеческой цивилизации схематично представлено на рис. 2.

Теоретический потенциал источников возобновляемой энергии солнечного происхождения характеризуется следующими значениями (кВт·ч/год): гидравлическая энергия $0,4 \cdot 10^{14}$; энергия ветра $21 \cdot 10^{14}$; солнечная энергия $1500 \cdot 10^{14}$ [8]. Однако по экономическим и экологическим причинам реализовать этот потенциал в полной мере не представляется возможным. Для получения энергии в промышленных масштабах с использованием солнца и ветра требуются огромные территории, в то время как площадь мировых земельных ресурсов ограничена и составляет 130 млн км² (87 % площади суши). К концу XXI в. расчетная доля различных энергоисточников в мировой энергетике будет примерно соответствовать значениям, приведенным в табл. 1 [4]. Однако ввиду ограниченности возможностей биосферы современный уровень производства энергии в объеме $160 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год только за счет приведенных в табл. 1 долей ВИЭ труднодостижим.

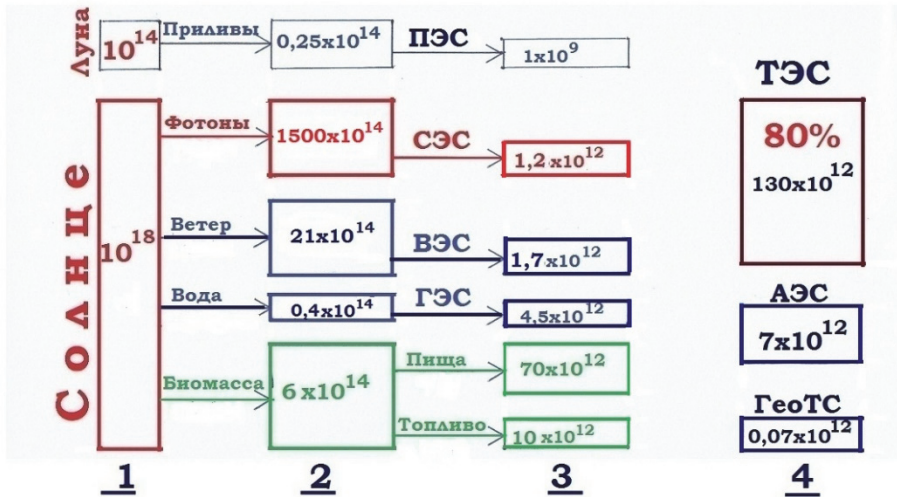


Рис. 2. Энергетика Земли и цивилизации, кВт·ч/год:

1 – лучистая энергия, получаемая Землей от Солнца, и приливная – от Луны; 2 – трансформация получаемой Землей космической энергии в различные формы, доступные для использования человечеством: приливная энергия, тепловая энергия фотонов, ветровая и волновая энергия, энергия испарения воды и океанических течений, энергия синтезируемой биомассы; 3 – объем использования человечеством различных форм возобновляемой энергии; 4 – объем использования человечеством невозобновляемой энергии, полученной Землей в прошлые исторические эпохи: энергия ископаемого топлива (время образования 50–100 млн лет назад), геотермальная энергия (время образования 4,5 млрд лет назад), атомная энергия (время образования более 5 млрд лет назад)

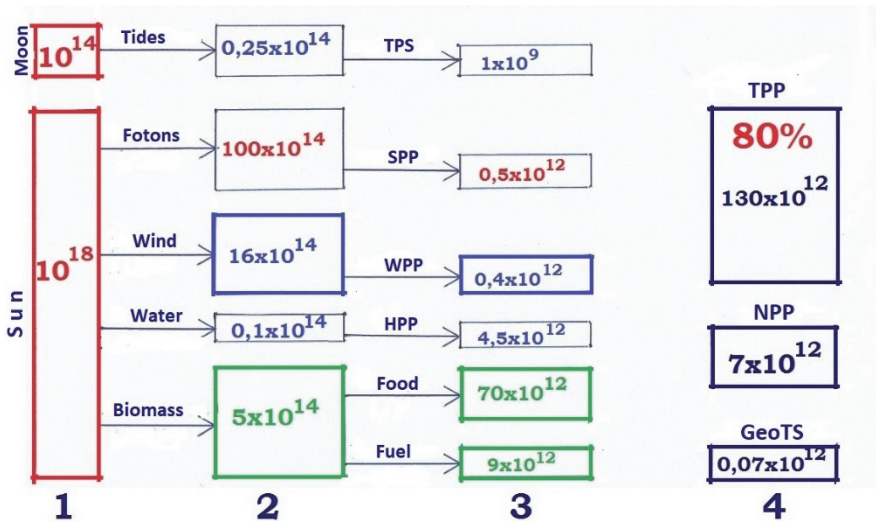


Figure 2. Energy of the Earth and civilization, kWh per year:

1 – radiant energy received by the Earth from the Sun and tidal energy from the Moon;
 2 – transformation of the cosmic energy received by the Earth into various forms available for human: tidal energy, heat energy of photons, wind and wave energy, water evaporation and ocean currents energy, biomass synthesis energy; 3 – amount of various forms of renewable energy used by human;
 4 – amount of nonrenewable energy used by human received by the Earth in past historical epochs: energy of fossil fuels (formed 50–100 million years ago), geothermal energy (formed 4.5 billion years ago), atomic energy (formed more than 5 billion years ago)

Таблица 1

Примерная доля различных источников в мировой энергетике

Годы	Уголь	Нефть	Газ	Биомасса	ГЭС	АЭС	Ветер	Солнце
1900	60	3	2	33	2	–	–	–
2000	28	36	20	5	3	5	1	1
2100	5	5	18	18	6	6	18	18

Table 1

Approximate share of various sources in the global power industry

Years	Coal	Oil	Gas	Biomass	Hydroelectric energy	Nuclear energy	Wind energy	Solar energy
1900	60	3	2	33	2	–	–	–
2000	28	36	20	5	3	5	1	1
2100	5	5	18	18	6	6	18	18

Задача современной мировой энергетики заключается в переводе большей части производства $130 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год топливной энергии на производство возобновляемой энергии. Для решения этой задачи целесообразно использовать площадь пустынь, неудобий и акваторию шельфа, так как сокращать площадь лесов нельзя из экологических соображений, а с сельскохозяйственных угодий – из соображений продовольственной безопасности цивилизации. Развитые страны активно переходят на низкоуглеродную экономику (табл. 2), включающую в себя снижение инвестиций в угольную отрасль и снижение субсидирования использования угля. В 2019 г. страны ЕС произвели с помощью ветра и солнца более 500 млрд кВт·ч электроэнергии, за счет чего снизили сжигание угля примерно на 260 млн т/год и, соответственно, снизили эмиссию CO₂ примерно на 930 млн т/год. В европейских странах движущими силами успешно осуществляемых перемен в энергетике являются высокие налоги и тарифы, а также активность горожан, которые смотрят на налоги как на инвестиции в здоровую и качественную жизнь в будущем.

Таблица 2

Темп ввода установленной мировой мощности различных видов ВИЭ в период 2013–2018 гг., ГВт

Мощность	2013	2018	Прирост, %
Общая	1563	2351	50
ГЭС	1136	1293	14
ВЭС	300	564	88
СЭС	140	486	248
Биоэнергетика	85	116	37
Геотермостанции	11	13,3	24

Table 2

Rate of commissioning of the available global capacities of various types of renewable energy sources in 2013–2018, GW

Capacity	2013	2018	Growth rate, %
Total	1563	2351	50
Hydroelectric power stations	1136	1293	14
Wind farms	300	564	88
Solar power plants	140	486	248
Bioenergy	85	116	37
Geothermal stations	11	13,3	24

В освоении ВИЭ особенно преуспел Китай, который первым в своей конституции провозгласил курс на строительство «экологической цивилизации», а к 2060 г. предполагает добиться «углеродной нейтральности». В настоящее время солнечные и ветровые электростанции Китая ежегодно про-

изводят 630 млрд кВт·ч, а гидравлические – 1300 млрд кВт·ч, что в 7 раз превосходит годовое производство всех российских ГЭС. Обоснованная оценка «незатронутого» экономического потенциала российских рек и приливных электростанций огромна – до 930 ТВт·ч/год. Современная Россия к широкому освоению своих гидроэнергетических ресурсов пока не приступала, уровень их использования является самым низким среди развитых стран.

Таблица 3

Объемы выбросов основных парниковых газов в России, млн т CO₂-экв.

Парниковый газ	1990	2000	2010	2015
CO ₂	2590	1504	1663	1675
CH ₄	942	634	827	860
N ₂ O	183	99	95	91
Всего	3768	2275	2603	2651

Table 3

Volumes of emissions of the main greenhouse gases in Russia, million tons of CO₂ equivalent

Greenhouse gas	1990	2000	2010	2015
CO ₂	2590	1504	1663	1675
CH ₄	942	634	827	860
N ₂ O	183	99	95	91
Total	3768	2275	2603	2651

Россия занимает четвертое место в мире по антропогенным выбросам ПГ (4,8 %), данные о которых представлены в табл. 3 [9]. Если отслеживать динамику выбросов ПГ предприятиями России с 2000 г., когда началось восстановление российской экономики, то видно, что общие выбросы увеличились. В энергетическом секторе России выбросы за этот период также увеличились с 1,84 до 2,20 млрд т CO₂-экв.

В ближайшее время заработает концепция «углеродного следа», в соответствии с которой по всему миру предлагается вводить углеродный налог – плату за выбросы эквивалента диоксида углерода. Многие европейские страны давно ввели такой налог. Например, Великобритания с 2013 г. ввела налог в размере 25 долл./т CO₂, после чего энергетические компании начали быстро переходить с угля на природный газ. Страны ЕС собираются взимать дополнительную трансграничную углеродную пошлину с экспортной продукции из стран, где подобная «углеродная» регуляторная мера не принята на государственном уровне. Эти меры в ближайшем десятилетии обеспечат ценовой паритет себестоимости энергии от возобновляемых и топливных источников. Россия как страна с доминирующим использованием топлива в энергетическом и экспортном балансе оказывается в группе очевидного риска, однако исторической отсрочки происходящего наступления глобального изменения климата ожидать не следует.

Парижское соглашение, по существу, предлагает перейти к новой цивилизации – цивилизации возобновляемых источников энергии. В сегодняшних кризисных условиях мировая экономика постепенно «отсоединяется» от потребления ископаемого топлива и наращивает безуглеродное про-

изводство энергии. К сожалению, в России заметных подвижек в пользу низкоуглеродных источников энергии не наблюдается: объем парниковых выбросов отечественной индустрией в течение последних 20 лет увеличился на 12 % и приблизился к 2,7 млрд т/год. Современная мощность развивающейся мировой солнечной и ветровой энергетики превышает 1200 ГВт, и Россия только к 2024 г. планирует ввести 5,5 ГВт соответствующей мощности, а ввод новых крупных ГЭС вообще не предусматривается. На фоне мировых тенденций выглядит противоречащей здравому смыслу последняя версия Энергетической стратегии РФ, предполагающая «положительную динамику объемов добычи угля». При этом Россия занимает второе место в мире по выбросам CO₂ на душу населения – 11,7 т/год при среднемировом 4,8 т/год. Это означает, что Россия с ее преимущественно сырьевым экспортом размещает на своей территории наиболее загрязняющую часть глобальной производственной цепочки. Страны-импортеры получают российскую сырую нефть, алюминий и никель в чушках, необработанные алмазы и лескругляк, делают из них продукцию с высокой добавленной стоимостью и втридорога продают эту продукцию России.

Достижению целей ПС мешают «климатические скептики», которые утверждают, что человечеству не следует бороться с глобальным потеплением, а нужно всего лишь «адаптироваться к происходящим изменениям окружающей среды». Как писал Марк Твен, «чаще всего мы попадаем в неприятности не потому, что чего-то не знаем, а потому, что не верим в то, что знаем». Эти «активисты» должны понять, что переход к возобновляемым источникам энергии и есть истинное проявление адаптации, которая в полном ее понимании решает две задачи: во-первых, тормозит рост глобальной температуры; во-вторых, готовит человечество к скорому исчерпанию углеводородов. Если Россия с большим экологическим следом своей продукции не будет проявлять активности по декарбонизации экономики, то при введении таможенных платежей в 25 евро за тонну CO₂ потери нашего экспорта по разным оценкам составят от 4 до 6 млрд евро/год. Руководством к действию для предприятий «рентного бизнеса» прозвучали слова на недавнем форуме «Россия вперед», сказанные советником президента РФ, о том, что низкоуглеродная повестка – ключевой фактор в развитии российского экспорта.

Пока же мало что делается, чтобы снять Россию с «иглы сырьевого экспорта» и тем самым вывести страну из состояния стагнирующей экономики. Россия отстает в темпах экономического развития: за последние 30 лет российский ВВП вырос всего на 20 %, в то время как объем мирового ВВП за эти годы увеличился в 2,2 раза. В то же время Комитет по климату Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП) выступает против инициативы ЕС по введению трансграничного углеродного регулирования (ТУР), называя ее «дискриминацией предприятий-экспортеров». В данном случае РСПП не ставит амбициозных задач по достижению Россией углеродной нейтральности к 2050 г., как того требует Парижское соглашение и как это успешно осуществляют ведущие страны мира. Попытки крупного российского бизнеса оттянуть энерготехнологический переход только

углубляют экологический и социально-экономический кризисы, делая их в ближайшие годы драматичными для российского бюджета.

Глобальный переход к низкоуглеродной энергетике целесообразно начинать со снижения сжигания угля как наименее энергоемкого и в то же время наиболее загрязняющего вида топлива, которого в мире добывается более 8 млрд т/год и которое находится на первом месте по глобальным выбросам CO₂ – не менее 24 млрд т/год. При сокращении выбросов CO₂ на 1 т за счет снижения использования нефти необходимо производить с помощью замещающей возобновляемой энергетики 3660 кВт·ч, а для замещения «угольной тонны» выбросов CO₂ требуется выработать всего 1530 кВт·ч замещающей зеленой энергии. Таким образом, уголь в энергетике замещать легче и менее затратно по сравнению с выводом из обращения и замещением энергетической нефти. Именно по этой причине мировая энергетика в первую очередь начинает активно избавляться от угля. Естественно, что при переживаемом человеческой цивилизацией энерготехнологическом переходе нельзя допустить снижения достигнутого уровня энергообеспечения, а также снижения уровня жизни семей миллионов шахтеров.

Таблица 4

Сценарии снижения глобальных выбросов CO₂ за счет снижения использования угля при фиксированном уровне стока диоксида углерода 22 млрд т/год

Снижение сжигания угля, млн т/год	Снижение выбросов, млн т/год	Год выхода на баланс по углероду	Рост CO ₂ в атмосфере, ppm	Итоговая концентрация CO ₂ в атмосфере, ppm	Рост температуры, °	Темп ввода замещающей мощности, ГВт/год
170	620	2050	38	458	0,6	160
255	930	2040	25	445	0,5	240
340	1240	2035	19	439	0,4	320
425	1550	2032	15	435	0,3	400

Table 4

Scenarios to reduce global CO₂ emissions by reducing the use of coal at a fixed level of carbon dioxide flow of 22 billion tons per year

Reduction in coal burning, mln tons/year	Reduction of emissions, mln tons/year	Year of achieving carbon balance	Increase in atmospheric CO ₂ , ppm	Final atmospheric CO ₂ concentration, ppm	Temperature increase, °	Replacement capacity input rate, GW/year
170	620	2050	38	458	0,6	160
255	930	2040	25	445	0,5	240
340	1240	2035	19	439	0,4	320
425	1550	2032	15	435	0,3	400

В дальнейших расчетах можно принять, что из современных 41 млрд т/год глобальных антропогенных выбросов CO₂ для достижения глобальной углеродной нейтральности достаточно снизить выбросы на 19 млрд т/год, так как остальные 22 млрд т/год диоксида углерода поглощаются Мировым океаном и мировой растительностью. В расчетах также примем, что достижение углеродной нейтральности мировым сообществом будет осуществляться исключительно за счет снижения использования энергетического угля, при сжигании 1 т которого выбрасывается 3,6 т CO₂. Примем также следующие условия: при выработке 1 кВт·ч электроэнергии на угольной ТЭС расходуется

0,45 кг угля с удельным теплосодержанием 20 МДж/кг; КПД-нетто 32 %; коэффициент использования установленной мощности [10] солнечными электростанциями (СЭС) равен 15 %, ветровыми (ВЭС) – 25 %, гидравлическими (ГЭС) – 40 %.

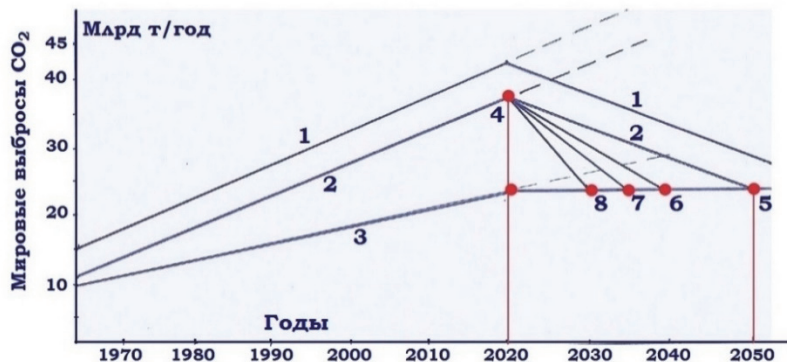


Рис. 3. Сценарии темпов глобального снижения использования энергии угля, млн т/год: 1 – выбросы CO₂ общие; 2 – выбросы CO₂ от сжигания ископаемого топлива; 3 – поглощение выбросов CO₂ растительностью суши и Мировым океаном; 4 – момент начала снижения сжигания ископаемого топлива и выбросов; 5, 6, 8 – темпы снижения сжигания угля 170, 255, 340, 425 млн т/год соответственно

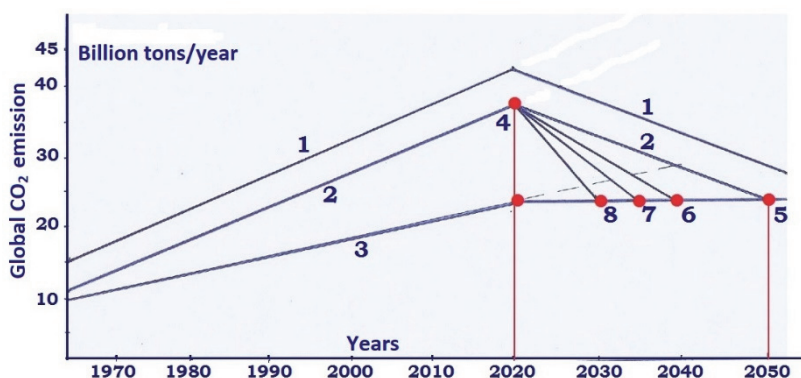


Figure 3. Scenarios of the rates of global decline in the use of coal energy, million tons per year: 1 – total CO₂ emissions; 2 – CO₂ emissions from burning of fossil fuels; 3 – absorption of CO₂ emissions by ground vegetation and the World Ocean; 4 – moment of the start of the decline in fossil fuel burning and emissions; 5, 6, 7, 8 – rate of decline in coal combustion 170, 255, 340, 425 million tons per year respectively

Для решения климатической проблемы человечество может в сфере энергетики реализовать несколько сценариев, отличающихся по темпу снижения выбросов диоксида углерода в атмосферу (табл. 4). Наиболее осуществимым их них является следующий: начиная с 2021 г. человечество ежегодно снижает использование угля на 170 млн т, что обеспечит снижение выбросов CO₂ примерно на 620 млн т/год (рис. 3). При таком сценарии вещественный баланс углерода «эмиссия – сток» будет достигнут примерно к 2050 г. при накопленной к тому времени концентрации CO₂ в атмосфере около 460 ppm (рис. 4). Темп снижения сжигаемой массы угля на 170 млн т/год с общей теплотворной способностью 944 млрд кВт·ч/год подтверждается возможностью обеспечения замещения выводимой из эксплуатации мощности тепловой энергетики альтернативными источниками энергии. Реальность по-

добного замещения подтверждается введенной в мире в 2017 г. мощностью 140 ГВт альтернативной (солнечной, ветровой, гидравлической и атомной) генерации.

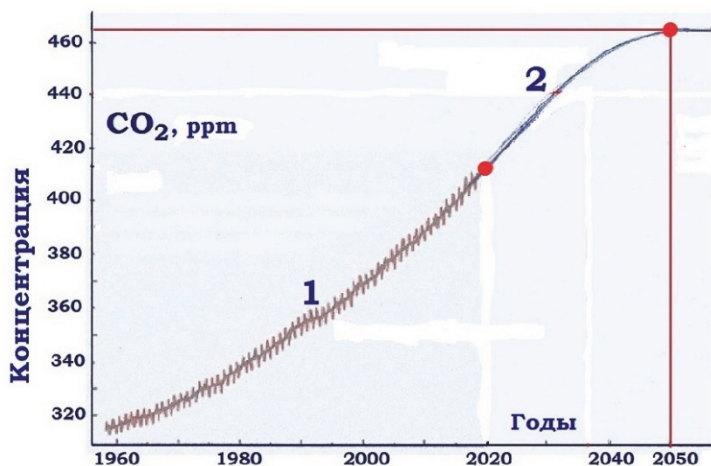


Рис. 4. Реальный рост концентрации в атмосфере антропогенного CO_2 (1) и его прогнозируемая стабилизация (2) при снижении глобальных выбросов на 620 млн т/год

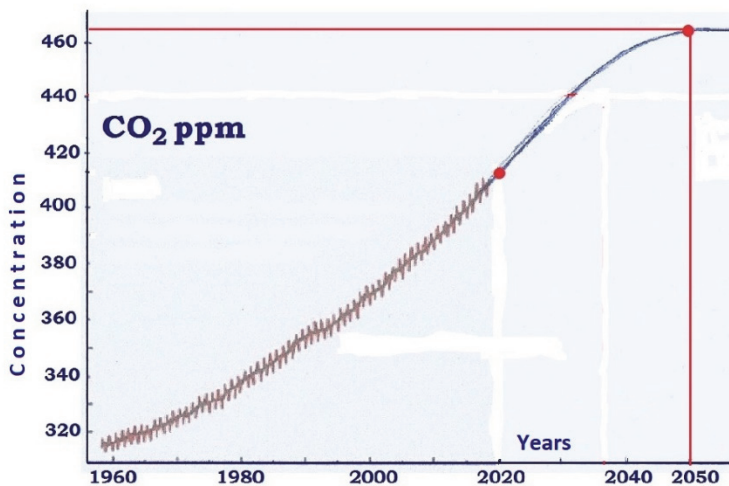


Figure 4. Real increase in the concentration of anthropogenic CO_2 in the atmosphere (1) and its predicted stabilization (2) with a decrease in global emissions by 620 million tons per year

Для выполнения Россией обязательств по достижению углеродной нейтральности к 2050 г. достаточно в энергетическом секторе снижать сжигание угля на 8 млн т/год (4,8 % доли России от мирового уровня) и одновременно с этим обеспечивать рост совокупной выработки 14 млрд кВт·ч/год электроэнергии всеми видами ВИЭ. Чтобы обеспечить названный ежегодный рост выработки замещающей альтернативной электроэнергии потребуется ежегодно вводить в эксплуатацию или 10,6 млн кВт/год мощности СЭС, или 6,4 млн кВт/год мощности ВЭС, или 4,0 млн кВт/год мощности ГЭС. При примерно одинаковой стоимости капитальных затрат на единицу вводимой мощности использование зеленой гидравлической энергии в качестве замещающей угольную энергетику является наименее затратной и более эффективной.

Сегодняшняя ситуация в России во многом напоминает эпоху вековой давности – начала реализации в 1920 г. Плана ГОЭЛРО по реконструкции всех отраслей экономики с опережающим развитием энергетики: та же подсеченная пандемией экономика, тот же доминирующий сырьевой экспорт, тяжелый экологический кризис, та же политическая и санкционная блокада со стороны коллективного Запада. Можно сказать, что реализация и отзвук того грандиозного плана в значительной степени определяют современную отечественную экономику и энергетику. Необходимость и масштаб создания обновленной энергетической отрасли России, а также необходимость и значимость отхода от сырьевого экспорта ископаемого топлива таковы, что могут стать базисом разработки нового современного плана ГОЭЛРО-2.

Мы видим, что «невидимая рука рынка» много лет не может вывести Россию на путь устойчивого развития. Здесь без жесткого государственного регулирования не обойтись. Представляется, что сегодня самое подходящее время обратиться к успешному опыту молодой Советской Республики и подготовить соответствующий «дерзновенный проект», предусматривающий достижение целей Парижского соглашения, переход к электрификации страны на основе проверенной гидравлической и других видов возобновляемой энергии, а также сокращение экспорта ископаемого топлива за счет развития современных высокотехнологичных угле- и нефтехимических производств. В складывающейся реальности российским гидроэнергетикам следует определить свою амбициозную долю российской квоты по вводу до 2050 г. замещающей мощности ВИЭ. Масштаб и значимость доли новой гидроэнергетики в ВИЭ могут стать базисом современного плана ГОЭЛРО-2.

В настоящее время установленная мощность мировых ГЭС составляет 1,3 млрд кВт, которые вырабатывают около $4,2 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год, то есть менее половины от теоретически возможного уровня. Особенно преуспел в освоении гидроэнергоресурсов Китай, который в последние годы ежегодно вводил в эксплуатацию более 20 млн кВт мощности ГЭС, а к 2050 г. планирует удвоить мощность гидроэнергетики. В Бразилии три крупнейшие ГЭС – Итайпу, Бело Монте и Тукуруи – вырабатывают 169 млрд кВт·ч/год – ровно столько вырабатывают все ГЭС России. В развитых странах, где ресурсы углеводородов близки к исчерпанию, освоено от 60 до 90 % гидроэнергопотенциала.

К сожалению, в России уровень использования гидроэнергоресурсов остается самым низким среди развитых стран мира – не более 20 % гидропотенциала. Обоснованная оценка неиспользованного гидроэнергетического потенциала рек России составляет 660 ТВт·ч/год [5]. При соответствующих инвестициях российские гидростроители, используя советский опыт, могут вводить в эксплуатацию в период 2025–2050 гг. в среднем по 1 ГВт в год гидроэнергетических мощностей с обеспечением общей дополнительной выработки до 120 ТВт·ч/год (табл. 5).

Нельзя исключать из сферы внимания гидроэнергетиков возможности приливных станций (ПЭС). Природные условия России позволяют построить ПЭС с суммарной мощностью 120 тыс. МВт и годовой выработкой «лунных киловаттов» 270 ТВт·ч. С 1966 г. во Франции успешно работает ПЭС «Ля Ранс»

мощностью 240 кВт с амплитудой приливов до 8 м. За время работы станция давно себя окупила и производит 640 млн кВт·ч/год себестоимостью всего 1,8 цента за кВт·ч. В 2011 г. в Южной Корее введена в строй ПЭС мощностью 254 МВт с годовой выработкой 553 ГВт·ч. Сегодня там в стадии строительства находятся две более мощные станции на 520 МВт и 1,3 ГВт. Еще во времена СССР были спроектированы более мощные проекты Тугурской ПЭС на Охотском море мощностью до 8 ГВт и Мезенской ПЭС на Белом море мощностью до 24 ГВт и годовой выработкой 40 млрд кВт·ч. Таким образом, в современном мире с его экологическими кризисами и скачками цен на нефть, газ и уголь гидравлическая энергия современных и будущих ГЭС России выглядит надежной и чистой.

Таблица 5

Пример возможной выработки электроэнергии на новых ГЭС России к 2050 г.

Бассейн	Экономически обоснованный гидропотенциал, ТВт·ч/год	Дополнительная выработка, ТВт·ч/год
Каспийский	65	5
Баренцево-Беломорский	34	5
Енисейский	283	60
Ленский	235	30
Обский	73	10
Амурский	32	5
Северо-Восточные моря	–	5

Table 5

Example of potential electric energy generation at new hydro-electric power stations in Russia by 2050

Basin	Economically justified hydro potential, TeraWatt-hour/year	Additional generation, TeraWatt-hour/year
Caspian	65	5
Barents-White Sea	34	5
Yenisei	283	60
Lena	235	30
Ob	73	10
Amur	32	5
Northeast Seas	–	5

В России экологически и экономически эффективной альтернативой «угольным проектам» является развитие гидроэнергетики, которая является наиболее чистым способом получения финальной энергии. В состав плана ГОЭЛРО-2 может естественно вписаться федеральная целевая программа развития гидроэнергетики с четким обозначением показателей по срокам и поэтапному вводу порядка 30 ГВт гидроэнергетической мощности. Гидроэнергетика как основной источник зеленой энергии и как наиболее прибыльный способ получения финальной энергии всегда рентабельна: себестоимость киловатт-часа составляет не более 5 центов. В мире на 1 кВт·ч электроэнергии производится до 1 долл. продукции и услуг в составе ВВП – это означает, что эффект от инвестиций в эту отрасль многократный. Нужно вернуться к рассмотрению вариантов строительства таких крупных сибирских ГЭС, как Братская и Саяно-Шушенская, общая выработка которых превышает совокупную выработку всех станций Волжско-Камского каскада.

Освоение российской Арктики и портов Северного морского пути потребует мощной энергетической инфраструктуры, основу которой могут составить ГЭС в бассейнах таких рек, как Нижняя Тунгуска, Подкаменная Тунгуска, Индигирка, Лена, Колыма, Анадырь, а также мощные приливные станции в бухтах Белого, Баренцева и Охотского морей с обеспечением суммарной выработки до 120 ТВт·ч/год.

Естественной составной частью ГОЭЛРО-2 может стать Стратегия долгосрочного развития РФ с низким уровнем выбросов ПГ до 2050 г. Хорошим подспорьем плану станет разрабатываемый проект федерального закона «О государственном регулировании выбросов парниковых газов», закладывающий меры по снижению выбросов: сборы за превышение уровня выбросов, углеродный налог, квотирование, углеродная отчетность. План ГОЭЛРО-2 перенаправит миллионы тонн угля от сжигания в котлах на развитие в шахтерских городах углехимии с крупнотоннажным производством метанола, водорода, синтез-газа и сотен других полезных продуктов. В соответствии с планом ГОЭЛРО-2 российские добывающие компании перенаправят большую часть экспортного потока из миллионов тонн угля и сырой нефти в сторону экспорта продукции отечественной угле- и нефтехимии с высокой добавленной стоимостью. Собственное развернутое производство синтетических продуктов из угля и нефти гарантированно наполнит российский бюджет и создаст сотни тысяч новых высокооплачиваемых рабочих мест. План должен предусматривать ускоренную газификацию не «чуждой нам Европы», а собственных населенных пунктов, чтобы над городами нашей Родины было голубое, а не черное небо.

Заключение

Человечество находится в начале долгого пути по развитию альтернативных способов получения энергии. Подключение России к Парижскому соглашению Рамочной конвенции ООН по изменению климата является политически и экономически оправданным шагом. Активное участие России в Парижском соглашении во многом решит вопросы стабилизации климата и развития отечественной экономики и, что важно, не позволит России отстать от технологической революции.

Следуя целям Парижского соглашения, мировая энергетика должна перевести значительную часть производства топливной энергии на производство возобновляемой энергии. К концу XXI в. доли различных источников в структуре мировой энергетике видятся следующими: тепловая – 28 % с доминированием газового топлива; солнечная, ветровая и биоэнергетика – по 18 %; гидроэнергетика – 6 %. Ввиду ограниченности ассимиляционных возможностей биосферы современный уровень производства промышленной энергии $160 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год только за счет возобновляемых источников практически невозможен.

Наименее напряженным и затратным сценарием достижения углеродной нейтральности к 2050 г. является снижение глобальных выбросов диоксида углерода за счет снижения использования угля на 170 млн т/год, которое обеспечит соответствующее снижение глобальных выбросов на 620 млн т/год и достижение вещественного баланса углерода в системе «эмиссия – сток».

При реализации данного сценария необходимо вводить в эксплуатацию около 160 ГВт/год альтернативных замещающих мощностей, в результате чего к 2050 г. концентрация диоксида углерода в атмосфере увеличится до 460 ppm, а глобальная температура повысится до 1,7 °С по сравнению с доиндустриальным уровнем.

Доля России в процессе глобального снижения использования угля до 2050 г. составляет 8 млн т/год с обеспечением роста выработки на 14 млрд кВт·ч/год замещающей электроэнергии с помощью ВИЭ. Подобное увеличение выработки электрической энергии может быть обеспечено, например, за счет ежегодного ввода 10,6 млн кВт мощностей солнечных станций или 4,0 млн кВт мощностей гидравлических станций.

Гидроэнергетику следует уверенно позиционировать как источник возобновляемой зеленой энергии, являющийся естественным продолжением солнечной энергетики, развитие которой экологически и экономически целесообразно в качестве альтернативы «угольным проектам». В складывающейся реальности российским гидроэнергетикам следует определить свою амбициозную долю российской квоты по вводу до 2050 г. замещающей альтернативной энергетики.

Одним из прогрессивных решений по достижению Россией целей Парижского соглашения является широкое строительство ГЭС в Сибири и на Дальнем Востоке, а также приливных станций на шельфе и маневровых гидроаккумулирующих станций в европейской части России. Необходимо в обсуждаемом правительственном проекте документа «Стратегия долгосрочного развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.» предусмотреть разработку федеральной целевой программы ускоренного развития гидроэнергетики с четким обозначением показателей по срокам и поэтапному вводу к 2050 г. в эксплуатацию до 30 ГВт общей гидроэнергетической мощности с дополнительной выработкой электроэнергии до 120 ТВт·ч/год.

Список литературы

- [1] Юлкин М.А. Низкоуглеродное развитие: от теории к практике. М.: АНО «Центр экоинвестиций», 2018. 80 с.
- [2] Тетельмин В.В., Пимашиков П.И. Биосфера и человек. Глобальное потепление. М.: ЛЕНАНД, 2020. 330 с.
- [3] Тетельмин В.В. Физика и проблемы антропогенного изменения климата // Вестник РАЕН. 2019. № 4. С. 29–35.
- [4] Tetelmin V.V., Grachev V.A. Limits to the growth of the world alternative energy // American Scientific Journal. 2019. Vol. 1. No. 26. Pp. 46–52.
- [5] Асарин А.Е., Данилов-Данилян В.И. Гидроэнергетический потенциал России // Энергетика России: труды Научной сессии РАН. М.: Наука, 2006. С. 315–326.
- [6] IPCC AR5, 2013. Climate change 2013. The physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
- [7] IPCC. 2014 b. Climate change 2014. Impacts, adaptation and vulnerability. Part A. Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed. by C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 1132 p.
- [8] Лю Ч. Глобальное энергетическое объединение. М.: Изд. дом МЭИ, 2016. 512 с.

- [9] Соловьянов А.А. Климат, российская энергетика и Парижское соглашение // Сборник трудов Всероссийского НИИ охраны окружающей среды. М.: ВНИИ Экология, 2019. С. 96–106.
- [10] Фортвов В.Е., Понпель О.С. Энергетика в современном мире. М.: Интеллект, 2011. 168 с.

References

- [1] Julkin M. *Low-carbon development: from theory to practice*. Moscow: ANO Publ.; 2018. (In Russ.)
- [2] Tetelmin VV, Pimashkov PI. *Biosphere and human. Global warming*. Moscow: LENAND Publ.; 2020. (In Russ.)
- [3] Tetelmin VV. Physics and problems of global climate change. *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2019;(4):29–35. (In Russ.)
- [4] Tetelmin VV, Grachev VA. Limits to the growth of the world alternative energy. *American Scientific Journal*. 2019;1(26):46–52.
- [5] Asarin AE, Danilov-Danilyan VI. Hydropower potential of Russia. *Energy of Russia: Proceedings of the Scientific Session of the Russian Academy of Sciences*. Moscow: Nauka Publ.; 2006. p. 315–326. (In Russ.)
- [6] IPCC AR5, 2013. *Climate change 2013. The physical science basis*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013.
- [7] Field CB, Barros VR, Dokken DJ. (eds.) IPCC. 2014 b. *Climate change 2014. Impacts, adaptation and vulnerability. Part A. Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2014.
- [8] Lu C. *Global Energy Consolidation*. Moscow: MEI Publ.; 2016. (In Russ.)
- [9] Soloviyanov AA. Climate, Russian energy and the Paris Agreement. *Trudy VNIИ Okhrani OS*. Moscow: VNIИ Ecologiya Publ.; 2019. p. 96–106. (In Russ.)
- [10] Fortov VE, Poppel OS. *Energy in the modern world*. Moscow: Intellect Publ.; 2011. (In Russ.)

Сведения об авторе:

Тетельмин Владимир Владимирович, доктор технических наук, академик РАЕН, председатель Научно-технического совета, Всероссийское общество охраны природы, профессор Института экологии, Российский университет дружбы народов. E-mail: v-tetelmin@rambler.ru

Bio note:

Vladimir V. Tetelmin, Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Chairman of the Scientific and Technical Council, All-Russian Society for Nature Conservation, Professor of the Institute of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). E-mail: v-tetelmin@rambler.ru