

УДК 620.9

ЭНЕРГЕТИКА, ДЕМОГРАФИЯ, КЛИМАТ – ЕСТЬ ЛИ АЛЬТЕРНАТИВА ОТКАЗУ ОТ ИСКОПАЕМОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА?

© 2022 г. Академик РАН В. В. Клименко^{1,2,*}, академик РАН А. В. Клименко³,
О. В. Микушина^{1,2}, А. Г. Терешин^{1,2,**}

Поступило 12.05.2022 г.

После доработки 19.05.2022 г.

Принято к публикации 25.05.2022 г.

Исследуются альтернативные сценарии развития мировой энергетики, основанные на низких вариантах изменения численности населения планеты, с точки зрения предотвращения опасных глобальных изменений климата. Показано, что для удержания повышения среднеглобальной температуры в безопасных пределах при сохранении современных темпов роста энергопотребления и населения планеты необходима радикальная перестройка мировой энергетики – “великий энергопереход” – с полным отказом от использования органического топлива уже в ближайшие десятилетия, что представляется невозможным с учетом инерционности развития и распространения энергетических технологий. С использованием авторских подходов к прогнозированию объема и структуры мирового энергопотребления сформированы альтернативные сценарии эмиссии диоксида углерода при осуществлении низких, но вполне реальных вариантов демографической динамики. На основе расчетов на моделях глобального углеродного цикла и климата показано, что развитие естественных демографических процессов способно сдержать рост и обеспечить дальнейшее снижение концентрации углекислого газа в атмосфере Земли, ограничив повышение среднеглобальной температуры вполне безопасным уровнем в 1.8°C по сравнению с доиндустриальным периодом без крупномасштабной перестройки мировой энергетики.

Ключевые слова: энергопотребление, энергопереход, декарбонизация, демография, изменения климата, модели, сценарии

DOI: 10.31857/S2686740022070070

ВВЕДЕНИЕ

Геологическая история Земли и населяющей ее цивилизации развивается по своим естественным законам, для которых, в отличие от экономических и гуманитарных проблем, геополитические возмущения не столь значимы. Поэтому проблема глобальных изменений климата, которая мировым научным сообществом признана как одна из важнейших для благополучия человечества [1], неизменно сохраняет свое значение. Правительства большинства стран мира, осознавая потенциальную угрозу развития глобального потепления для мировой экономики,

последовательно принимали важные решения по ограничению антропогенного воздействия на климат (Рамочная конвенция ООН об изменении климата, 1992; Киотский протокол, 1997; Парижское соглашение РКИК, 2015; Пакт Глазго, 2021), направленные на предотвращение повышения среднеглобальной температуры более чем на 1.5°–2.0° по сравнению с доиндустриальным периодом (1850–1900 гг.) – уровнем, признанным максимально допустимым [1].

Однако, как было показано в [2–4], меры, предусмотренные Парижским соглашением, не способны обеспечить достижение этой цели, и лишь новые масштабные ограничения, накладываемые недавним Пактом Глазго (2021), теоретически позволяют реализовать эту возможность. Вместе с тем воплощение курса Глазго потребует беспрецедентных усилий во всех основных отраслях мировой экономики – энергетике, транспорте, сельском и лесном хозяйстве – и сегодня выглядят трудновыполнимыми. Авторы настоящей работы не раз выражали сомнение в том, что мировое сообщество располагает реальными возможностями для удержания повышения средней

¹ Национальный исследовательский университет “МЭИ”, Москва, Россия

² Институт энергетических исследований Российской академии наук, Москва, Россия

³ Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”, Москва, Россия

*E-mail: nilgpe@mpei.ru

**E-mail: TereshinAG@mpei.ru

глобальной температуры в заданных пределах. Эта задача действительно выглядит почти неразрешимой, но только в том случае, когда народонаселение мира продолжит свой безостановочный рост в период вплоть до конца столетия.

ДЕМОГРАФИЯ

Именно так сегодня выглядит демографическая картина мира в представлении Отдела народонаселения ООН (далее ООН) (рис. 1), согласно которой численность населения мира стабилизируется в конце столетия на уровне 9–11 млрд чел., т.е. примерно на четверть выше современного. Соответственно, и влияние на окружающую среду (без применения дополнительных ограничительных мер) также обречено на возрастание в ближайшие десятилетия. Совершенно очевидно, что масштаб этого влияния критическим образом зависит от того, какому именно из представленных на рис. 1 сценариев суждено осуществиться. Случилось так, что представления ООН играют доминирующую роль в области демографического прогнозирования. В самом деле, почти во всех известных нам прогнозах развития энергетики, промышленности, сельского и лесного хозяйства, транспорта используется только один долгосрочный демографический прогноз¹ – это медианный прогноз ООН, который выпускается на регулярной основе каждые два года, начиная с 1980-х гг., а нерегулярно – с 1951 г. Такая беспредельная вера в единственный источник прогноза не встречается ни в одной другой области современного знания и вызвана в немалой степени тем, что ООН до сих пор, по-видимому, хорошо справляется с возложенной на нее миссией. Например, численность народонаселения мира, составившая 7.79 млрд чел. в 2020 г., практически точно совпадает с прогнозом 1980 г. [8], но, правда, сильно отличается от прогноза 1973 г. в 8.42 млрд чел. и даже прогноза 1990 г. в 8.09 млрд чел. [9]. Таким образом, все, что известно сейчас – это способность ООН продуцировать удовлетворительные прогнозы с точностью до 5% на горизонтах до 40 лет [9], но про качество более далеких прогнозов сегодня сказать ничего нельзя, поскольку горизонты дальностью более 50 лет вошли в обращение лишь в 1994 г., а свыше 80 лет – только в 2010 г. Однако теперь, в свете событий последних десятилетий, уже не кажется невероятным резкое снижение фертильности² во многих

странах мира до уровня гораздо ниже простого воспроизводства населения и поэтому стоит приоткрыть к тем демографическим прогнозам, которые достаточно тщательно и подробно изучают такую возможность.

На недостатки прогнозов ООН обращают внимание ряд современных исследователей [6, 7, 10, 11]. Главный недостаток этих прогнозов видится в весьма произвольном предположении о финальной конвергенции фертильности к единому значению в 1.75 для всех стран мира, преодолевших в своем развитии порог фертильности в 2.1, соответствующий простому воспроизводству населения. Однако в последнюю четверть столетия появились десятки стран, в которых фертильность упала гораздо ниже 1.75 и остается на этом чрезвычайно низком уровне десятилетиями (Греция, Италия, Польша, Таиланд, Тайвань, Южная Корея и др.). Оказывается также, что финальные значения фертильности прекрасно коррелируют с двумя ключевыми социальными факторами – продолжительностью обучения и доступностью средств регулирования рождаемости для женщин репродуктивного возраста. Учет этих новых обстоятельств позволяет выстроить более обоснованные демографические модели, которые предсказывают достижение пика численности населения мира уже через несколько десятилетий с заметной последующей депопуляцией до конца столетия. Анализ публикаций последних лет показывает, что численность населения планеты в конце текущего столетия скорее может находиться в пределах 6–9 млрд чел. (рис. 2), что, несомненно, должно сказаться на воздействии земной цивилизации на окружающую среду. В этой системе воззрений медианный прогноз ООН является вовсе не золотой серединой, как многие склонны полагать, а верхней огибающей целого семейства альтернативных сценариев (рис. 2). В настоящей работе используются два таких сценария [10] вместе с традиционным медианным сценарием ООН [12].

ЭНЕРГЕТИКА И ВЫБРОСЫ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

В первую очередь вышеупомянутые демографические процессы повлияют на мировое энергопотребление. Как было показано ранее [13], в результате постиндустриального развития удельное душевое энергопотребление стабилизируется на уровне, в основном определяемом природно-географическими условиями, и в среднем по миру составит около 3 т у.т./чел. год, что почти не отличается от современного. Это означает, что динамика будущего энергопотребления практически полностью определена демографическим фактором.

¹ Едва ли не единственным исключением подобного рода является предпоследний доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [5], в котором был использован альтернативный демографический прогноз Института прикладного системного анализа [6, 7].

² Фертильность – ключевой демографический фактор, определяемый как количество рождений, приходящееся на одну женщину репродуктивного возраста (15–49 лет).

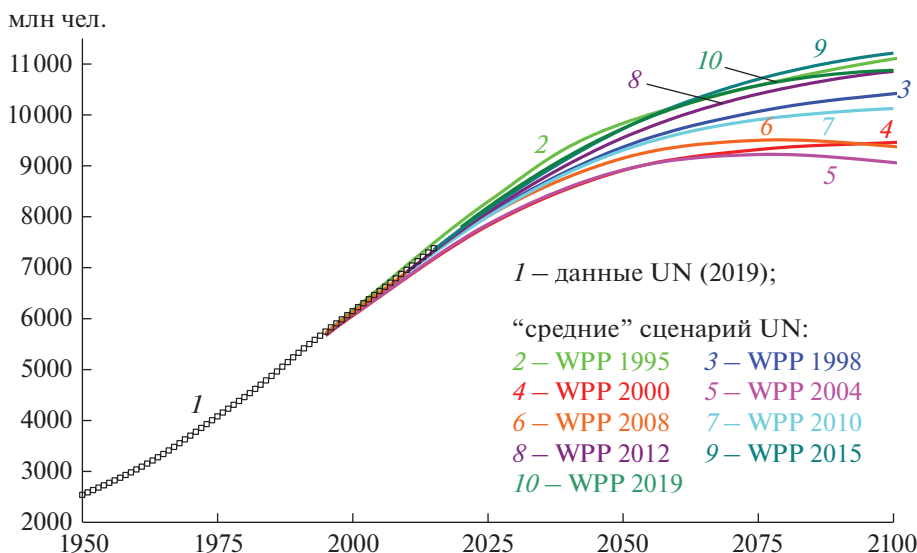


Рис. 1. Эволюция “средних” сценариев численности мирового населения ООН по оценкам 1995–2019 гг. и данные демографической статистики [12].

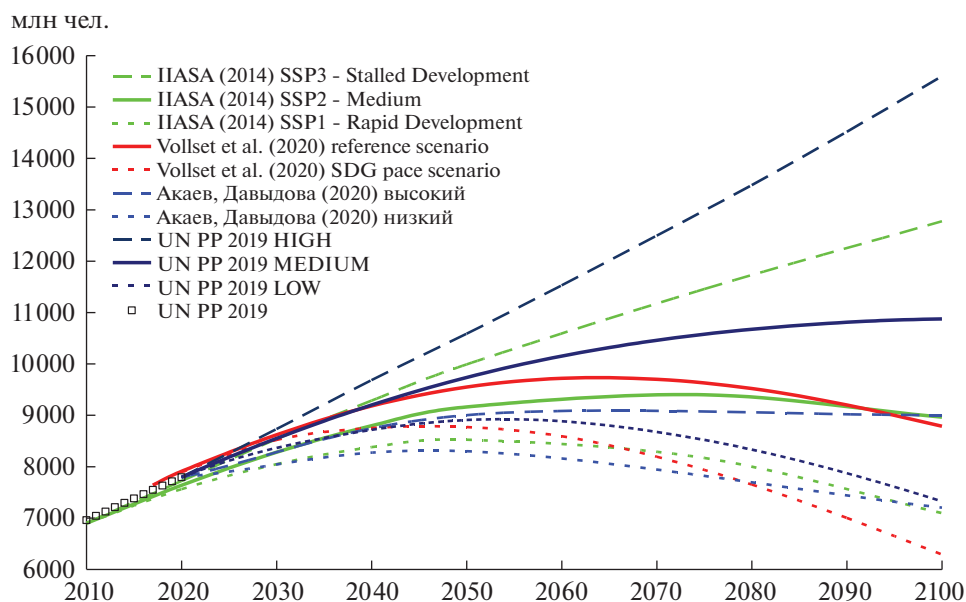


Рис. 2. Сценарии численности населения мира [6, 10–12].

Для настоящих расчетов мы используем два демографических сценария из работы [10] – высокий “базовый (reference)” и более низкий “устойчивый (SDG)” как наиболее аргументированные с медицинской точки зрения и находящиеся в верхней и нижней частях диапазона депопуляционных сценариев (рис. 2).

В этом случае снижение численности населения приводит к уменьшению потребления энергии в мире (рис. 3), которое к концу столетия может достигнуть 20–40% от базового варианта

(примерно 30 млрд т у.т. к 2100 г.). Более того, в радикальном сценарии SDG валовое энергопотребление уже к середине столетия прекращает свой рост, а к концу века и вовсе оказывается ниже современного.

Уменьшение потребления энергии неминуемо приводит к снижению эмиссии основного парникового газа – диоксида углерода. В настоящей работе мы рассматриваем два варианта развития мировой энергетики в текущем столетии:

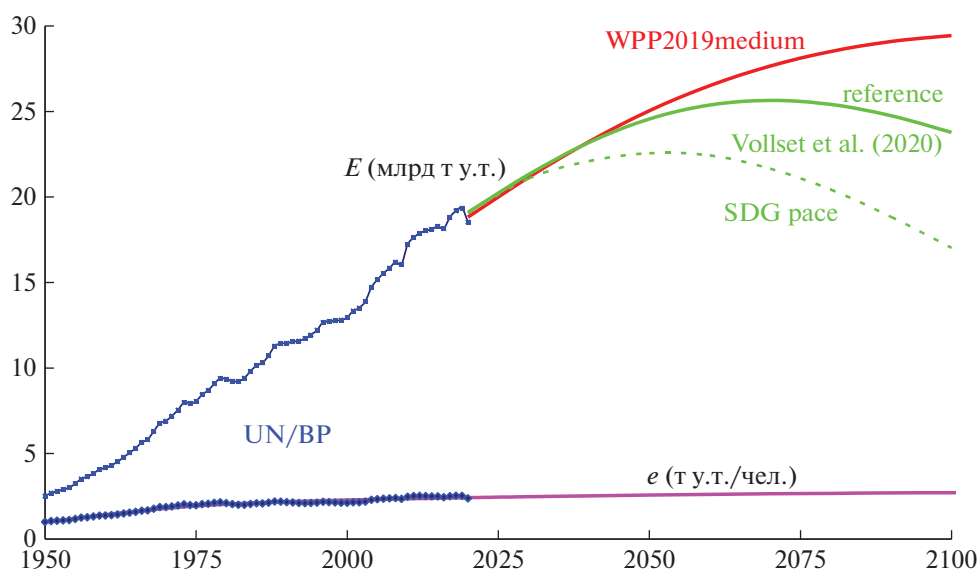


Рис. 3. Валовое (E) и удельное (e) коммерческое энергопотребление по демографическим сценариям WPP2019 medium [12], reference и SDG [10] вместе с историческими данными UN/BP.

1) “const CC rate” — сохранение темпов снижения углеродной интенсивности энергопотребления, предусмотренных Парижским соглашением (примерно 0.8% в год) [2];

2) “const nonCO2 rate” — сохранение темпов развития безуглеродных источников энергии (ГЭС, АЭС, НВИЭ), необходимых для выполнения условий Парижского соглашения, при которых ежегодное производство энергии с их помощью к 2100 г. достигнет примерно 20 млрд т у.т. [2].

В результате мировая индустриальная эмиссия диоксида углерода после 2030 г. существенно снижается, на 15–40% по сравнению с базовым Парижским сценарием из [2], а в наиболее радикальном варианте — даже в 10 раз к концу столетия (рис. 4).

КОНЦЕНТРАЦИИ CO_2 И СРЕДНЕГЛОБАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Результаты расчетов изменения среднеглобальной концентрации диоксида углерода для двух вариантов развития мировой энергетики по демографическим сценариям [10] “reference” и “SDG” представлены на рис. 5. Снижение индустриальной эмиссии углекислого газа за счет демографически обусловленного уменьшения энергопотребления существенно меняет тенденции изменения содержания этого основного парникового газа в атмосфере Земли и формирует максимум концентрации CO_2 во второй половине столетия на уровне 500–520 млн⁻¹, за которым следует ее дальнейшее снижение.

Изменения выбросов прочих парниковых газов (метан, закись азота, хлорфторуглеводороды и пр.), а также оксидов серы и соответствующий радиационный форсинг (изменения теплового радиационного баланса атмосферы) принимались пропорциональными снижению численности населения для каждого из демографических сценариев по сравнению с базовым (“Парижским”) сценарием.

Выполненные на комбинированной климатической модели МЭИ расчеты изменения среднеглобальной температуры по используемым демографическим сценариям представлены на рис. 6 вместе с оценками из недавней работы [14] для сценария имплементации инициатив по трансформации мировой энергетики конференции сторон РККИК ООН в Глазго (2021).

Следует отметить, что рассмотренные здесь альтернативные демографические сценарии [10] не предполагают осуществление жестких насильственных мер по ограничению рождаемости — напротив, даже наиболее радикальный сценарий SDG непосредственно вытекает из Целей устойчивого развития, провозглашенных Генеральной Ассамблеей ООН в 2015 г., предусматривающих распространение современных образовательных, медицинских и гигиенических стандартов на развивающиеся страны. Тем более поразительно, что по сути глобальная гуманитарная акция оказывает на динамику климата эффект в перспективе даже больший, чем осуществление Великого энергетического перехода (рис. 6). Демографический переход позволяет достичь главной цели Парижского соглашения, используя преимущественно гуманитарные средства без болезненной

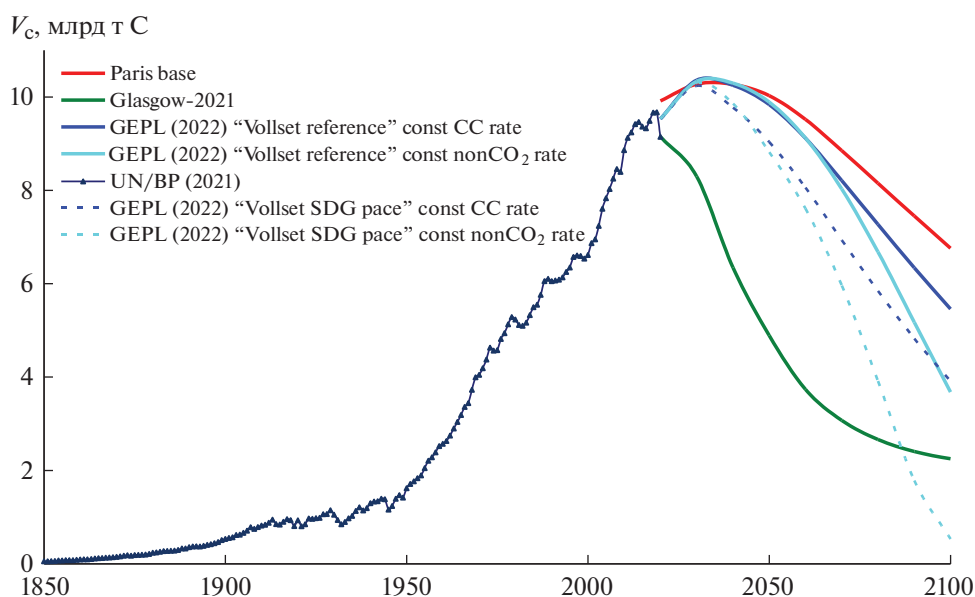


Рис. 4. Индустриальная эмиссия CO_2 : базовый Парижский сценарий [2], сценарий Глазго-энергопереход [14] и расчеты настоящей работы для двух вариантов демографических сценариев [10] вместе с историческими данными CDIAC/UN/BP.

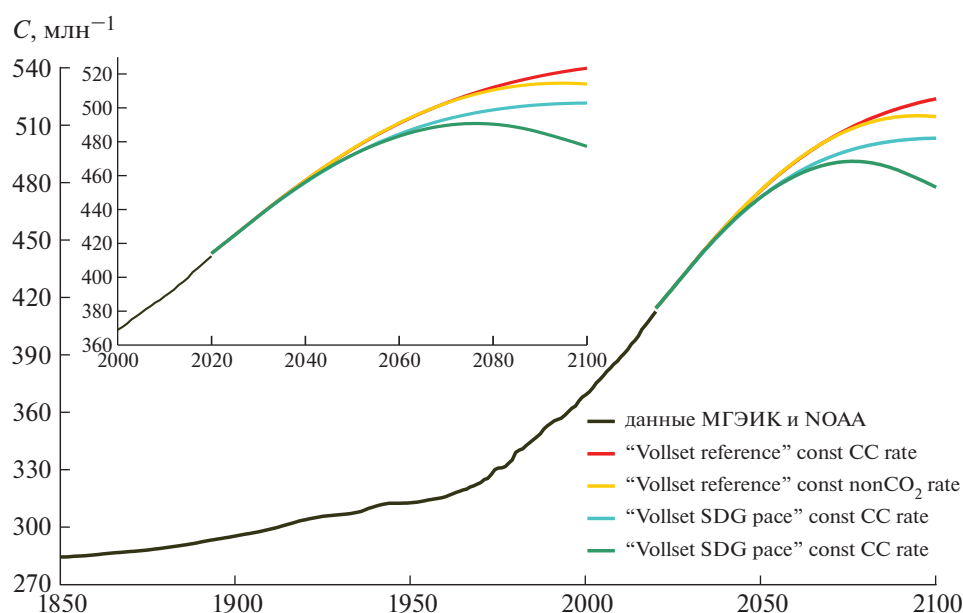


Рис. 5. Изменение среднелобальной концентрации диоксида углерода C : модельные оценки настоящей работы для двух вариантов демографических сценариев [10], а также исторические данные МГЭИК и NOAA.

и чрезвычайно затратной ломки мировой энергетической системы и отказа от исторически сложившихся стандартов потребления, неизбежно связанных с глобальным энергопереходом. Сходные результаты получены и другими исследователями, например, [15], которые указывают на важную роль демографической политики (планирование семьи, контроль рождаемости и пр.) в

снижении антропогенного воздействия на климатическую систему.

ВЫВОДЫ

1. Мировое сообщество не располагает реальными возможностями ограничить повышение температуры 2°C и тем более 1.5°C в случае, если

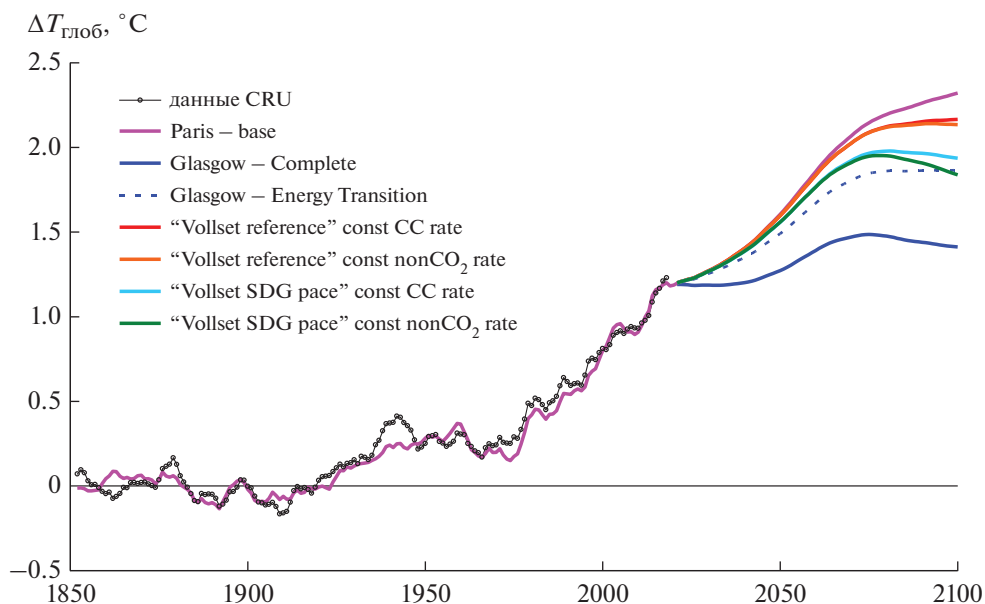


Рис. 6. Изменения среднеглобальной температуры $\Delta T_{\text{глоб}}$ (в отклонениях от среднего за 1850–1900 гг.): модельные оценки настоящей работы для двух вариантов демографических сценариев [10], базовый сценарий “Париж” из [2], сценарии “Глазго-энергопереход” и “Глазго-полный” из [14], а также данные наблюдений CRU.

не будет остановлен рост народонаселения мира во время жизни нынешнего поколения.

2. Естественное развитие процессов в демографической сфере, таких как развитие женского образования, расширение доступности средств регулирования рождаемости, поощрение миграции, способствует разрешению климатической и иных проблем, связанных с деградацией окружающей среды.

3. Прогресс в гуманитарной области может существенно снизить напряжение, связанное с необходимостью ускоренных энергоперехода и декарбонизации.

БЛАГОДАРНОСТИ

В работе использованы данные Статистической и Демографической служб ООН (UN, <https://data.un.org/>), компании British Petroleum (BP, <https://www.bp.com/>), Информационно-аналитического центра по диоксиду углерода США (CDIAC, <http://cdiac.ornl.gov>), Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, <http://www.ipcc.ch>), Национальной службы по атмосфере и океану США (NOAA, <ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/>), Центра климатических исследований Университета Восточной Англии (CRU, <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>).

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа подготовлена по результатам исследований, выполненных в ИНЭИ РАН в области демографии и климатологии (грант РНФ № 21-79-30013) и НИТУ “МИСиС” в области энергетических ресурсов (грант РНФ № 22-29-00680).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. by T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M.M.B. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley. Cambridge (UK), N.Y. (NY, USA): Cambridge University Press, 2013.
2. Клименко В.В., Клименко А.В., Микушина О.В., Терешин А.Г. Избежать потепления на 2°C – миссия невыполнима // Теплоэнергетика. 2016. № 9. С. 3–8. <https://doi.org/10.1134/S0040363616090022>
3. Акаев А.А., Давыдова О.И. Парижское климатическое соглашение вступает в силу. Состоится ли великий энергетический переход? // Вестник РАН. 2020. Т. 90. № 10. С. 926–938. <https://doi.org/10.31857/S0869587320100023>
4. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г., Микушина О.В. Сможет ли энергопереход остановить глобальное потепление и почему так сильно ошибаются климатические прогнозы? // Теплоэнергетика. 2022. № 3. С. 5–19. <https://doi.org/10.1134/S0040363622030067>
5. IPCC. Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above

- pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: World Meteorological Organization, 2018.
6. World Population and Human Capital in the 21st Century / W.Lutz, W.P. Butz, S. KC (Eds.) Oxford: Oxford University Press, 2014.
 7. *KC S., Lutz W.* The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100 // *Global Environmental Change*. 2017. V. 42. P. 181–192. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004>
 8. World Population Prospects as Assessed in 1980. UN. N.Y., 1981.
 9. *Buettner T.* World Population Prospects – A Long View // *Economie et Statistique / Economics and Statistics*. 2020. № 520-521. P. 9–27. <https://doi.org/10.24187/ecostat.2020.520d.2030>
 10. *Vollset S.E., Goren E., Yuan C.W., Cao J., Smith A.E., Hsiao T., Bisignano C., Azhar G.S., Castro E., Chalek J., Dolgert A.J., Frank T., Fukutaki K., Hay S.I., Lozano R., Mokdad A.H., Nandakumar V., Pierce M., Pletcher M., Robalik T., Steuben K.M., Wunrow H.Y., Zlavog B.S., Murray C.J.L.* Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study // *Lancet*. 2020. V. 396 (10258). P. 1285–1306. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30677-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30677-2)
 11. *Акаев А.А., Садовничий В.А.* Математическая модель демографической динамики со стабилизацией численности населения мира вокруг стационарного уровня // *ДАН*. 2010. Т. 435. № 3. С. 320–324.
 12. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019, Online Edition. Rev. 1.
 13. *Клименко В.В., Терешин А.Г.* Мировая энергетика и глобальный климат после 2100 г. // *Теплоэнергетика*. 2010. № 12. С. 38–44.
 14. *Клименко В.В., Микушина О.В., Терешин А.Г.* Глазго: трудный путь к цели 1.5°C // *Доклады РАН. Физика, технические науки*. 2022. Т. 505. С. 50–56. <https://doi.org/10.31857/S2686740022040046>
 15. *Dodson J.C., Dérer P., Cafaro P., Götmark F.* Population growth and climate change. Addressing the overlooked threat multiplier // *Science of the Total Environment*. 2020. V. 748. Id. 141346. <https://doi.org/j.scitotenv.2020.141346>

ENERGY, DEMOGRAPHY, CLIMATE – IS THERE AN ALTERNATIVE TO ABANDONING FOSSIL FUELS?

Academician of the RAS **V. V. Klimenko^{a,b}**, Academician of the RAS **A. V. Klimenko^c**,
O. V. Mikushina^{a,b}, and **A. G. Tereshin^{a,b}**

^a National Research University “MPEI”, Moscow, Russia

^b Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^c National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russia

The paper analyzes alternative scenarios for the world energy development, based on low options for the world’s population growth, from the point of view of preventing dangerous global climate change. It is shown that in order to keep the increase in the average global temperature within the safe limits while maintaining the current growth rates of energy consumption and the world’s population, a radical restructuring of the world energy sector is necessary – the “great energy transition” – with a complete rejection of the use of fossil fuels in the coming decades, which seems impossible given the inertia of the development and spread of energy technologies. Using the author’s approaches to forecasting the amount and structure of world energy consumption, alternative carbon dioxide emissions scenarios have been formed in the based on the low, but quite real trends for demographic dynamics. Based on simulations on the models of the global carbon cycle and climate, it has been shown that the development of natural demographic processes can restrain growth and ensure a further decrease in the concentration of carbon dioxide in the Earth’s atmosphere, limiting the increase in the global average temperature to a completely safe level of 1.8 degrees compared to the pre-industrial period without a large-scale restructuring of the world energy.

Keywords: energy consumption, energy transition, decarbonization, demography, climate change, models, scenarios