

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА ЗЕМЛИ

УДК 551.524.3

В.М. Федоров, к. географ. н., МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, РФ),
fedorov.msu@mail.ru

В статье анализируются перспективы развития газовой промышленности в связи с последствиями глобальных климатических изменений. На основе расчетов инсоляции планеты показано, что изменение глобального климата Земли определяется естественными причинами, основной из которых является уменьшение угла наклона оси вращения, отсюда усиление межширотного теплообмена – усиление работы «тепловой машины первого рода» (по В.В. Шулейкину). Изменение наклона оси вращения определяется двумя основными причинами: прецессией (с периодом около 25,7 тыс. лет) и нутацией (с периодом около 19 лет). На тренд в изменении глобальной температуры, определяемый прецессией, и 19-летние вариации, связанные с нутацией, накладывается генерируемое в системе «океан – атмосфера» автоколебание (с периодом в среднем около 60 лет). На основе регрессионной модели выполнены прогнозы изменения глобальной приповерхностной температуры воздуха и температуры поверхности океана до 2050 г. Из прогноза следует, что глобальная температура в период с 2017 по 2050 г. в Северном полушарии будет выше нормы, определенной для периода 1961–1990 гг. Даже в минимумах (2024 и 2043 гг.) предстоящего периода температура будет превышать среднюю температуру для периода 1961–1990 гг. Однако вблизи этих минимумов температура будет уступать норме предшествующего периода 1992–2016 гг. Без учета других, за исключением климатических, факторов предполагается, что при понижении глобальной температуры в периоды приблизительно с 2020 до 2027 г. и с 2040 до 2045 г. мировой спрос на углеводородное топливо будет расти, а в периоды повышения глобальной температуры – снижаться. Соответственно, будут меняться и условия добычи и транспортировки природного газа, также определяющие его стоимость.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ, ИНСОЛЯЦИЯ, НАКЛОН ОСИ ВРАЩЕНИЯ, МЕЖШИРОТНЫЙ ТЕПЛООБМЕН, РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ, ПРОГНОЗ, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, УСЛОВИЯ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ, СПРОС НА УГЛЕВОДОРОДНОЕ ТОПЛИВО.

Проблема изменения глобального климата, и прежде всего его температурных характеристик, представляется актуальной для современной науки и практики [1]. Этой проблемой определяется необходимость прогнозирования последствий климатических изменений для природной среды и общества. Важнейшей характеристикой климата является температурный режим, обуславливающий многие особенности жизни населения и состояния окружающей природной среды, условия добычи и транспортировки полезных ископаемых и во многом – потребности в них. Связи изменения климата и развития

газовой отрасли проявляются по крайней мере тремя основными аспектами. Во-первых, изменением глобального климата во многом обусловлен спрос на энергоносители. Во-вторых, климатические особенности территории влияют на условия добычи и транспортировки газа, определяя набор используемых технологий и стоимость продукта. В-третьих, принимаемые международные политические решения (Киотский протокол, Парижское соглашение), связанные с изменением глобального климата, также влияют на разработку стратегии развития газовой промышленности, накладывая на нее некоторые

экологические и экономические (например, «углеродный сбор») ограничения.

Основным источником энергии, определяющим термическое состояние атмосферы и океана, является поступающая к Земле от Солнца лучистая энергия. Солнце является основным источником энергии гидрометеорологических и многих других процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, на земной поверхности. Солнечной энергией определяется радиационный и тепловой баланс Земли. «Солнце – единственный источник тепла, достаточно сильный для того, чтобы оказывать значительное влияние на температуру поверхности Земли и

Fedorov V.M., Ph.D. in Geographic Sciences, Lomonosov Moscow State University (Moscow, RF),
fedorov.msu@mail.ru

Development prospects of the gas industry in the light of the global climate change

The article analyses the development prospects of the gas industry in the light of the consequences of the global climate change. The planet insolation calculation shows that Earth's global climate change is governed by natural reasons, the main of which being the decrease of the angle of inclination of the rotation axis, which therefore leads to the amplification of inter-latitude heat exchange – the amplification of work of «the heat machine of the first genus» (cited by V.V. Shuleykin). There are two reasons for the inclination change of the rotation axis: precession (with a period of around 25.7 thousand years) and nutation (with a period of around 19 years). Self-oscillation (with a period of around 60 on average), which is generated in the system «ocean-atmosphere», overlaps the trend of the global temperature change which is established by precession and 19 year-long variations related to nutation. Based upon a regression model, one made forecasts for the change of the global near-surface temperature of air and the temperature of oceans up to 2050. The forecast shows that the global temperature in the period from 2017 to 2050 in the Northern hemisphere will be above the norm established for the period 1961-1990. Even in the minimums (2024 and 2043) of the upcoming period, the temperature will exceed the average temperature for the period 1961-1990. However the temperature will be below the norm of the previous period 1992-2016 near these minimums. Without regard for other factors, except for climatic ones, it is assumed that when the global temperature has decreased from 2020 and 2027 and from 2040 to 2045, the global demand for hydrocarbon fuel will be growing, whereas the periods of global temperature increases will be declining. Therefore the natural gas transportation and recovery conditions (which also determine the cost of gas) will also be changing.

KEY WORDS: CLIMATE CHANGE, TEMPERATURE REGIME, INSOLATION, INCLINATION OF THE ROTATION AXIS, INTER-LATITUDE HEAT EXCHANGE, REGRESSION MODEL, FORECAST, NATURAL GAS, TRANSPORTATION AND RECOVERY CONDITIONS, DEMAND FOR HYDROCARBON FUEL.

воздуха», – считал знаменитый русский географ и метеоролог академик А.И. Воейков.

Годовое поступление солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы Земли составляет $5,49 \cdot 10^{24}$ Дж. Это количество не является постоянным, поскольку подвержено межгодовым и многолетним (вековым и периодическим) колебаниям. В перераспределении солнечной энергии, приходящей в климатическую систему Земли, участвуют механизмы межширотного теплообмена («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» и др. Важным фактором в регулировании термического режима Земли является химический состав атмосферы (прежде всего, содержание водяного пара), вызывающий парниковый эффект.

В связи с этим для прогнозирования изменений глобальной температуры, влияющей на стратегию развития газовой промышленности, автором была рассчи-

тана инсоляция Земли. На основе корреляционной связи инсоляции с приповерхностной температурой воздуха (ПТВ) и температурой поверхности океана (ТПО) по уравнениям регрессии были рассчитаны изменения аномалии ПТВ и ТПО на период до 2050 г.

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ИНСОЛЯЦИИ

Расчеты приходящей солнечной радиации выполнялись по данным астрономических эфемерид [2, 3] для всей поверхности Земли (без учета атмосферы) в интервале с 3000 г. до н. э. по 2999 г. н. э. Исходными астрономическими данными для расчетов инсоляции были склонение и эклиптическая долгота Солнца, расстояние от Земли до Солнца, разность хода равномерно текущего (среднего солнечного) и всемирного корректируемого (истинного солнечного) времени. Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80 – Geodetic Reference System, 1980) с длинами полуосей, равными 6378 тыс. м (большие) и 6356,7 тыс. м (малая). В общем виде алгоритм расчетов можно представить в виде выражения:

$$I_{nm}(\varphi_1, \varphi_2) = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(H, \varphi) \left(\int_{-\pi}^{\pi} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha \right) d\varphi \right) dt, \quad (1)$$

где I – приходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года, Дж; σ – площадной множитель, м^2 , с помощью которого вычисляется площадной дифференциал $\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$ – площадь бесконечно малой трапеции – ячейки эллипсоида; α – часовой угол, φ – географическая широта, выраженные в радианах; H – высота эллипсоида относительно поверхности Земли, м; $\Lambda(H, \varphi, t, \alpha)$ – инсоляция в заданный момент в заданном месте эллипсоида, $\text{Вт}/\text{м}^2$; t – время, с. Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1° , по широте 1° , по времени – $1/360$ часть продолжительности тропического года [4–6]. Значение солнечной постоянной принималось равным $1361 \text{ Вт}/\text{м}^2$ [7]. Изменение активности Солнца не учитывалось. По результатам расчетов сформирована общедоступная база данных приходящей солнечной энергии во все широтные зоны Земли (протяженностью 5°) за каждый астрономический ме-

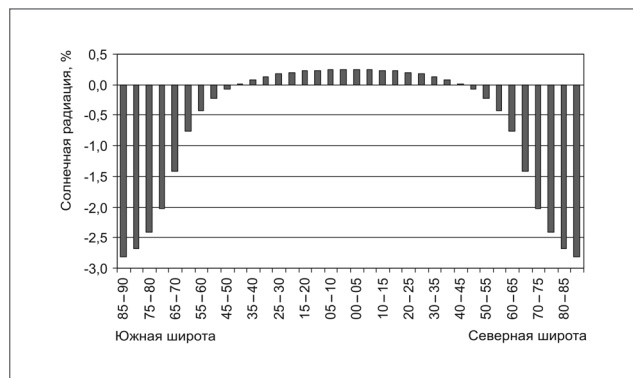


Рис. 1. Изменение инсоляции Земли в интервале с 3000 г. до н. э. по 2999 г. н. э. по широтным зонам (по отношению к средней для соответствующих широтных зон инсоляции)

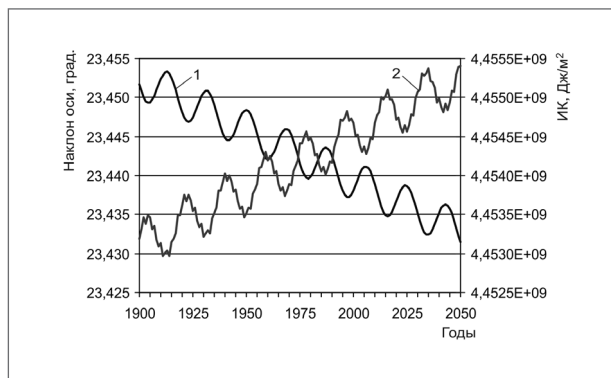


Рис. 2. Изменение угла наклона оси вращения Земли (1) и ИК (2)

сяц каждого года для периода с 3000 г. до н. э. до 2999 г. н. э. [8].

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Определено, что на интервале с 3000 г. до н. э. до 2999 г. н. э. солнечная радиация, приходящая к Земле за год, сократилась всего на 0,005 %. В то же время распределение приходящей за год радиации по широтным зонам изменяется более значительно [9]. Поступление солнечной радиации в экваториальную область Земли (в диапазоне по крайней мере от 3000 г. до н. э. до 2999 г. н. э.) увеличивается, а в полярные области – сокращается (рис. 1). То есть происходит увеличение меридионального градиента инсоляции. Следствием этого эффекта является усиление межширотного теплообмена (между теплыми и холодными областями Земли) как в атмосфере, так и в океане [10], т. е. усиление работы «тепловой машины первого рода» (по В.В. Шулейкину).

Отмеченные изменения – тенденция к усилению широтной контрастности и сглаживанию сезонных различий в инсоляции

Земли связана с вековой тенденцией к уменьшению наклона оси вращения Земли (относительно перпендикуляра к плоскости эклиптики) в результате прецессии. Известно, что при увеличении угла наклона оси вращения увеличивается приход солнечной радиации в полярные районы, т. е. происходит сглаживание широтной контрастности в полушариях и усиление сезонных различий. При уменьшении угла наклона происходит увеличение радиации, поступающей в экваториальную область, уменьшение радиации – в полярные районы, и широтные контрасты возрастают, а сезонные различия сглаживаются [9].

Для анализа ПТВ и ТПО автором использовались два показателя (рис. 2): угол наклона Земли (определялся на основе астрономических эфемерид DE-406 [3]) и инсоляционная контрастность (ИК). Для полушарий ИК рассчитывалась как разность солнечной радиации, приходящей в области 0–45° и 45–90°. Для Земли принималось среднее по полушариям значение ИК.

ИК линейно связана с углом наклона оси вращения Земли (коэффициент корреляции $R = -0,997$). Изменение угла наклона и связанной с ним ИК определяется планетной прецессией (тренд) и нутацией (19-летние вариации).

Проводился корреляционный анализ значений аномалии ПТВ и ТПО по данным, представленным в архиве Университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли, – массивы HadCRUT4 и HadSST3, соответственно [11]. Анализ, проведенный для достоверных данных [12] массивов (с 1900 по 2016 г.), показал наличие высокой корреляционной связи между изменением угла наклона оси вращения Земли и ИК с изменением аномалии ПТВ и ТПО (табл. 1). Аномалии температуры в массивах представлены относительно средней глобальной температуры за 1961–1990 гг. В исходных рядах аномалии ПТВ и ТПО (осредненных по полушариям, Земле и Мировому океану) изменчивость в основном (от 69 до 85 %) определяется трендами. Поэтому сопоставление этих трендов с трендами угла наклона оси и ИК

Таблица 1. Значения коэффициента корреляции R угла наклона оси вращения Земли и инсоляционной контрастности (ИК) с аномалией ПТВ и ТПО

Инсоляционные параметры	Аномалия ПТВ			Аномалия ТПО		
	Земля	Северное полушарие	Южное полушарие	Мировой океан	Северное полушарие	Южное полушарие
Угол наклона оси	-0,845	-0,796	-0,867	-0,851	-0,791	-0,882
ИК	0,845	0,785	0,857	0,839	0,777	0,873

Таблица 2. Значения коэффициента детерминации в регрессионных моделях

Уравнение регрессии	Аномалия ПТВ			Аномалия ТПО		
	Земля	Северное полушарие	Южное полушарие	Мировой океан	Северное полушарие	Южное полушарие
Линейное	0,715	0,633	0,751	0,725	0,625	0,777
Полиномиальное	0,728	0,663	0,753	0,725	0,627	0,778

Таблица 3. Распределение разности фактических и рассчитанных значений аномалии ПТВ и ТПО по «теплым» и «холодным» фазам 60-летнего колебания

Фазы 60-летнего колебания	Аномалия ПТВ			Аномалия ТПО		
	Земля	Северное полушарие	Южное полушарие	Мировой океан	Северное полушарие	Южное полушарие
1902–1925 («холодная»)	91,7	79,2	66,7	91,7	91,7	62,5
1926–1953 («теплая»)	92,9	82,1	75,0	92,9	92,9	78,6
1954–1986 («холодная»)	87,9	90,9	75,8	66,7	66,7	75,8
1987–2016 («теплая»)	70,0	73,3	60,0	66,7	66,7	63,3
Среднее	85,6	81,4	69,4	79,5	79,5	70,1

(83–85 % дисперсии в этих рядах также объясняется трендами) представляется оправданным для объяснения 69–85 % изменений аномалии ПТВ и ТПО.

Различия в характере связи по полушариям определяются, вероятно, соотношением материков и океанов: в Северном полушарии (СП) на океаны приходится 19 % площади, в Южном полушарии (ЮП) – 39 %.

Таким образом, обнаружена тесная связь аномалии ПТВ и ТПО с изменением угла наклона оси (и определяемой им ИК), однако форма этой связи не выявлена. Поэтому значения аномалии ПТВ и ТПО на 1900–2050 гг. рассчитывались по уравнениям линейной и полиномиальной (полином 2-й степени) регрессии по значениям угла наклона оси [3]. Затем определялись средние по линейным и полиномиальным решениям значения аномалии ПТВ и ТПО (для Земли, Мирового океана и полушарий). Полученные в регрессионных моделях значения коэффициента детерминации R^2 , отражающего вклад тренда в

общую изменчивость, представлены в табл. 2. Коэффициент детерминации рассматривают, как правило, в качестве основного показателя, отражающего меру качества регрессионной модели, описывающей связь между зависимой и независимыми переменными модели. Коэффициент детерминации показывает, какая доля вариации объясняемой переменной учитывается в модели и определяется влиянием на нее факторов, включенных в модель (чем ближе R^2 к 1, тем выше качество модели).

Некоторые различия в значениях R^2 для линейных и полиномиальных уравнений отмечают для аномалии ПТВ. Соответствующие значения R^2 , полученные для аномалии ТПО, близки.

При сравнении рассчитанных значений аномалии ПТВ и ТПО по уравнениям регрессии с фактическими данными выделяются периоды, где фактические значения превышают расчетные значения, и периоды, в которых они уступают им. В соответствии с этим фазы отмеченного колебания названы

автором «теплыми» и «холодными». Таким образом, выявляется колебание (автоколебание) со средним на данном интервале периодом около 60 лет, которое более четко выражено в СП. Однородность по знаку разности фактических и рассчитанных по регрессионной модели значений в «теплых» и «холодных» фазах 60-летнего колебания для ПТВ в СП составляет 81,4 в ЮП – 69,4 %; для ТПО – 79,5 и 70,1 % для СП и ЮП, соответственно. В среднем однородность (по критерию выше или ниже расчетных) значений составляет для ПТВ 78,8, для ТПО – 76,4 % (табл. 3).

Средний размах колебания аномалии ПТВ в СП составляет 0,263 °С, в ЮП – 0,140 °С, аномалии ТПО в СП – 0,207 °С, в ЮП – 0,130 °С (табл. 4). В океане и атмосфере это автоколебание проявляется синхронно.

Рассчитывалась дисперсия аномалии ПТВ и ТПО в рядах фактических данных (D_1) и в рядах разности фактических и рассчитанных (средних по ансамблю линейных и полиномиальных решений)

Таблица 4. Средние отклонения рассчитанных значений аномалии ПТВ и ТПО от фактических для «холодных» и «теплых» фаз 60-летнего колебания, °С

Фаза 60-летнего колебания	Аномалия ПТВ			Аномалия ТПО		
	Земля	Северное полушарие	Южное полушарие	Мировой океан	Северное полушарие	Южное полушарие
«Холодная»	-0,103	-0,136	-0,071	-0,089	-0,107	-0,066
«Теплая»	0,098	0,127	0,069	0,084	0,100	0,064

значений аномалии ПТВ (D_2). Затем находилось отношение дисперсии в соответствующих рядах разности фактических и рассчитанных значений аномалии ПТВ к дисперсии фактических значений (D_2/D_1). Вычитанием из единицы полученных значений и затем умножением их на 100 были рассчитаны значения (в %) изменений аномалии ПТВ, объясняемых регрессионной моделью. Для Земли регрессионной моделью объясняется 72,5 % вариаций аномалии ПТВ, для СП – 65,5 %, для ЮП – 75,2 %. Для рядов, учитывающих поправки на 60-летнее колебание (табл. 4), эти значения увеличиваются (поправки учитывались алгебраическим сложением средних значений для «теплых» и «холодных» фаз колебания с рассчитанными значениями аномалии ПТВ). Для Земли в этом случае регрессионная модель объясняет 83,7 % дисперсии аномалии ПТВ, в СП – 80,5 %, в ЮП – 81,8 %. Таким образом, 60-летним колебанием объясняется 11,2 % изменений аномалии ПТВ Земли, 15,0 % в СП и 6,6 % дисперсии аномалии ПТВ в ЮП. Остающаяся без объяснения часть изменения аномалии ПТВ (приблизительно 16,3–22,4 %), вероятно, связана с изменением солнечной активности, парникового эффекта, определяемого вулканической активностью и антропогенным фактором, обратными связями в климатической системе и другими факторами. Сходные значения дисперсии получены и для аномалии ТПО [8].

Средняя продолжительность фазы колебания в интервале 1900–2016 гг. составляет около 29 лет. «Теплые» (фактические

значения аномалии ПТВ и ТПО превышают расчетные) и «холодные» фазы хронологически приблизительно локализованы в интервалах 1902–1925 гг. («холодная»), 1926–1953 гг. («теплая»), 1954–1986 гг. («холодная»), 1987–2016 гг. («теплая», не завершена). Следует отметить, что границы фаз не всегда четкие, поэтому определяются условно [8, 13]. Хронологически фазы 60-летнего колебания, вероятно, синхронизируются с интервалами различных состояний современного климата, отражающими этапы многолетнего взаимодействия в системе «океан – атмосфера» [14]. Таким образом, определяемые фазы в различиях фактических значений аномалии ПТВ и ТПО со значениями, рассчитанными по регрессионной модели, соотносятся с «теплыми» и «холодными» фазами выделяемого в гидрометеорологических процессах колебания со средним периодом около 60 лет [15–19]. В Северной Атлантике это колебание известно как Североатлантическая осцилляция (Atlantic Multidecadal Oscillation – AMO) – колебание в климатической системе Земли, отражающее периодическую изменчивость температуры поверхности океана в Северной Атлантике. Эти колебания с периодом в среднем около 60 лет подтверждаются историческими наблюдениями и модельными расчетами [20–22], однако единства мнений относительно амплитуды и генезиса этого явления пока не существует.

Как уже отмечалось, в океане и атмосфере эти колебания происходят синхронно, однако в СП и ЮП даты начала и окончания фаз

не всегда совпадают. В настоящее время в «теплой» фазе колебания фактические значения аномалии ПТВ и ТПО в основном превышают рассчитанные значения (табл. 3 и 4). Если амплитуды колебания сохранятся, то в следующей «холодной» фазе колебания фактические значения аномалии ПТВ и ТПО в СП будут уступать рассчитанным значениям аномалии ТПО в среднем на величины, приведенные в табл. 4. Это составляет приблизительно 85 % случаев для ПТВ и 79 % случаев для ТПО (на интервале 2017–2050 гг. – 29 и 27 лет из 34 лет, соответственно).

По уравнениям регрессии были рассчитаны значения аномалии ПТВ и ТПО для СП на период 2017–2050 гг. Затем соответствующие по годам значения, полученные по линейной и полиномиальной регрессии, осреднялись, т. е. находилось среднее по ансамблю решение (рис. 3, 4). Также рассчитаны средние фазовые поправки для 60-летнего колебания (табл. 4). Необходимым условием для учета этих поправок в прогнозируемых значениях аномалии ПТВ и ТПО является дата смены текущей «теплой» фазы 60-летнего колебания на «холодную». Из проведенных расчетов следует, что «холодная» фаза 60-летнего колебания в ЮП началась, вероятно, с 2012 г. (с этого времени фактические значения аномалии ПТВ и ТПО в этом полушарии уступают расчетным).

Проведенные авторами исследования Североатлантической осцилляции [8] показывают, что смены фаз 60-летнего колебания в СП ожидаются около 2020 г. («холодная»/«теплая») и 2045 г.

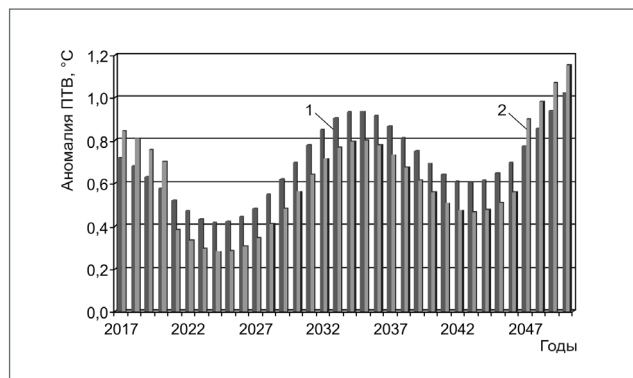


Рис 3. Прогноз изменения аномалии ПТВ: 1 – без учета 60-летнего колебания; 2 – с учетом 60-летнего колебания

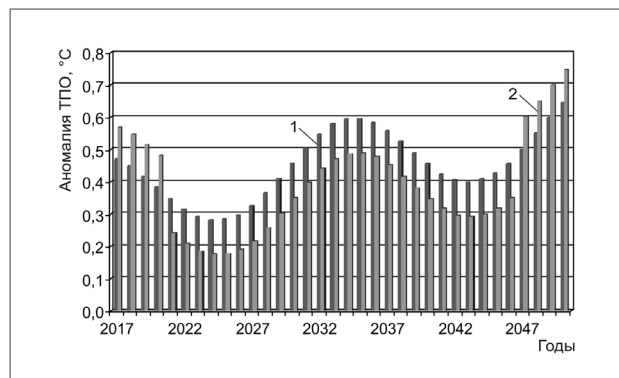


Рис 4. Прогноз изменения аномалии ТПО: 1 – без учета 60-летнего колебания; 2 – с учетом 60-летнего колебания

(«теплая»/«холодная»). В связи с этим поправки (табл. 4) «холодной» фазы учитывались для периода 2021–2045 гг. Поправки «теплой» фазы учитывались для интервалов 2017–2020 гг. и 2046–2050 гг. Учет проводился простым алгебраическим сложением поправок с соответствующими значениями аномалии ПТВ и ТПО, рассчитанными по регрессионной модели (рис. 3, 4).

ВЫВОДЫ

На основе расчетов инсоляции Земли показано, что изменение глобального климата Земли определяется естественными причинами, основная из которых – уменьшение угла наклона оси вращения Земли, следствием чего является усиление межширотного теплообмена (усиление работы «тепловой машины первого рода»). Работа «тепловой машины первого рода» регулируется двумя периодическими факторами: прецессией (25,7 тыс. лет) и нутацией (19 лет). На изменения аномалии ПТВ и ТПО, определяемые этими факторами, накладывается генерируемое в климатической системе Земли автоколебание с периодом, близким в среднем к 60 годам.

В соответствии с выполненными по уравнениям регрессии расчетами в период 2017–2050 гг. в СП ожидается следующий сценарий изменения температурных условий. С 2017 г. (по расчетам, уже с 2016 г.) ожидается постепенное

уменьшение значений аномалии ПТВ и ТПО. Понижение аномалии ПТВ составит от 0,72 °С в 2017 г. до 0,42 °С в 2024 г. Аномалия ТПО за этот период уменьшится с 0,45 до 0,28 °С. Затем ожидается увеличение значений аномалии ПТВ в СП до 0,93 °С в 2034 г. и 2035 г. Аномалия ТПО за это время увеличится до 0,59 °С. С этого времени вновь ожидается уменьшение аномалии ПТВ и ТПО до минимальных в 2043 г. значений 0,60 и 0,40 °С, соответственно. После этого следует период увеличения аномалии ПТВ и ТПО до максимальных значений в 2050 г. 1,02 и 0,65 °С, соответственно. С учетом 60-летнего колебания фактические значения аномалии ПТВ и ТПО в СП в «холодную» фазу (предварительно, 2021–2045 гг.) будут уступать рассчитанным в среднем на 0,136 и 0,107 °С, соответственно. В «теплую» фазу фактические значения аномалии ПТВ и ТПО будут превышать рассчитанные по регрессионной модели значения в среднем на 0,127 и 0,1 °С. Напомним, что аномалии ПТВ и ТПО рассчитываются относительно среднего для периода 1961–1990 гг. значения ПТВ и ТПО. Таким образом, глобальная температура в предстоящий период (с 2017 по 2050 г.) в СП не будет ниже нормы, определенной для периода 1961–1990 гг. Даже в минимумах (2024 и 2043 гг.) предстоящего периода она будет выше средней для периода 1961–1990 гг.

температуры. Однако вблизи этих минимумов (2024 и 2043 гг.) температура будет заметно ниже средней температуры предшествующего периода 1992–2015 гг.

Отсюда следует, например, что строительство «Северного потока – 2» климатически целесообразнее завершить до начала 2020-х гг. Из составленного прогноза следует, что потребность в энергоресурсах, как и цены на них, с начала (или к началу) 2020-х гг. начнет возрастать. Таким образом, оба потока («Турецкий поток» и «Северный поток – 2»), если их строительство завершится к этому времени, окажутся экономически наиболее выгодными. Максимальное увеличение мировых потребностей в энергоносителях ожидается около 2024 г. Одновременно добыча углеводородного топлива в районах Арктического шельфа будет затруднена по сравнению с предшествующим периодом в связи с понижением температур и ухудшением ледовой обстановки. Также вероятны сложности с транспортировкой СПГ, особенно в минимумах «холодной» фазы (2024 и 2043 гг.), например в районе порта Сабетта. Впрочем, для обеспечения потребностей газовой промышленности в подробной климатологической информации необходимо создание региональных регрессионных моделей климата по представленному в работе алгоритму. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-ресурс Международной группы экспертов по изменению климата (IPCC) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (дата обращения: 15.05.2017).
2. Giorgini J.D., Yeomans D.K., Chamberlin A.B. et al. JPL's On-Line Solar System Data Service. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 1996, Vol. 28 (3), P. 1158.
3. Интернет-ресурс Национального аэрокосмического агентства (NASA) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ssd.jpl.nasa.gov> (дата обращения: 15.05.2017).
4. Fedorov V.M. Interannual Variability of the Solar Constant. *Solar System Research*, 2012, Vol. 46, No. 2, P. 170–176.
5. Fedorov V.M. Interannual Variations in the Duration of the Tropical Year. *Doklady Earth Sciences*, 2013, Vol. 451, Part 1, P. 750–753.
6. Fedorov V.M. Theoretical Calculation of the Interannual Variability of the Earth's Insolation with Daily Resolution. *Solar System Research*, 2016, Vol. 50, No. 3, P. 220–224.
7. Kopp G., Lean J. A New Lower Value of Total Solar Irradiance: Evidence and Climate Significance. *Geophysical Research Letters*, 2011, Vol. 37, L01706. DOI: 10.1029/2010GL045777.
8. Солнечная радиация и климат Земли [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.solar-climate.com> (дата обращения: 15.05.2017).
9. Fedorov V.M. Spatial and Temporal Variation in Solar Climate of the Earth in the Present Epoch. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2015, Vol. 51, No. 8, P. 779–791.
10. Федоров В.М. Корреляционный анализ инсоляции Земли и аномалии приповерхностной температуры // Уч. зап. Российского гос. гидрометеорологич. ун-та. 2016. № 45. С. 151–168.
11. Интернет-ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> (дата обращения: 15.05.2017).
12. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., et al. Uncertainty Estimates in Regional and Global Observed Temperature Changes: a New Dataset from 1850. *J. Geophys. Res.*, 2006, Vol. 111, D12106.
13. Fedorov V.M. Trends of the Changes in Sea Ice Extent in the Northern Hemisphere and Their Causes. *Kriosfera Zemli*, 2015, Vol. XIX, No. 3, P. 46–57.
14. Анисимов М.В., Бышев В.И., Залесный В.Б., Мошонкин С.Н. Междекадная изменчивость термической структуры вод Северной Атлантики и ее климатическая значимость // Доклады Академии наук. 2012. Т. 443. № 3. С. 372–376.
15. Малинин В.Н., Гордеева С.М. О современных изменениях глобальной температуры воздуха // Общество. Среда. Развитие. 2011. № 2. С. 215–221.
16. Goldenberg, S.B., Landsea C.W., Mestas-Nunez A.M., Gray W.M. The Recent Increase in Atlantic Hurricane Activity: Causes and Implications. *Science*, 2001, Vol. 293, No. 5529, P. 474–479.
17. Shanahan T.M., Overpeck J.T., Anchukaitis K.J., et al. Atlantic Forcing of Persistent Drought in West Africa. *Science*, 2009, Vol. 324, No. 5925, P. 377–380.
18. Teegavarapu R.S.V., Goly A., Obeysekera J. Influences of Atlantic Multi-Decadal Oscillation on Regional Precipitation Extremes. *Journal of Hydrology*, 2013, Vol. 495, P. 74–93.
19. Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е. Переход от потепления к похолоданию климата Земли как результат действия естественных причин // Мат-лы междунар. науч. конф. «Глобальные экологические процессы». М.: Academia, 2012. С. 23–30.
20. Sutton R.T., Hodson L.R. Atlantic Ocean Forcing of North American and European Summer Climate. *Science*, 2005, Vol. 309, No. 5731, P. 115–118.
21. Knight J.R., Folland C.K., Scaife A.A. Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 2006, Vol. 33, L17706.
22. Chylek P., Lesins G. Multidecadal variability of Atlanhurricane activity: 1851–2007. *Journal of Geophysical Research*, 2008, Vol. 113, D22106.

REFERENCES

1. Internet Resource of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Electronic source]. Access mode: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (Access date: May 15, 2017). (In Russian)
2. Giorgini J.D., Yeomans D.K., Chamberlin A.B. et al. JPL's On-Line Solar System Data Service. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 1996, Vol. 28 (3), P. 1158.
3. Internet Resource of the National Aeronautics and Space Administration (NASA) [Electronic source]. Access mode: <http://ssd.jpl.nasa.gov> (Access date: May 15, 2017). (In Russian)
4. Fedorov V.M. Interannual Variability of the Solar Constant. *Solar System Research*, 2012, Vol. 46, No. 2, P. 170–176.
5. Fedorov V.M. Interannual Variations in the Duration of the Tropical Year. *Doklady Earth Sciences*, 2013, Vol. 451, Part 1, P. 750–753.
6. Fedorov V.M. Theoretical Calculation of the Interannual Variability of the Earth's Insolation with Daily Resolution. *Solar System Research*, 2016, Vol. 50, No. 3, P. 220–224.
7. Kopp G., Lean J. A New Lower Value of Total Solar Irradiance: Evidence and Climate Significance. *Geophysical Research Letters*, 2011, Vol. 37, L01706. DOI: 10.1029/2010GL045777.
8. Solar Radiation and Earth's Climate [Electronic source]. Access mode: <http://www.solar-climate.com> (Access date: May 15, 2017). (In Russian)
9. Fedorov V.M. Spatial and Temporal Variation in Solar Climate of the Earth in the Present Epoch. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2015, Vol. 51, No. 8, P. 779–791.
10. Fedorov V.M. Correlation Analysis of Earth's Insolation and Anomalies of the Near-Surface Temperature // *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scholarly Notes of Russian State Hydrometeorological University*, 2016, No. 45, P. 151–168. (In Russian)
11. Internet Resource of the University of East England and Hadley Meteorological Centre. [Electronic source]. Access mode: <http://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> (Access date: May 15, 2017).
12. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., et al. Uncertainty Estimates in Regional and Global Observed Temperature Changes: a New Dataset from 1850. *J. Geophys. Res.*, 2006, Vol. 111, D12106.
13. Fedorov V.M. Trends of the Changes in Sea Ice Extent in the Northern Hemisphere and Their Causes. *Kriosfera Zemli*, 2015, Vol. XIX, No. 3, P. 46–57.
14. Anisimov M.V., Byshov V.I., Zalesny V.B., Moshonkin S.N. Interdecade Changeability of the Thermal Structure of Waters of the North Atlantic and its Climatic Significance. *Doklady Akademii nauk = Lectures of the Academy of Sciences*, 2012, Vol. 443, No. 3, P. 372–376. (In Russian)
15. Malinin V.N., Gordееva S.M. On Modern Changes of the Global Air Temperature. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie = Society. Environment. Development*, 2011, No. 2, P. 215–221. (In Russian)
16. Goldenberg, S.B., Landsea C.W., Mestas-Nunez A.M., Gray W.M. The Recent Increase in Atlantic Hurricane Activity: Causes and Implications. *Science*, 2001, Vol. 293, No. 5529, P. 474–479.
17. Shanahan T.M., Overpeck J.T., Anchukaitis K.J., et al. Atlantic Forcing of Persistent Drought in West Africa. *Science*, 2009, Vol. 324, No. 5925, P. 377–380.
18. Teegavarapu R.S.V., Goly A., Obeysekera J. Influences of Atlantic Multi-Decadal Oscillation on Regional Precipitation Extremes. *Journal of Hydrology*, 2013, Vol. 495, P. 74–93.
19. Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Smolyanitsky V.M., Frolov I.E. Transition from Earth's Warming to Cooling down as a Result of Natural Causes. In: *Materials of the International Scientific Conference «Global Environmental Processes»*. Moscow, Academia, 2012, P. 23–30. (In Russian)
20. Sutton R.T., Hodson L.R. Atlantic Ocean Forcing of North American and European Summer Climate. *Science*, 2005, Vol. 309, No. 5731, P. 115–118.
21. Knight J.R., Folland C.K., Scaife A.A. Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 2006, Vol. 33, L17706.
22. Chylek P., Lesins G. Multidecadal variability of Atlanhurricane activity: 1851–2007. *Journal of Geophysical Research*, 2008, Vol. 113, D22106.