

КОММЕНТАРИИ К СТАТЬЕ
С.П. ПОЗДНЯКОВА, С.О. ГРИНЕВСКОГО, Е.А. ДЕДЮЛИНОЙ
“ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА МНОГОЛЕТНЮЮ ДИНАМИКУ
СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ:
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОГНОЗА
НА ВТОРУЮ ПОЛОВИНУ XXI ВЕКА”

В.М. Федоров

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия; fedorov.msu@mail.ru*

В связи с применением физико-математических моделей при прогнозировании динамики сезонного промерзания в Московском регионе и получением неопределенности в результатах анализируются общие и частные проблемы физико-математического моделирования климата, компонентов и характеристик климатической системы. Решение этих проблем может способствовать совершенствованию физико-математических моделей и долгосрочному прогнозированию процессов в криосфере Земли, связанных с изменением климата.

Криосфера, сезонномерзлый слой, динамика, прогнозирование, моделирование, солнечная радиация, вариации инсоляции, меридиональный градиент инсоляции, факторы изменения климата

COMMENTARIES ON THE ARTICLE
“IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON MULTI-YEAR DYNAMICS
OF SEASONAL FREEZING IN MOSCOW REGION: RETROSPECTIVE ANALYSIS AND UNCERTAINTIES
IN FORECASTING FOR THE SECOND HALF OF THE 21st CENTURY”
BY S.P. POZDNYAKOV, S.O. GRINEVSKYI, E.A. DEDIULINA

V.M. Fedorov

*Lomonosov Moscow State University,
1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia; fedorov.msu@mail.ru*

The use of physical and mathematical models for forecasting the dynamics of seasonal freezing in Moscow region and the results' uncertainty have prompted the analysis of general and specific problems of physical and mathematical modeling of climate, as well as the climate system components and characteristics. The solution of these problems can contribute to the improvement of physical and mathematical models and long-term forecasting of climate change processes in the Earth's cryosphere.

Cryosphere, seasonally frozen layer, dynamics, prediction, simulation, solar radiation, variation of insolation, meridional gradient in insolation, climate change factors

Авторами статьи [Поздняков и др., 2019] выполнен количественный анализ динамики сезонномерзлого слоя (СМС) в XXI в. с использованием климатических проекций по пяти моделям общей циркуляции атмосферы и океана из ансамбля моделей CMIP-5 на основе моделирования динамики снежного покрова на поверхности земли и вертикального теплового переноса в подстилающих породах зоны аэрации. Исходными тепло- и гидрофизическими параметрами для моделирования в работе приняты данные наблюдений за теплового переносом в породах зоны аэрации на территории Звенигородской биостанции МГУ. Авторами сделан вывод, что в результатах моделирования теплопереноса для пяти климатических проекций отмечаются различия, создающие неопределенность в прогнозах многолетней динамики глубины сезонного промерзания в XXI в.

Вывод о невозможности достоверного прогноза из-за существенной неопределенности результатов различных моделей следует и из других работ [Шерстюков, 2011; Анисимов, Кокорев, 2017; Федоров, Гребенников, 2018]. Отмечается, что диапазон неопределенности модельных расчетов будет уменьшаться по мере совершенствования климатических моделей и увеличения их точности. В связи с тем, что сделанный авторами статьи вывод о неопределенности прогнозов не является единственным, причины такой неопределенности нуждаются в объяснении, которое может способствовать совершенствованию физико-математических моделей климата.

Физико-математические модели климата – это высокотехнологичный и необходимый инструмент научных исследований. Необходимость моделирования климатических процессов опреде-

ляется следующим: 1) разнородностью компонентов климатической системы; 2) сложностью и многообразием связей (прямых и обратных) между компонентами системы; 3) постоянным изменением состояний как отдельных компонентов, так и системы в целом в пространстве и во времени; 4) изменением во времени и в пространстве связей между компонентами климатической системы. Учитывая необходимость и значимость моделирования природных процессов, совершенствование существующих или создание принципиально новых моделей климата, относящихся к сфере высоких технологий, представляется актуальной проблемой естествознания. Совершенствование моделей, на необходимость которого указывает полученный авторами вышеупомянутой статьи результат, базируется на выявлении проблем в моделировании и их решении. При этом следует выделить общие проблемы и частные. К общим проблемам физико-математического моделирования климата можно отнести проблемы, связанные с входящим в климатическую систему энергетическим сигналом. К частным проблемам относится выбор авторами прогностического сценария (RSP85) и особенности расчета входного энергетического сигнала в используемой авторами программе Surfbal по восстановленной минимальной и максимальной температуре воздуха. Рассмотрим это подробнее.

**Входящий энергетический сигнал:
рекомендации Межправительственной группы
экспертов по изменению климата**

Известно, что основным источником энергии гидрометеорологических процессов является солнечная радиация.

В настоящее время в качестве входящего в климатическую систему Земли внешнего энергетического сигнала в радиационном блоке физико-математических моделей климата (CLIM-5), Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК или ИРСС) рекомендовано использование данных, полученных в результате радиометрических измерений общего потока радиации (с 1978 г.) [*Lean et al., 1995, 2005*] и реконструкции общего потока радиации TSI (с 1610 г. годовое и с 1882 г. месячное разрешение) [<http://solarisheppa.geomar.de/cmip5>]. Реконструкция TSI выполнена на основе вариаций солнечной активности (числа пятен и факельных вспышек). Эти реконструированные данные не отражают изменений инсоляционной контрастности, с которыми связано усиление меридионального теплообмена (работы “тепловой машины первого рода”) [*Шулейкин, 1953*], а также многолетней изменчивости приповерхностной температуры воздуха (ПТВ), температуры поверхности

океана (ТПО), уровня Мирового океана (УМО) и площади распространения морских льдов [*Федоров, 2018*]. Инсоляционная контрастность (ИК) – это разность годовой радиацией, приходящей в область 0–45 градусов широты (источник тепла) и 45–90 градусов широты (стока тепла) в каждом полушарии (для Земли рассчитывается среднее по полушариям). Инсоляционная контрастность отражает меридиональный градиент инсоляции (МГИ) на верхней границе атмосферы (ВГА) или на поверхности земли без учета атмосферы. Изменения МГИ связаны с изменением наклона оси вращения Земли [*Федоров, 2018*].

Учет рекомендуемого МГЭИК измеренного и реконструированного TSI в качестве входного энергетического сигнала неверен при климатическом моделировании [<http://solarisheppa.geomar.de/cmip5>] по следующим причинам. Он отражает изменение общего прихода радиации к Земле. Это изменение, как показывают выполненные расчеты инсоляции Земли для современной эпохи, незначительно (около 0.005 % за 6000 лет) [*Федоров, 2015a, 2018*]. Эти вариации в приходе солнечной радиации рассчитываются и для отдельных широтных зон по косинусу широты без учета изменения угла наклона оси вращения Земли. Однако, поскольку вариации приходящей к Земле радиации малы, и вариации в широтных зонах в этом случае также оказываются малыми. В рекомендуемых в проекте CMIP-5 радиационных данных размах в годовых изменениях приходящей радиации, например с 1610 г., составляет около 4.5 Вт/м² (или 0.33 %). Этот размах характерен только для экваториальной области. К полюсам он уменьшается в зависимости от косинуса широты.

Значительно более важен учет не вариаций в приходе радиации, а ее изменений в распределении по широтным зонам в связи с изменением наклона оси вращения Земли, так как эти вариации в годовом распределении за 6000 лет составляют примерно 3 %. Именно уменьшением наклона оси определяется увеличение МГИ. Меридиональный градиент инсоляции регулирует меридиональный перенос энергии (тепла) в системе “океан–атмосфера”, а изменениями в МГИ определяются изменения в меридиональном переносе тепла (МПТ), в интенсивности работы “тепловой машины первого рода”.

Именно вариациями ИК, отражающими вариации МГИ, объясняются тренды в изменении глобальных ПТВ Земли и ее отдельных широтных зон [*Федоров, 2018, 2019*], а значит, и причины этих изменений, которые выражаются трендами, так как солнечная радиация является основным и практически единственным источником энергии гидрометеорологических процессов. В современных моделях климата учитываются только вариации

ции приходящей к Земле солнечной радиации, но не учитываются изменения в МГИ, а следовательно, и в системе “океан–атмосфера”.

Соотношение вариаций разной физической природы в изменчивости общего потока радиации

В современных климатических моделях не учитывается изменение соотношений вариаций различной физической природы в приходящей радиации в зависимости от временного разрешения и их различное влияние на формирование и изменение климата. Вариации, связанные с небесно-механическими процессами (изменением расстояния Земля–Солнце, склонения и др.), обозначаются нами как $TSI_{СМР}$ (celestial mechanical process). Вариации TSI , связанные с изменением активности Солнца, обозначаются как TSI_{SA} (solar activity).

Из рассчитанных ранее данных приходящей радиации следует, что соотношение вариаций разной физической природы даже при слабоизменяющемся приходе радиации меняется в зависимости от временного разрешения [Федоров, 2018]. Например, межгодовая изменчивость инсоляции в диапазоне месячного разрешения на 55 % определяется вариациями, связанными с $TSI_{СМР}$, и на 45 % с TSI_{SA} . Разность значений составляющих межгодовой изменчивости TSI , связанной с небесно-механическими процессами и определяемой изменением активности Солнца, имеет специфический характер годового хода. Межгодовые вариации, связанные с TSI_{SA} , превышают веса межгодовых вариаций, определяемых $TSI_{СМР}$ на протяжении 4 месяцев (1/3 года): июнь, июль, декабрь, январь. Временные интервалы доминирования вариации TSI_{SA} хронологически локализованы в окрестностях точек летнего и зимнего солнцестояния. На протяжении остальных 8 месяцев (2/3 года) в межгодовой изменчивости TSI преобладает вариация, определяемая $TSI_{СМР}$. Максимальные значения преобладания вариаций $TSI_{СМР}$ приходятся на интервалы вблизи точек равноденствия. Для периода спутниковых радиометрических наблюдений с 1978 по 2008 г. среднее соотношение характеризуется весовыми значениями 45.71 % (TSI_{SA}) и 54.29 % ($TSI_{СМР}$) [Федоров, 2015а, б, 2018].

Предлагаемые МГЭИК значения реконструированного TSI не учитывают этого. В связи с полученными результатами рекомендуется в качестве входящего энергетического сигнала при моделировании климата учитывать инсоляцию и (или) инсоляционную контрастность. Связь многолетней изменчивости аномалии ПТВ и ТПО с инсоляцией и ИК проанализирована и оценена в работах [Федоров, 2015б, 2018].

Изменение меридионального градиента инсоляции на верхней границе атмосферы

Основными блоками в физико-математических моделях климата являются модели общей циркуляции атмосферы (МОЦА) и модели общей циркуляции океана (МОЦО). Эти блоки описываются системой уравнений гидротермодинамики, отражающей основные физические законы (законы сохранения вещества и энергии, закон сохранения количества движения). Однако эти уравнения описывают усредненную, статическую атмосферу и океан [Лоренц, 1970; Пальмен, Ньютон, 1973] и не учитывают, например, изменения в МГИ и в системе “океан–атмосфера”. Выполненные расчеты инсоляции показывают, что в связи со сферической формой Земли экваториальная область получает больше лучистой энергии, чем полярные районы [Федоров, 2018]. В связи с неравномерностью распределения приходящей на ВГА солнечной радиации возникает меридиональный градиент инсоляции. В настоящее время (по крайней мере, в течение последних 5000 лет) отмечается постепенное увеличение годового МГИ в полушарии, заключенном между полярными кругами. Максимумы увеличения локализованы вблизи полярных кругов. В заполярных областях отмечается постепенное уменьшение МГИ к полюсам. Это связано с уменьшением наклона оси и увеличением инсоляции в зоне, расположенной южнее полярного круга в Северном полушарии и севернее полярного круга в Южном полушарии, и сокращением радиации в заполярных областях. Таким образом, в каждом полушарии выделяются области увеличения (от экватора до полярного круга) и области уменьшения (от полярного круга до полюса) МГИ. Максимальное за 5000 лет увеличение годового МГИ (на 1.25 %) отмечается в районе полярных кругов в каждом полушарии. Максимальное уменьшение МГИ (на 2.56 %) приходится на полярные районы [Федоров, 2018, 2019].

Осредненный годовой перенос энергии в системе “океан–атмосфера” [Лоренц, 1970; Пальмен, Ньютон, 1973] линейно связан с осредненным годовым МГИ [Федоров, 2018]. Коэффициент корреляции составляет 0.98. Поскольку средний годовой перенос энергии в системе “океан–атмосфера” определяется средним годовым меридиональным градиентом инсоляции, то и полученные для МГИ изменения в современную эпоху могут проявляться в системе “океан–атмосфера”. МГИ определяет меридиональный теплообмен (работа “тепловой машины первого рода”) и его усиление из-за уменьшения угла наклона оси вращения Земли [Федоров, 2018, 2019]. Полученные изменения в МГИ также следует учитывать в системе уравнений гидротермодинамики (уравнения законов со-

хранения массы, импульса, энергии и состояния газа) для атмосферы, используемой при численных экспериментах в физико-математических моделях климата. Уравнения гидротермодинамики в МОЦА и МОЦО описывают статическую атмосферу и океан, которые таковыми в действительности не являются.

Антропогенный фактор изменения климата

Климатическая доктрина Российской Федерации базируется на фундаментальных и прикладных научных знаниях в области климата и в смежных науках. Научное обоснование Климатической доктрины “включает признание способности антропогенного фактора оказывать воздействия на климатическую систему, приводящие к значимым, в первую очередь неблагоприятным и опасным для человека и окружающей среды, последствиям” [<http://kremlin.ru/events/president/news/6365>]. Это научное обоснование, однако, не является доказанным и представляется сомнительным [Сорохтин, 2006; Абдусаматов, 2009; Малинин, 2012; Федоров, 2018]. В октябре 2018 г. в выступлении на международном форуме “Российская энергетическая неделя” Президент РФ В.В. Путин также выразил сомнение в ведущей роли антропогенного фактора: “Действительно, мы наблюдаем, видимо, глобальное потепление, только не понятны причины этого потепления, ведь ответа до сих пор нет. И так называемые антропогенные выбросы, скорее всего, не основная причина этого потепления. Это могут быть изменения глобального характера, космические изменения, сдвиги какие-то, невидимые для нас, в галактике, – и все, мы даже не понимаем, что происходит. Наверное, антропогенные выбросы как-то влияют, но, судя по мнению многих специалистов, незначительным образом влияют” [<http://kremlin.ru/events/president/news/58701>].

Ранее сходное мнение было высказано Андреем Петровичем Капицей: “Я противник теории антропогенного потепления. Считаю, что борьба с CO₂ не является правильным путем. Потепление связано с колебаниями оси вращения Земли, с координатами изменения эклиптики Земли, изменениями солнечной активности и рядом природных изменений, которые вызывают резкие колебания климата Земли. Человеческое влияние ничтожно мало по сравнению с теми процессами, которые происходят в природе” [<https://lenta.ru/conf/kapitsa/>].

Также следует отметить и заключение Российской академии наук по проблеме подписания и ратификации Киотского протокола в 2004 г.: “Ученые признают факт потепления, но отмечают высокую степень неопределенности того, что потепление происходит только за счет антропогенного воздействия, то есть техногенных выбросов” [<https://regnum.ru/news/263047.html>].

Однако предположение о том, что основной причиной изменения глобального климата является “парниковый” эффект, связанный с эмиссией парниковых газов, определяемой антропогенным фактором, действительно получило широкое распространение [<http://www.ipcc.ch>; http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml; http://www.wmo.int/pages/index_ru.html]; Гор, 2007]. В связи с этим кратко напомним современные научные представления об основных факторах формирования глобального климата.

1. Солнце является основным источником энергии, определяющим радиационный и тепловой баланс Земли. Солнце излучает энергию, которая обеспечивает Землю теплом и светом. Лучистая энергия Солнца является основным источником энергии гидрометеорологических, биохимических и многих других процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, на земной поверхности. Энергия Солнца является важнейшим фактором развития жизни на Земле, обеспечивающим необходимые для жизни термические условия и фотосинтез. “Солнце – единственный источник тепла, достаточно сильный для того, чтобы оказывать значительное влияние на температуру поверхности земли и воздуха” [Воейков, 1903].

Годовой приход солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы Земли в среднем составляет $5.49 \cdot 10^{24}$ Дж [Федоров, 2018]. Этот приход во времени не является постоянным, он подвержен сезонным, межгодовым и многолетним изменениям. Изменения количества приходящей к Земле лучистой энергии определяются двумя причинами, имеющими различную физическую природу. Одна из них – изменение активности в излучении Солнца; другой причиной являются небесно-механические процессы, вызывающие изменения элементов земной орбиты (расстояние Земля–Солнце) и наклона оси вращения.

В перераспределении в атмосфере и океане приходящего от Солнца тепла участвуют механизмы меридионального 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. [Шулейкин, 1953]. Важными факторами в регулировании термического режима Земли являются состав атмосферы (прежде всего содержание H₂O), определяющий величину альбедо, парниковый эффект планеты и изменение этих факторов.

2. Парниковый эффект удерживает тепло, получаемое нашей планетой от Солнца. При этом известно, что основным парниковым газом является водяной пар. Его содержание может достигать 4 % в единице объема воздуха. Содержание CO₂ со-

ставляет всего 0.04 %, при этом менее 1 % от этого значения составляет двуокись углерода, связанная с деятельностью человека [Голубев, 2010]. Таким образом, по объемному содержанию в атмосфере водяной пар почти на два порядка превосходит суммарное содержание природной и антропогенной двуокиси углерода. Почти на четыре порядка (в 10 000 раз) содержание H_2O в атмосфере превышает содержание CO_2 , связанного с деятельностью человека. Действительно, наша планета – водная. Мировой океан занимает две трети площади Земли, это основной источник водяного пара в атмосфере. В высокогорных районах развиваются ледники, а в полярных районах распространяются морские льды. На Земле существуют две гигантские ледниковые шапки (Антарктида и Гренландия), представляющие собой образования из воды, находящейся в твердой фазе. На снимках из космоса видно, что Земля покрыта облаками. И это прежде всего водяной пар. Вода присутствует на Земле в трех фазовых состояниях. Переход из одного состояния в другое сопровождается процессами выделения или поглощения тепла. Таким образом, роль воды, льда и водяного пара в формировании и изменении климата Земли с учетом известного гидрологического цикла, в процессах теплообмена и климатообразования несопоставима с ролью CO_2 . Содержание других парниковых газов (метана и пр.) еще на три порядка меньше, чем содержание CO_2 .

Таким образом, температурный режим Земли в основном определяется двумя естественными факторами: приходящей от Солнца радиацией и парниковым эффектом планеты, при этом главным парниковым газом является водяной пар. Учитывая, что температура окружающего Землю пространства составляет $-273\text{ }^\circ\text{C}$ и среднегодовая приповерхностная температура Земли около $+15\text{ }^\circ\text{C}$, приходящей от Солнца радиацией определяется приблизительно 86 % тепла (249°), а парниковым эффектом планеты – 14 % (39°) [Монин, Шишков, 2000]. Поэтому причины глобального изменения климата следует искать в изменениях основных климатообразующих факторов: солнечной радиации и парникового эффекта планеты, определяемого содержанием водяного пара в атмосфере Земли.

Несмотря на очевидность основных факторов климатообразования, большинство исследователей (например, МГЭИК) называют в качестве главного фактора наблюдаемого потепления глобального климата увеличение содержания двуокиси углерода, связанного с деятельностью человека [<http://www.ipcc.ch/>; http://www.wmo.int/pages/index_ru.html].

Эти представления составляют научную основу Рамочной конвенции об изменении климата (РКИК), Климатической доктрины РФ [[\[kremlin.ru/events/president/news/6365\]\(http://kremlin.ru/events/president/news/6365\)\] и Парижского соглашения по климату 2015 г. \[\[http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conv2010.shtml\]\(http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conv2010.shtml\)\]. Вместе с тем, несмотря на широкое распространение этих, претендующих на истину положений, связь изменений глобального климата Земли с изменением содержания \$CO_2\$ в атмосфере не является очевидной. Более того, не существует и научного доказательства такой связи.](http://</p>
</div>
<div data-bbox=)

Известно, что смена климатических сезонов года на Земле связана с тем, что ось ее вращения имеет наклон относительно перпендикуляра к плоскости ее обращения вокруг Солнца (эклиптики). Еще Гиппархом (II век до н.э.) было дано объяснение годовой смене климатических сезонов. Эта смена объяснялась изменением наклона падения солнечных лучей, связанным с орбитальным движением Земли и наклоном оси ее вращения (климат в переводе с греческого языка означает наклон). Из-за наклона оси вращения в летнее полугодие полушарие получает приблизительно в 2 раза больше солнечной радиации, чем в зимнее. В настоящее время угол наклона составляет около 23.5° и в современную эпоху медленно уменьшается. В результате выполненных расчетов инсоляции Земли [<http://www.solar-climate.com/index.htm>; Федоров, 2018] и проведенных геофизических исследований нами получены научные подтверждения того, что глобальное потепление климата определяется естественными причинами. Важнейшая из них – уменьшение угла наклона оси вращения Земли [Федоров, 2015а, б, 2018, 2019], следствием которого является увеличение меридионального переноса тепла от экватора к полюсам (интенсивности работы “тепловой машины первого рода”). Этот перенос энергии осуществляется в основном вихревыми образованиями – тропическими и внетропическими циклонами.

Многолетние изменения содержания CO_2 являются результатом отмечаемого повышения температуры поверхности океана вследствие уменьшения угла наклона оси вращения Земли и усиления меридионального переноса тепла из экваториальной области (источника тепла) в полярные районы (области стока тепла). С повышением температуры поверхности океана уменьшается растворимость CO_2 в воде и его содержание в атмосфере увеличивается. Многолетняя изменчивость содержания двуокиси углерода является, таким образом, не причиной, а следствием глобального потепления климата, определяемого изменением наклона оси вращения Земли. Именно поэтому не существует и не может существовать научного доказательства влияния содержания двуокиси углерода, связанного с деятельностью человека, на изменение глобального климата. По полученным нами результатам исследований многолетние изменения приповерхностной темпера-

туры воздуха, температуры поверхности океана, уровня Мирового океана, суммарного баланса массы льда горных ледников и площади морских льдов в Арктике более чем на 80 % определяются ИК или усилением меридионального переноса тепла, связанного с уменьшением наклона оси вращения Земли [Федоров, 2018, 2019].

Из принятой в Климатической доктрине РФ научной основы об антропогенном факторе изменения климата следует связанная с неопределенностью прогнозов угроза безопасному и устойчивому развитию Российской Федерации. Предлагаемый МГЭИК (IPCC) сценарный прогноз [https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-ts-scenarios-ru.pdf] основан на возможных сценариях содержания CO₂ в зависимости от предполагаемых уровней развития мирового производства. Например, выполненный в [Поздняков и др., 2019] расчет ориентирован только на сценарий RSP85. Но поскольку в точности не известно, каким в реальности будет уровень мирового производства (через 10, 15 и более лет), прогноз всегда содержит неопределенность. Кроме того, как уже отмечалось, двуокись углерода является не причиной изменения климата, а наоборот, его следствием. Таким образом, рекомендации МГЭИК [http://www.ipcc.ch/] исключают возможность реального прогнозирования предстоящих изменений климата и поэтому адекватную оценку последствий климатических изменений и их влияния на качество жизни населения как в России, так и в других странах-участницах Парижского соглашения.

Эта неопределенность отмечается и в Климатической доктрине Российской Федерации. “Несмотря на обширные и убедительные научные данные о происходящих и прогнозируемых климатических изменениях, сохраняется значительная неопределенность в оценках того, как именно будут проистекать климатические изменения и какое они окажут влияние на экологические системы, экономическую и политическую деятельность, а также на социальные процессы в разных странах и регионах” [http://kremlin.ru/events/president/news/6365]. Неопределенность, таким образом, связана с принятым научным обоснованием (антропогенным фактором изменения климата) Климатической доктрины РФ, которое не имеет научного доказательства и является дискуссионным.

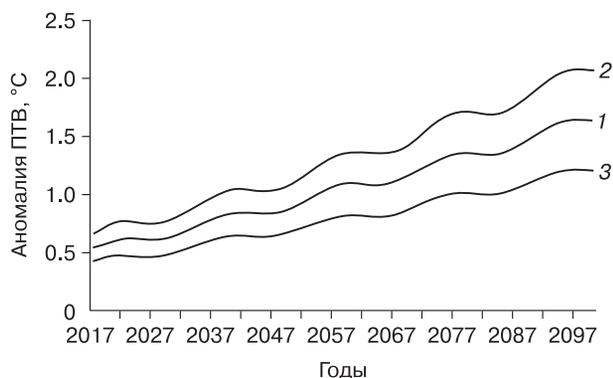
Решение этих общих проблем, возможное в связи с полученными нами расчетами инсоляции Земли, может способствовать совершенствованию физико-математических моделей климата и прогноза его изменений.

Следствием общих проблем физико-математического моделирования являются частные про-

блемы. Так, в используемой С.П. Поздняковым с соавторами модели Surfbal в качестве входного энергетического сигнала принимается солнечная радиация, измеренная или восстановленная по минимальной и максимальной температуре. Однако, как отмечалось выше, температура определяется не только приходящей радиацией, но и меридиональным переносом тепла. Отсюда вытекает проблема с достоверностью входного энергетического сигнала в используемой модели.

В целом следствием недоучета изменения МПТ, связанного с уменьшением наклона оси, определяется основной спектр общих и частных проблем физико-математических моделей. Понятный алгоритм формируется на базе малых вариаций приходящей радиации, не позволяющих адекватно отражать отмечающиеся тренды в изменении глобальных температур. Для решения этой проблемы (вместо учета изменения МПТ) модель в общем случае дополняется химическим блоком, в котором трендом CO₂ уже адекватно моделируется тренд глобальной температуры. Солнечная радиация рассчитывается при прогнозировании по среднему суточному и годовому ходу для заданных значений широты, долготы и времени (без учета их многолетних изменений). В результате CO₂ принимается за фактор изменения температурного режима климатической системы, тогда как в действительности CO₂ является не причиной, а следствием его изменения. Но поскольку неизвестно, сколько будет CO₂ в будущем, предлагаются разные сценарии (по одному из них, RSP85, С.П. Поздняков с соавторами провели расчеты динамики СМС), т. е. существует явная неопределенность. Прогнозная динамика СМС рассчитывалась авторами только для одного из принятых МГЭИК сценариев. В случае расчета динамики СМС для всех предлагаемых сценариев уровень неопределенности был бы тотальным.

По рассчитанному прогнозу содержание CO₂ в 2050 г. составит 466 ppm. Увеличение содержания CO₂ относительно 2015 г. (года подписания Парижского соглашения по климату) составит 65.5 ppm. Таким образом, ожидаемое увеличение содержания CO₂ составит около 16.3 % независимо от усилий стран-участниц Парижского соглашения по климату (в предлагаемых МГЭИК сценариях в этом случае также нет никакой необходимости). Это определяется тем, что менее 1 % CO₂ в атмосфере имеет антропогенное происхождение, в то время как многолетняя изменчивость почти 99 % содержащегося в атмосфере CO₂ регулируется многолетней изменчивостью ИК [Федоров и др., 2018]. В связи с изменением МГИ и ИК оценочный прогноз изменения глобальной ПТВ также представляется вполне определенным (см. рисунок).



Оценочный прогноз приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) по регрессионной модели.

1 – Земля; 2 – Северное полушарие; 3 – Южное полушарие.

В холодную фазу 60-летнего колебания аномалия ПТВ будет приблизительно на 0.1 °C ниже расчетных значений, а в теплую – выше.

Как следует из рис. 3 и 6 в работе [Поздняков и др., 2019], авторами мог бы быть получен приблизительный, но вполне определенный (в отличие от модельного) прогноз при аппроксимации фактических данных линейным или полиномиальным уравнением. Однако следствием используемых авторами моделей стала неопределенность при прогнозировании динамики СМС.

К сожалению, авторы вынуждены применять модельный инструментарий, который в настоящее время представляется проблематичным и нуждается в совершенствовании, прежде всего не в вычислительной сфере (разрешение по пространству и времени и т. д.), а в области понятийных определений и логики причинно-следственных связей в устройстве климатической системы и факторах ее изменений. Выводы, полученные авторами, указывают на актуальность решения отмеченных проблем в физико-математическом моделировании климата. В обновлении нуждается, по нашему мнению [Федоров, 2017], также научное обоснование Климатической доктрины РФ.

Литература

Абдусаматов Х.И. Солнце диктует климат Земли. СПб., Логос, 2009, 197 с.

Анисимов О.А., Кокорев В.А. Моделирование мощности сезонноталого слоя с учетом изменений климата и растительности: прогноз на середину XXI века и анализ неопределенностей // Криосфера Земли, 2017, т. XXI, № 2, с. 3–10.

Воейков А.И. Метеорология. СПб., Изд. картогр. заведения А. Ильина, 1903, 39 с.

Голубев В.Н. Роль арктического морского ледяного покрова в газообмене поверхностных геосфер // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 4, с. 17–29.

Гор А. Неудобная правда. Глобальное потепление: как остановить планетарную катастрофу. СПб., Амфора, 2007, 328 с.

Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1970, 260 с.

Малинин В.Н. Уровень океана: настоящее и будущее. СПб., РГГМУ, 2012, 260 с.

Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физ. наук, 2000, т. 170, № 4, с. 419–445.

Пальмен Э. Циркуляционные системы атмосферы / Э. Пальмен, Ч. Ньютон. Л., Гидрометеиздат, 1973, 616 с.

Поздняков С.П., Гриневский С.О., Дедулина Е.А. Влияние климатических изменений на многолетнюю динамику сезонного промерзания в Московском регионе: ретроспективный анализ и неопределенности прогноза на вторую половину XXI века // Криосфера Земли, 2019, т. XXIII, № 4, с. 26–35.

Сорохтин О.Г. Эволюция и прогноз изменений глобального климата Земли. М.; Ижевск, Ин-т компьютер. исслед.; НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2006, 88 с.

Федоров В.М. Пространственные и временные вариации солнечного климата Земли в современную эпоху // Геофиз. процессы и биосфера, 2015а, т. 14, № 1, с. 5–22.

Федоров В.М. Тенденции изменения площади морских льдов в Северном полушарии и их причины // Криосфера Земли, 2015б, т. XIX, № 3, с. 52–64.

Федоров В.М. Политика в области климата и вопросы национальной безопасности Российской Федерации // Политика и общество, 2017, № 12, с. 80–89, DOI: 10.7256/2454-0684.2017.12.24888.

Федоров В.М. Инсоляция Земли и современные изменения климата. М., Физматлит, 2018, 232 с.

Федоров В.М. Вариации инсоляции Земли и особенности их учета в физико-математических моделях климата // Успехи физ. наук, 2019, т. 189, № 1, с. 33–46, DOI: 10.3367/UFNR.2017.12.038267.

Федоров В.М., Голубев В.Н., Фролов Д.М. Многолетняя изменчивость инсоляции Земли и содержания двуоксида углерода в атмосфере // Жизнь Земли, 2018, т. 40, № 1, с. 12–21.

Федоров В.М., Гребенников П.Б. Инсоляционная контрастность Земли и изменение площади морских льдов в Северном полушарии // Арктика: экология и экономика, 2018, т. 4, № 32, с. 86–94, DOI: 10.25283/2223-4594-2018-4-86-94.

Шерстюков Б.Г. Изменения, изменчивость и колебания климата. Обнинск, ВНИИГМИ–МЦД, 2011, 294 с.

Шулейкин В.В. Физика моря. М., АН СССР, 1953, 990 с.

Lean J., Beer J., Bradley R. Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change // Geophys. Res. Lett., 1995, vol. 22, p. 3195–3198.

Lean J., Rottman G., Harder J., Kopp G. Solar contributions to new understanding of global change and solar variability // Solar Physics, 2005, No. 230, p. 27–53.

References

Abdusamatov Kh.I. The Sun Dictates the Earth’s Climate. St. Petersburg, Logos, 2009, 197 p. (in Russian).

Anisimov O.A., Kokorev V.A. Russian permafrost in the 21st century: model-based projections and analysis of uncertainties. Earth’s Cryosphere, 2017, vol. XXI, No. 2, p. 3–9.

Voeikov A.I. Meteorology. St. Petersburg, Publication of a Cartographic Institution A. Ilina, 1903, 39 p. (in Russian).

Golubev V.N. Role of the Arctic sea ice cover in the gas exchange of the surface geospheres. Kriosfera Zemli [Earth’s Cryosphere], 2010, vol. XIV, No. 4, p. 17–29 (in Russian).

- Gore A. Inconvenient Truth. Global Warming: How to Stop a Planetary Catastrophe. St. Petersburg, Amfora, 2007, 328 p. (in Russian).
- Lorenz E.N. Nature and Theory of the General Circulation of the Atmosphere. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970, 260 p. (in Russian).
- Malinin V.N. Ocean Level: Present and Future. St. Petersburg, RGGMU, 2012, 260 p. (in Russian).
- Monin A.S., Shishkov Yu.A. Climate as a problem of physics. Uspekhi Fizicheskikh Nauk, 2000, vol. 170, No. 4, p. 419–445 (in Russian).
- Palmen E., Newton Ch. Atmospheric Circulation Systems. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1973, 616 p. (in Russian).
- Pozdnyakov S.P., Grinevskiy S.O., Dediulina E.A. Impacts of climate change on multi-year dynamics of seasonal freezing in Moscow region: retrospective analysis and uncertainties in forecasting for the second half of the 21st century. Earth's Cryosphere, 2019, vol. XXIII, No. 4, p. 26–35.
- Sorokhtin O.G. Evolution and Forecast of Changes in the Global Climate of the Earth. Moscow; Izhevsk, Institute of Computer Science; SIC "Regular and Chaotic Dynamics", 2006, 88 p. (in Russian).
- Fedorov V.M. Spatial and temporary variations of the solar climate of the Earth in the Modern Era. Geophysical Processes and Biosphere, 2015a, vol. 14, No. 1, p. 5–22 (in Russian).
- Fedorov V.M. Trends of the changes of sea ice extent in the Northern Hemisphere and their causes. Earth's Cryosphere, 2015b, vol. XIX, No. 3, p. 46–57.
- Fedorov V.M. Climate policy and national security issues of the Russian Federation. Politics and Society, 2017, No. 12, p. 80–89 (in Russian).
- Fedorov V.M. Earth Insolation and Modern Climate Change. Moscow, Fizmatlit, 2018, 232 p. (in Russian).
- Fedorov V.M. Variations of the Earth's insolation and the peculiarities of their accounting in physical and mathematical climate models. Uspekhi Fizicheskikh Nauk, 2019, vol. 189, No. 1, p. 33–46 (in Russian).
- Fedorov V.M., Golubev V.N., Frolov D.M. The long-term variability of the earth's insolation and carbon dioxide content in the atmosphere. Zhizn' Zemli [Life of the Earth], 2018, vol. 40, No. 1, p. 12–21 (in Russian).
- Fedorov V.M., Grebennikov P.B. Insolation contrast of the Earth and change in the area of sea ice in the Northern Hemisphere. Arctic: Ecology and Economics, 2018, vol. 4 (32), p. 86–94 (in Russian).
- Sherstyukov B.G. Changes, Variability and Variations in Climate. Obninsk, VNIIGMI–WDC, 2011, 294 p. (in Russian).
- Shuleikin V.V. Physics of the Sea. Moscow, AN SSSR, 1953, 990 p. (in Russian).
- Lean J., Beer J., Bradley R. Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. Geophys. Res. Lett., 1995, vol. 22, p. 3195–3198.
- Lean J., Rottman G., Harder J., Kopp G. Sorce contributions to new understanding of global change and solar variability. Solar Physics, 2005, No. 230, p. 27–53.

*Поступила в редакцию 19 марта 2019 г.,
после доработки – 16 апреля 2019 г.,
принята к публикации 19 апреля 2019 г.*