

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук Грицуна Андрей Сергеевича

на диссертационную работу Мурышева Кирилла Евгеньевича «Взаимное запаздывание между изменениями глобальной температуры и содержания углекислого газа в атмосфере», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 — Физика атмосферы и гидросферы.

Диссертационная работа Мурышева Кирилла Евгеньевича посвящена анализу поведения средней глобальной температуры поверхности Земли и содержания углекислого газа и метана в атмосфере и изучению причинно-следственных связей между ними. Основным объектом анализа - данные моделирования климата Земли, полученные с помощью использования моделей Земной системы (модель промежуточной сложности ИФА РАН, модель Земной системы MIROC) и концептуальной энергобалансовой модели, разработанной автором работы, в рамках соответствующих численных экспериментов. В работе решается задача по объяснению характера наблюдаемых запаздываний между концентрацией углекислого газа и температурой поверхности Земли в случае воздействий на систему парникового (антропогенного) и естественного типа.

Основные результаты работы – создание достоверной энергобалансовой модели эволюции температуры поверхности и концентраций парниковых газов, выводы о зависимости запаздывания между рассматриваемыми величинами от типа воздействия на Земную систему и от временного масштаба воздействий, о возможных физических механизмах, обуславливающих данные эффекты.

Актуальность исследования диктуется необходимостью идентификации наблюдаемых климатических изменений, выявления характера таких изменений (естественные они или антропогенные) и установления причинно-следственных связей между изменениями различных характеристик Земной системы. В частности, обсуждаемым вопросом является причинно-следственная связь между колебаниями концентрации углекислого газа в атмосфере и глобально осредненной температурой поверхности Земли. В научной литературе встречаются предположения, что изменения опережающей с точки зрения корреляционного анализа переменной (например, температуры) вызывают изменения опережаемой (концентрации CO₂), после чего делается вывод о сомнительности антропогенного характера происходящих изменений климата. В работе показывается, что это имеет место далеко не всегда.

Диссертационная работа изложена на 90 страницах, включая 14 рисунков и 2 таблицы, состоит из введения, трех глав, заключения и приложения. Основной список литературы содержит 82 ссылки.

Во введении приведен сжатый обзор состояния исследований по проблематике диссертации (раздел «актуальность работы»), сформулированы цели и задачи работы, вкратце описаны методы исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Отмечена научная новизна, научная и практическая значимость работы, перечислены мероприятия, на которых доложены основные результаты (раздел «апробация работы»), приведен список опубликованных работ по теме работы, сформулирован личный вклад автора в результаты.

В первой главе изложена методология исследования. В начале главы обосновывается выбор используемых моделей (модель Земной системы (МЗС) MIROC, климатическая модель промежуточной сложности (КМ) ИФА РАН и концептуальная энергобалансовая модель (ЭБМ), в простейшем виде отражающая взаимодействие атмосферы и океана с углеродным циклом), дается определение запаздывания. Далее, в части 1.1. кратко описана КМ ИФА РАН, ее составные части - блок атмосферы, блок океана, блок поверхности суши, описание углеродного и метанового циклов. В части 1.2 сформулирована концептуальная модель, ее линейризация представлена в разделе 1.3. Затем, в части 1.4 обсуждаются результаты экспериментов по моделированию климата 1700-2100гг в рамках сценариев CMIP5 (исторический + сценарий RCP2.6) с моделями КМ ИФА и MIROC. Обсуждается изменение поверхностной температуры и концентрации CO₂ в моделях, оценивается запаздывание первой относительно второй. Делается вывод, что КМ ИФА качественно воспроизводит это запаздывание (в 1800-1850гг изменения температуры опережают изменения углекислого газа, в 2006-2100 – наоборот). Далее приводятся аргументы, качественно объясняющие полученные результаты с помощью привлечения линейризованной ЭБМ.

Во второй главе представлены результаты анализа временных сдвигов между температурой и CO₂ при непарниковом радиационном внешнем воздействии на климатическую систему. В качестве внешнего воздействия используется как периодическая, так и аperiodическая по времени функция. Исследуется зависимость временного сдвига от продолжительности воздействия. Показано, что в обоих случаях, и для КМ ИФА и для ЭБМ знак временного сдвига зависит от длительности воздействия (для непродолжительных воздействий (до сотен лет) концентрация CO₂ является ведомой, и наоборот для более длительных). При более сложной временной зависимости воздействия имеет место смешанная картина. ЭБМ, при этом, во всех экспериментах

достаточно точно воспроизводит результаты КМ ИФА. Далее, при помощи аналитических выкладок с линеаризованной версией ЭБМ показано, что факт смены знака запаздывания связан с действием отрицательной обратной связи между эмиссиями углерода в атмосферу и его общим запасом в почве.

В третьей главе проводятся аналогичные исследования по изучению временных сдвигов между глобальной температурой и концентрацией CO₂ при парниковом внешнем радиационном воздействии. Внешнее воздействие (эмиссии CO₂ и CH₄) задаются в виде гармонической функции и в виде гармонической функции на половине периода (и нулем на второй половине). Снова исследуется зависимость сдвига от продолжительности воздействия. Показано, что при воздействии на систему с помощью эмиссии CO₂ температура всегда следует за изменениями концентрации. Величина запаздывания при длительных воздействиях определяется величиной равновесной чувствительности модели к удвоению концентрации CO₂. При включении эмиссии метана для воздействий продолжительностью менее 400 лет такая картина сохраняется. При более длительных воздействиях, максимум температуры наступает ранее максимума концентрации углекислого газа (но позднее максимума результирующего радиационного форсинга от суммарной эмиссии метана и CO₂). Величина запаздывания определяется чувствительностью модели к суммарному форсингу. Как и в главе 2 эти выводы подтверждаются и иллюстрируются аналитически с помощью ЭБМ. Эффект связан с различным временем жизни парниковых газов в атмосфере и различной чувствительностью модели к соответствующим форсингам.

В заключении коротко представлены основные выводы работы.

В приложение вынесены детали анализа поведения линеаризованной концептуальной модели в случае непарникового внешнего воздействия.

Отмечу некоторые замечания, возникшие при прочтении работы. Текст диссертации написан слишком тезисно, введение занимает всего 2.5 страницы, источники цитируются большими группами без какой-либо конкретики. Постановки численных экспериментов описаны недостаточно (см., например замечание 1.4). Верификации расчетов, анализу качества моделей и пояснению результатов стоило бы уделить больше внимания (см. ниже).

1.1. Почему анализируется только МЗС MIROC, а не ансамбль моделей CMIP5? Вычисление запаздываний для других МЗС не представляется сложным!

1.2. Не приводится сравнение эволюции глобальной температуры и концентрации углекислого газа для МЗС MIROC, КМ ИФА с данными наблюдений (по 1950-2005). Стоит также прокомментировать значительную разницу в воспроизведении концентрации CO₂

между MIROC и КМ ИФА в конце 21в (рис 1.1.). Это полезно для понимания качества моделей.

1.3. Зависит ли запаздывание от конкретной реализации траектории системы? Для модели MIROC существует ансамбль из нескольких траекторий, почему бы не проверить, например, результаты для 1850-1900гг.

1.4. Как осуществлялась инициализация климатических моделей для сценарных расчетов (в особенности углеродного цикла океана)?

2.1. Какие границы применимости линейной ЭБМ? Можно ли ее использовать, например, для других геологических эпох?

2.2. Проводились ли эксперименты с линейной ЭБМ, аналогичные приведенным в главе 2 для КМ ИФА и нелинейной ЭБМ?

3.1. Имело бы смысл сравнить КМ ИФА и ЭБМ используя только метановый форсинг, аналогично первому эксперименту главы 3.

3.2. Результаты, полученные с ЭБМ и КМ ИФА очень близки для случая непарниковых воздействий и воздействий в углеродном цикле и, на первый взгляд, несколько хуже для случая метанового форсинга. Хорошо было бы проанализировать причины.

P1. Рисунок 2.2 (и 3.1) нужно было бы переделать, либо убрав лишние линии, либо дав им всем объяснение в главе 2.

P2. Список публикаций по теме работы в тексте диссертации содержит 13 работ, включая 6 статей списка ВАК, WoS и Scopus, а в автореферате – 14 работ, из них 4 в журналах ВАК, WoS и Scopus.

Сделанные замечания, тем не менее, не снижают общую высокую оценку данной работы и полученных результатов.

Новизна результатов не вызывает сомнений. Показано, что характер (в т.ч. знак) запаздывания между изменениями среднеглобальной температуры и концентрации углекислого газа в атмосфере зависит от типа и продолжительности воздействия на климатическую систему. Сформулирована реалистичная энерго-балансовая модель в рамках которой дано физически значимое объяснение этого эффекта, исследованы соответствующие механизмы. Показано, что нелинейность климатической системы не является необходимым условием полученного эффекта.

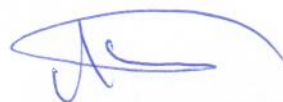
Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа понятно написана, текст свидетельствует о высокой эрудиции автора и подтверждает его высокую научную квалификацию, знание научной проблематики по теме исследования и смежным областям знания, способность формулировать задачи и получать значимые научные результаты.

Достоверность результатов подтверждается проведенным тестированием методов на модельных задачах, использованием моделей различной сложности, показавших согласованные результаты. Отмечу, также, высокий уровень научных журналов, в которых опубликованы результаты работы.

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы. Автореферат работы соответствует содержанию, достаточно полно отражает структуру диссертации и дает возможность сделать заключение о ее высоком научном уровне. Диссертационная работа в целом выполнена на очень высоком уровне и представляет собой законченный научный труд. Основные положения диссертации опубликованы в научных изданиях. Список публикаций по теме диссертации содержит 14 работ, включая 4 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, WoS и Scopus. Результаты работы докладывались на многочисленных российских и международных конференциях.

Таким образом, диссертация Мурышева Кирилла Евгеньевича «Взаимное запаздывание между изменениями глобальной температуры и содержания углекислого газа в атмосфере» соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утвержденных постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013г. №842, предъявляемых к диссертационным работам на соискание степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Официальный оппонент,
Заместитель директора ИВМ РАН
Доктор физико-математических наук
по специальности 25.00.29 — Физика атмосферы и гидросферы
119333, г. Москва, ул. Губкина, д.8, ИВМ РАН
e-mail: asgrit@mail.ru, тел: +7 (495) 984-8120 доб. 3902



Грицун А.С.

27 октября 2020г.

Я, Грицун Андрей Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

27.10.2020



Грицун А.С.

«Подпись заместителя директора ИВМ РАН Грицуна Андрея Сергеевича удостоверяю»

Ученый секретарь ИВМ РАН



Шутяев В.П.