

Отзыв официального оппонента на диссертацию

Денисова Сергея Николаевича

«Модельные оценки региональных и глобальных естественных эмиссий метана в атмосферу при изменениях климата»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Научный руководитель: чл.-корр. РАН, профессор, д.ф.-м.н. И.И. Мохов.

Работа выполнена в Институте физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН.

Актуальность. Тема диссертационного исследования, безусловно, **актуальна**. Метан является третьим по значимости, после водяного пара и углекислого газа, парниковым газом в атмосфере, причем величины его источников на поверхности (как естественных, так и антропогенных) остаются слабо определенными. Относительная скорость роста концентрации метана в атмосфере значительно превышает таковую для углекислого газа. В то же время, в первое десятилетие XXI в. этот рост имел отрицательные значения в течение нескольких лет. Все эти обстоятельства привлекают пристальное внимание научного сообщества к проблеме цикла метана в климатической системе и его моделированию, как высокоэффективному средству построения проекций будущего состояния климатической системы и анализа обратных связей между климатом и источниками метана на поверхности. Своевременность работы соискателя подтверждается также его участием в крупном международном проекте WETCHIMP сравнения моделей эмиссии метана с переувлажненных территорий.

Обоснованность и достоверность. Основные результаты диссертации можно считать достаточно обоснованными и достоверными, поскольку:

– использованы математические модели, многократно апробированные в исследованиях других авторов, в т.ч. климатическая модель ИФА РАН, включающая блок тепловлагопереноса в почве;

– подходы моделированию эмиссии метана учитывают основные факторы этих эмиссий и верифицированы в работах других авторов;

– в качестве атмосферного воздействия использованы известные банки данных, в частности, CRU (Climate Research Unit);

– все полученные результаты по эмиссиям метана сопоставляются с большим количеством оценок других авторов и моделей, в частности в рамках проекта WETCHIMP;

– большинство полученных результатов и предложенных выводов находятся в согласии друг с другом.

Достоинства работы. Важным результатом работы является создание вычислительно эффективного инструментария (климатическая модель промежуточной сложности с блоком процессов образования и стока метана) для исследования обратных связей между климатом и метановым циклом. Получены величины обратной связи между потеплением нижней тропосферы и эмиссией метана с переувлажненных территорий при различных сценариях антропогенного воздействия. Одним из наиболее ценных результатов следует считать вывод о том, что ускорение процесса разрушения метана в атмосфере за счет роста температуры может полностью компенсировать положительную обратную связь между приземной температурой воздуха и эмиссией метана. Насколько известно рецензенту, такая оценка получена **впервые**. По-видимому **впервые** произведен также анализ устойчивости метаногидратов на дне оз. Байкал. Работа написана хорошим русским языком, не допускающим неоднозначного толкования результатов.

Недостатки работы. К ним можно отнести следующее:

- англоязычные обозначения единиц измерений перемежаются с русскоязычными;

- непонятно, почему в разных разделах работы использовались две разные

модели почвогрунтов, причем не делается никаких выводов о достоинствах и недостатках каждого подхода;

- не все аббревиатуры расшифрованы;
- в численных экспериментах, в которых почва считалась полностью насыщенной, не учитывается окисление метана в верхнем аэрированном слое грунта;
- не объясняется происхождение констант в формуле генерации метана (стр.18);
- в разделе 1.1.1 получено, что отклик эмиссии метана на среднеглобальную температуру в высоких широтах ниже, чем в тропических, в то время как в разделе 1.1.2 сделан противоположный вывод, и он представляется более корректным, поскольку температура в высоких широтах растет быстрее;
- фактор более быстрого роста температуры в высоких широтах почему-то ни разу не упоминается в работе при обсуждении чувствительности эмиссий метана к температуре;
- методически неясно проведение двух исследований, изложенных в пп. 1.1.1 и 1.1.2, относящихся к историческому периоду. Используются различные модели для эмиссии метана и атмосферные данные, что, казалось бы, должно побудить к сравнению результатов, однако приведенное сравнение представляется недостаточным, качественные выводы не сделаны;
- в разделе 1.1.2 в качестве атмосферного воздействия совмещались данные из реанализа и климатической модели ИФА РАН. Непонятно, почему не были использованы только данные КМ ИФА РАН, в которых все метеорологические величины динамически согласованы?
- в разделе 1.1.2 увлажнение почвы в блоке метана было задано насыщающим значением, так что чувствительность эмиссии метана к количеству осадков определялось только через тепловой баланс на поверхности. Следует также отметить, что повышение температуры при неизменных осадках должно приводить к увеличению испарения, понижению

влажности почвы и, соответственно, к уменьшению генерации метана, что в модели не учтено. Таким образом, оцененная чувствительность эмиссии к температуре воздуха и осадкам по отдельности не учитывает этих важных механизмов;

- в таблице 1 сказано, что в разделе 1.1.1 использовались данные CDIAC-NDP-017, в которых на внетропические широты приходится 18.9 из 20.3 млн км² переувлажненных территорий. По-видимому, это опечатка или ошибка. Она приводит к видимому противоречию с результатами п. 1.1.1, где утверждается, что на тропические широты приходится подавляющая доля мировых эмиссий метана;

- при расчете времени жизни метана в атмосфере используется приповерхностная температура воздуха, однако поглощение метана происходит не только (и возможно, не столько) у поверхности, так что такой выбор требует пояснения;

- метан производится в почве не бактериями, а археями (стр. 52);

- на рис. 14 и далее удивляет отсутствие эмиссии метана на севере Европейской территории России и Западной Сибири;

- замечание по структуре. В конце каждой главы приводится «Обсуждение результатов». Это разумное решение, однако, в соответствующем разделе главы 2 по сути лишь повторяются результаты и выводы, изложенные ранее;

- на стр. 74 сказано, что модель ИФА РАН тепловлагопереноса в почве была адаптирована для грунта под океаном. Однако, почти мало сказано о том, в чем эта адаптация заключалась;

- описание модели для расчета условий устойчивости метаногидратов в донных отложениях в главе 3 ограничивается общими словесными формулировками и ссылками на литературу. Так, непонятно, учитывалась ли теплота фазовых переходов метаногидрата в уравнении для температуры грунта;

- не учет процессов растворения и окисления метана в водной толще существенно ограничивает применимость произведенных оценок

