

## Дополнение к докладу А.В. Елисеева “Глобальный цикл метана”

**Слайд 1.** Моё сообщение будет скорее не комментарием, а дополнением к очень полному и содержательному докладу А.В. Елисеева. Это дополнение будет состоять из двух частей. Во-первых, докладчик уже говорил о высокой неопределённости эмпирических данных об эмиссиях метана, и я скажу об основных методах измерений, и в чём заключаются причины этих неопределённостей. И, во-вторых, я коротко коснусь роли водных экосистем в наземных эмиссиях метана.

**Слайд 2.** Итак, первый метод измерения метана – это т.н. камерный метод. На поверхности устанавливается камера, она может иметь разную форму, и по скорости увеличения концентрации метана в ней рассчитывают поток с поверхности, которую она покрывает. Недостатков у этого метода, по меньшей мере, два. Во-первых, измеряется поток с очень небольшой площади, и при существенной неоднородности ландшафта представляется почти невозможным покрыть подобными измерениями все микроландшафты, обладающие своеобразием условий эмиссии метана. Вторым недостатком можно назвать нарушение камерой естественного турбулентного режима приповерхностного слоя воздуха, который обуславливает вертикальный перенос метана.

**Слайд 3.** От упомянутых недостатков камерного метода свободен метод ковариации пульсаций. Этот метод называют прямым, поскольку измеряется временная ковариация пульсаций – величина, которую можно считать определением турбулентного потока субстанции. Однако, возникает вопрос о связи измеренного таким образом потока на некоторой высоте с потоком метана на поверхности. Этому вопросу посвящена обширная теория, основной результат которой можно сформулировать так: поток по методу ковариации пульсаций равен потоку, осреднённому по подстилающей поверхности, находящейся от точки измерения против направления ветра. Технологическая сложность систем измерения методом ковариации пульсаций и неопределённость многих параметров методики (например, периода осреднения при расчёте статистик) приводит к значительной неопределённости измеряемых потоков, особенно в неоднородном ландшафте.

**Слайд 4.** Теперь я перейду к роли пресноводных экосистем в глобальном метановом цикле. В силу исторических причин, измерения эмиссии метана и углекислого газа с озёр и рек начались значительно позже, чем аналогичные работы на болотах. При этом, в последние 10-15 лет данные о количестве метана, выделяемого озёрами и реками, быстро растут, что приводит к переоценке глобальных величин эмиссий. Так, в цитируемой на данном слайде статье глобальный поток оценивается уже более 100 Тг/год, что примерно в два раза меньше, чем для болот. Если верить этой оценке, то водоёмы становятся вторым по величине естественным источником метана в климатической системе.

**Слайд 5.** Особый интерес представляют т.н. термокарстовые озёра в зоне вечной мерзлоты. Здесь метан производится как в результате функционирования современной экосистемы озера – в современных донных отложениях – так и в результате разложения тех органических соединений, которые попадают в зону положительной температуры при заглублении протаявшей части грунта.

**Слайд 6.** Динамика и распределение метана в озёрах тесно связана с динамикой и распределением кислорода и углекислого газа. В отличие от атмосферы, реакция окисления метана кислородом в воде очень эффективна, поскольку осуществляется бактериями (метанотрофами). В результате, растворённый метан часто оказывается сосредоточен под термоклином водоёмов, где содержание кислорода резко падает. В то же время,

значительное количество метана выделяется из донных отложений в составе пузырьков. В пузырьках метан практически не окисляется и, вследствие их быстрого подъёма, не успевает раствориться в водной фазе.

**Слайд 7.** К настоящему времени разработаны математические модели генерации и эмиссии метана из водоёмов суши. Они калибруются, как правило, на данных *in situ* измерений. Модель озера с биогеохимическим блоком Ц. Тана была применена для озёр Арктики в условиях современного и будущего климата. Оценка современной эмиссии арктическими озёрами составила ~12 Тг/год. Показано, что в зависимости от сценария антропогенного воздействия, эта величина к концу XX столетия вырастет в 2-2.5 раза. Отметим, что такой же относительный рост показывают расчёты эмиссии метана болотами в модели деятельного слоя суши JSBach (не показано на слайде).

**Слайд 8.** Отдельный интерес представляет проблема эмиссии парниковых газов с водохранилищ. В отличие от водоёмов, здесь разлагается органическое вещество затопленной экосистемы, вследствие этого эмиссии максимальны в первые годы после введения плотины в строй. Кроме того, в водохранилищах, наряду с вертикальной диффузией и потоком пузырьков, имеется дополнительный путь для парниковых газов в атмосферу – через дегазацию воды в турбинах (забор воды на турбины часто производится на глубинах, где содержание кислорода мало и велика концентрация метана и углекислого газа). Ввиду подписания Парижского соглашения, которое подразумевает документирование экономической деятельности в терминах эквивалентов CO<sub>2</sub>, измерение и моделирование эмиссии парниковых газов водохранилищами приобретает особую актуальность.

**Слайд 9.** Заключительный слайд представляет вклад различных пресноводных экосистем суши в потоки парниковых газов в эквивалентах CO<sub>2</sub>, согласно одной из последних глобальных оценок. Обращает на себя внимание эмиссия CO<sub>2</sub> реками, которая превышает CO<sub>2</sub>-эквивалент эмиссии метана болотами. В этой связи отметим, что потоки парниковых газов на реках, по нашему мнению, исследованы ещё в меньшей степени, чем на водоёмах, и здесь ещё имеет место большой потенциал для получения новых результатов.