

**Семинар Института глобального климата и экологии
Росгидромета и РАН (ИГКЭ),
Москва, 26 апреля 2017 г.**

SUMMARY

(составила А.А. Маковеева, ИГКЭ)

Состоялся доклад **д.ф.-м.н. Елисеева Алексея Викторовича** (Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН) «Глобальный цикл CO₂». С развернутым комментарием выступила **к.г.н. Гинзбург Вероника Александровна** (ИГКЭ, Институт географии РАН). Председательствовал **д.ф.-м.н. Семенов Сергей Михайлович**, Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН.

Семенов С.М., председатель:

Добрый день, коллеги. Давайте начнем наше заседание. Слово для доклада предоставляется Елисееву Алексею Викторовичу. Пожалуйста, Алексей Викторович.

Елисеев А.В.:

(РАСШИРЕННЫЕ ТЕЗИСЫ И ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПРИЛАГАЮТСЯ).

ВОПРОСЫ К ДОКЛАДУ ЕЛИСЕЕВА А.В.

Смолин А.В. (Институт органической химии РАН):

Вопрос по поводу содержания CO₂ в океане, относительно поведения pH при увеличении концентрации CO₂ в атмосфере. У Вас написано – увеличение pH, наверное, должно быть уменьшение?

Ответ - Елисеев А.В.:

Да, Вы правы, это описка.

Смолин А.В. (Институт органической химии РАН):

По поводу растворения CO₂, как на это влияет соленость? Если солёность выше, то и растворимость CO₂ меньше.

Ответ - Елисеев А.В.:

Были классические работы 1994-го года, были и более поздние. Эффект солености оказывается не очень важным по сравнению с собственно температурным эффектом. Этот эффект очень важен в трендовой составляющей. Если бы растворимость CO_2 не зависела от температуры, поглощение океаном было бы гораздо больше, по имеющимся оценкам раза в 1,5. Но основной эффект заключается в том, что мы очень сильно увеличиваем CO_2 в атмосфере, что влияет на pH так, что растворимость CO_2 уменьшается. При этом температурная зависимость и, тем более изменения солености, скомпенсировать это не могут.

Смолин А.В. (Институт органической химии РАН):

Какие реальные концентрации CO_2 сейчас в океане и как это зависит от зон океана, на севере, на юге. Это плавающий параметр, концентрации должны быть разные.

Ответ - Елисеев А.В.:

На самом деле, они не очень различаются. Примерно за год восстанавливается равновесие по парциальному давлению CO_2 между атмосферой и океаном. Атмосфера хорошо перемешана на этих временных масштабах, поэтому там региональная зависимость на самом деле не очень большая. И парциальное давление CO_2 в океане примерно равно атмосферному с разницей 6-8 частей на миллион, при том, что сейчас концентрация порядка 400 частей на миллион. Исключением являются регионы, перманентно покрытые льдом, потому что там уже, действительно, влияет океаническая циркуляция. Там в зависимости от циркуляции может быть перенасыщено или недонасыщено, но это такие особенные регионы и даже они не всегда четко выражены.

Смолин А.В. (Институт органической химии РАН):

Еще один вопрос, что такое время жизни CO_2 в атмосфере 140 лет, что это означает?

Ответ - Елисеев А.В.:

Время жизни - отношение массы углерода в атмосфере к исходящему потоку. Этот суммарный поток в океан и наземные системы равен примерно 5 Гт С/год. Если мы теперь, запас углерода в атмосфере, сейчас примерно 800 Гт С, разделим на 5, то получим около 200 лет. Вот примерно такими оценками получена цифра 140 лет, были использованы несколько иные оценки потоков. Это величина весьма плавающая.

Кудрявцева Л.В. (ИГКЭ)

Вы даете прогноз увеличения пожаров при потеплении климата, но не говорите об увеличении атмосферных осадков. Учитывается ли это в формуле Нестерова?

Ответ - Елисеев А.В.:

И в наших моделях, и во всех остальных пожар возникает, когда топливо достаточно сухое. Чтобы оно было сухим, надо чтобы долго не было осадков и стояла жаркая погода. В модели считается динамическое соотношение содержания водяного пара. Формула Нестерова дает только метеорологические условия пожароопасности, но она не позволяет вычислять площадь выгорания. Для того чтобы посчитать площадь выгорания надо связать это именно с характеристиками топлива.

Романовская А.А. (ИГКЭ):

Спасибо большое за действительно интересный доклад. Трудно охватить сразу все аспекты цикла углерода, поэтому вопрос в области моей компетенции. Мне показалось, что вы уделяете достаточно много внимания эффекту фертилизации и усилению стока углерода в наземную растительность. Однако в литературе накоплено много данных об ограниченном эффекте фертилизации, особенно в северных широтах. Кроме того, данные Global Carbon Project по десятилетиям показывают, что в последний цикл опять идет уменьшение среднегодовой величины стока углерода в наземные экосистемы. На мой взгляд, эффект усиления стока углерода логичнее было бы связывать не с фертилизацией, а с увеличением площади растительности.

Ответ - Елисеев А.В.:

Я не понимаю, что имеется в виду под увеличением площади растительности. Площадь распространения растительности ограничена площадью континентов, растительность не может развиваться в пустынях и

на ледовых щитах. Имеется в виду увеличение листового индекса? Увеличение листового индекса тесно связано с интенсивностью фотосинтеза, и тесно связано с тем же самым эффектом фертилизации. Что касается ограниченности, ряд таких публикаций есть, но они, как правило, касаются сельскохозяйственных культур, которые сами по себе растения крайне нетипичные. Помню, будучи аспирантом, слушал лекцию профессора, биолога Шульгина, который вообще про сельскохозяйственные растения говорил, что это "генетические уроды", и в случае, если их не будет поддерживать человек, они превратятся в дикорастущие аналоги.

К сожалению, не успел сказать про взаимодействие цикла углерода и азота. Действительно биологический недостаток азота способен существенно придавить эффект фертилизации. Что касается важности самого эффекта, и я сам, и другие авторы делали просто расчеты с вычленением климатического эффекта, эффекта фертилизации, эффекта взаимодействия с азотными и другими циклами, и получалось, что основной эффект при росте фотосинтеза, судя по всему, связан с эффектом фертилизации.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

Алексей Викторович, у Вас же расчет идет на метры квадратные земной поверхности, а не на метры квадратные поверхности листьев. Если бы Вы считали на метр квадратный поверхности листьев, тогда можно рассматривать в чистом виде эффект фертилизации. А так, может просто больше стало территорий, покрытых лесом, пустоши зарастают лесом (сельхозугодья иногда, в нашей стране, например, тоже зарастают лесом), и тогда запас биомассы становится больше, продуктивность больше?

Ответ - Елисеев А.В.:

Такое, безусловно, бывает. Дело в том, что в нашей модели и в большинстве других моделей распределение растительных зон предписано.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

Если Вы зафиксировали структуру и увеличиваете фотосинтез, то, конечно, у Вас будет рост именно по этой причине.

Задам Вам два вопроса, но они будут, на самом деле, складываться из множества подвопросов.

Вот примерно 16 лет назад была проблема «неизвестного стока». В конце 20 века все считали баланс углерода, исследовали этот вопрос, и сообщили, что баланс сходится, все в порядке. Потом Ричард Хотон опубликовал статью и выяснил, что баланс «развязался» на довольно большую сумму гигатонн углерода. Возник вопрос, за счет чего отнести этот «неизвестный сток». Решена эта проблема с тех пор?

Ответ - Елисеев А.В.:

Вскоре после той самой работы Хотона появилось множество работ, где все это было объяснено эффектом фертилизации. Эффект фертилизации при хорошо подобранных параметрах все объясняет. Потом споры начали опять возникать, когда стали смотреть климатические зависимости. Потом еще раз, когда стали смотреть взаимодействие с азотным циклом. Но надо сказать, что абсолютная величина неучтенного стока в ГтС становилась все меньше.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

Т.е., одни говорили, что это из-за фертилизации, другие говорили, что это из-за увеличения покрытых растительностью территорий, третьи объясняли это обратными связями с климатом или же влиянием азотного цикла.... Спасибо.

Ну, второй вопрос разбивается на серию мелких, но они об одном и том же. Я сейчас попрошу наших коллег точно записать Ваши ответы, а Вы, пожалуйста, постарайтесь ответить однозначно.

Сколько сейчас Гт углерода в виде CO₂ в атмосфере?

Ответ - Елисеев А.В.:

От 800 до 850 Гт углерода в виде CO₂.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

А сколько в океане?

Ответ - Елисеев А.В.:

40 тыс. Гт углерода в океане.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

А в наземных экосистемах?

Ответ - Елисеев А.В.:

Примерно 3 тыс. Гт.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

Какой поток углерода за год из атмосферы в океан?

Ответ - Елисеев А.В.:

80 за год.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

Т.е., если первого января покрасить все молекулы CO_2 в атмосфере в красный цвет, а 31 декабря измерить, сколько в океане будет красных, то получится 80 Гт. А из океана в атмосферу годовой поток какой?

Ответ - Елисеев А.В.:

78, наверное, раз разность равна 2.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

А какой поток из атмосферы в наземные системы?

Ответ - Елисеев А.В.:

120-125 Гт.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

А было когда-то 60. Ваша цифра - с учетом дыхания или без учета дыхания?

Ответ - Елисеев А.В.:

Если берем только фотосинтез, это 120 Гт углерода.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

А если вычесть дыхание растений?

Ответ - Елисеев А.В.:

Примерно 60 Гт. Это оценка очень округленная, это может и 70, и 80, большая неопределенность.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

Ваша точка зрения?

Ответ - Елисейев А.В.:

Я думаю, что скорее всего 70.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

А обратный из наземных систем в атмосферу?

Ответ - Елисейев А.В.:

Если мы вычтем дыхание растений, остается только дыхание почвы, это примерно 50 - 60 Гт.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

Т.е. они примерно уравновешены.

Теперь, Вы сказали, что 3 тыс. Гт углерода находится в наземных системах. Как это распределяется?

Ответ - Елисейев А.В.:

Примерно 1/6 часть растения, и 5/6 это почва.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

Т.е. 500 наземная часть и 2500 подземная? А ранее считалось, что 2500 в сумме.

Ответ - Елисейев А.В.:

Потому что раньше не было измерений слоя почвы глубже 1 метра.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

Такой прогресс науки случился...

Криволицкий А.А. (Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета)

Какой вклад антропогенных источников в баланс CO₂?

Ответ - Елисейев А.В.:

К сожалению, так как времени у меня было мало, я опустил эту часть доклада. Антропогенный выброс CO₂ играет основную роль в современном цикле – это примерно 10 Гт углерода в год.

Семенов С.М. (председатель):

Хорошо, спасибо Алексей Викторович, за подробный доклад. Теперь с развернутыми комментариями попросим выступить Веронику Александровну Гинзбург.

Гинзбург В.А.

(ВЫСТУПАЕТ С ДОКЛАДОМ, ТЕКСТ ДОКЛАДА И ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПРИЛАГАЮТСЯ).

ДИСКУССИЯ

Криволицкий А.А. (Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета):

Вопрос к В.А. Гинзбург - есть ли соответствие между наблюдаемым ростом концентрации CO₂ в атмосфере и оценкой антропогенных эмиссий?

Ответ – Гинзбург В.А.:

Есть, безусловно. Например, в идеологии современных сценариев заложено линейное соотношение общего накопленного выброса CO₂ и изменения концентрации CO₂ в атмосфере.

Смолин А.В. (Институт органической химии РАН):

Вопрос к А.В. Елисееву - есть ли взаимосвязь между циклами CO₂ и циклом метана?

Ответ – Елисеев А.В.

Такая связь, безусловно, есть. Механистически связь определяется тем, что в зависимости от условия разложения органики, в разных условиях – аэробных или же анаэробных – выделяются CO₂ либо метан.

Семенов С.М. (ИГКЭ):

Вопрос к А.В. Елисееву: Есть такие системы замечательные как болота. Они поглощают CO₂, а выделяют метан. Когда они поглощают CO₂, то,

вроде бы, делают доброе дело, а когда выделяют метан- наоборот, злое дело. Какой баланс вот этой активности, поглощения CO₂ и выделения метана?

Ответ – Елисеев А.В.:

Очень смещен в сторону доброго дела, потому что основной эффект их функционирования состоит в том, что они запасают углеродный субстрат. За голоцен по оценкам они запасли порядка 600 Гт углерода. Если мы пересчитаем в убыль CO₂ в атмосфере, то получается 300 ppm - вот на 300 ppm они уменьшили содержание CO₂ за счет накопления углеродного субстрата.

Семенов С.М. (ИГКЭ): Вот, интересно, все биологи согласны с этой точкой зрения?

Романовская А.А. (ИГКЭ):

Я думаю, что ответ был совершенно корректен. В геологических масштабах времени, если мы будем рассматривать роль болота, конечно, она заключается в накоплении торфа. Другое дело, что сейчас проявляются другие эффекты. Интересно, что торфяники, где слой торфа меньше 50 см, имеют положительный баланс углерода, а у других, имеющих более глубокий слой торфа, он отрицательный. По-видимому, это связано с потеплением климата и более глубоким сезонным протаиванием. И целиком, например, для России баланс отрицательный. Поэтому в геологическом масштабе да, баланс смещен в сторону добрых дел, но в последние годы это не так.

Сонечкин Д.М. (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН):

Доклад не вполне соответствует тезисам, так как докладчик был вынужден сократить вторую часть, которая меня больше всего и интересовала. К сожалению, проблема, которая рассматривается, - о влиянии углекислого газа и прочих парниковых газов на климат - это балансная проблема. Как и во всех балансных проблемах мы сталкиваемся с тем, что оцениваем малые разности больших величин. Поэтому, удручающее впечатление производят работы, в которых с помощью моделей оценивается баланс, то есть разность между приходом и уходом. Во всех этих модельных оценках цикла существует множество параметров, позволяющее подгонкой всегда добиться желаемого результата.

Из того, что сказал докладчик, меня не устраивает только его вывод - о том, что обратная связь содержания парниковых газов в атмосфере с климатом положительная, т.е., что изменения климата, происходящие вследствие антропогенного (форсинга), они усиливают этот форсинг. Моя точка зрения состоит в том, что если это называть обратной связью, то она является все-таки отрицательной.

Далее хочу сказать следующее. Во всех этих исследованиях крайне важен временной масштаб рассматриваемых процессов. В частности, меня это как раз интересует потому, что я являюсь соисполнителем гранта, целью которого является, изучить соотношение уровней запаздывания между вариациями температуры воздуха и изменения концентрации парниковых газов в атмосфере в различных временных масштабах. Что по этому поводу я могу сказать? Глухого пессимизма, которой возникает, когда мы слушаем эти все оценки с положительной обратной связью, все-таки может следует избегать. Ведь в период плейстоцена, который некоторыми людьми (особенно на западе) рассматривается как шаблон для современных изменений климата, концентрация CO_2 была существенно больше, чем сейчас, и климат был теплее. На основании этого они делают вывод о том, что чувствительность климата к изменению содержания парниковых газов велика. Оказывается, однако, что на временных масштабах нескольких тысяч лет, что сравнимо с масштабом голоцена, все же лидировали всегда климатические изменения температуры, а концентрация CO_2 менялась после. Однако, в недавних публикациях европейских исследователей по проекту Эпика изучались соотношения лидирования и запаздывания для последнего максимума голоцена. Были получены данные, что при потеплении все же лидировало CO_2 , но при похолоданиях всегда лидировала температура. И этот факт хорошо известен по более ранним работам, связанным с циклами оледенения в плейстоцене, когда, несмотря на продолжающийся рост концентрации CO_2 , внезапно начинался переход к новому ледниковому периоду.

Целью нашего проекта в этом году является рассмотреть все эти соотношения в период инструментальных наблюдений. Хотя эта работа еще не опубликована, хочу сказать следующее. Мы показали, что в масштабах до примерно 40-50-60 лет, все-таки в нынешних изменениях лидирует температура, и CO_2 не имеет отношения к этому никакого. Известна работа норвежских ученых, где показано, что в вариациях температуры лидирует температура, а не CO_2 . Но в масштабах больше 50 лет мы получили, что в принципе, примерно с середины второй половины 20 века, произошел перелом, когда действительно CO_2 стало лидировать. Это дает основание

предполагать, что может быть все-таки антропогенное CO₂ действительно привело к ускорению глобального потепления, которое наблюдается в последние десятилетия. Но это все предположения, потому что необязательно, чтобы причина проявлялась первой, а следствие – вторым.

Что я еще хочу сказать? Попутно мы выяснили, что перед заключением Парижского совещания по климату внезапно все мониторинговые группы, которые занимаются изменениями современного климата, поменяли свои ряды глобальных и полушарных температур. Тот hiatus, который наблюдался в 21 веке, они, как бы, ликвидировали, а потепление продолжается с такой же скоростью, как оно было до 1998 года. Это вызвало шквал всяких комментариев, и мы к ним добавить можем, что это изменение рядов глобальных и полушарных температур является просто фейком. На самом деле, те обоснования изменения температур, которые были сделаны, вызваны необходимостью представить хороший материал для этого самого Парижского совещания. Любопытно, что я сегодня получил ответ, что мой доклад не принят на конференции, что является совершенно исключительным случаем, поскольку все конференции сейчас это бизнес проекты. Думаю, что причина в том, что в абстракте моего доклада высказаны сомнения в том, что нынешние версии рядов температуры, опубликованных тремя исследователями, содержат поправки, сделанные в правильном направлении.

Семенов С.М. (председатель):

Спасибо. Я хотел бы добавить к Вашему комментарию, Дмитрий Михайлович, следующее. У нас на семинаре абсолютно свободный обмен мнениями. Единственное, чего здесь не допускается - не допускаются недостойные предположения в отношении коллег и мотивов их поступков, в частности, публикаций. Поэтому говорить здесь по поводу этой всей конспирологии мы не будем. Извините. Скажу лишь по делу, что мы в ИГКЭ пользуемся нашими собственными оценками. У нас в **Отделе мониторинга и вероятностного прогноза климата** делается ежегодный доклад о глобальном климате. Мы внимательно смотрим за тенденциями глобальной температуры, в частности. Да, замедление потепления с конца XX века некоторое есть, оно никуда не подевалось, несмотря на все мировые заговоры. Но последние годы потепление опять оживилось. Впрочем, это климатический процесс, который развивается десятилетиями. Поэтому

напряженно всматриваться в последние два-три года бессмысленно совершенно. Надо смотреть тенденции за 10-20-30 лет.

Спасибо. Есть желающие еще высказаться?

Криволуцкий А.А. (Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета):

Я хочу поблагодарить докладчика. Чувствуется, что ему много есть еще что сказать и надо бы продолжить. Я думаю, что математические модели - чрезвычайно сложный и весьма важный инструмент. Их развитие на современном уровне делает честь мировому научному сообществу. И я очень рад, что в России эти исследования проводятся, развиваются на достойном уровне.

Семенов С.М. (председатель):

Сегодня Алексей Викторович Елисеев сделал очень обширный, фундаментальный доклад. Мне кажется, немножко чересчур фундаментальный, поскольку он явно не влез даже в те полтора часа, которые в результате были на него отведены. Но это понятно, тема очень большая, это материал большой монографии на самом деле. Цель нашего рассмотрения была, провести некоторую ревизию взглядов относительно содержания углерода в природных средах и потоков между природными средами. За истекшие 15 лет эти представления несколько изменились, не радикально, но изменились заметно (когда из 90 Гт С получается 80, это заметное изменение). Мы поняли, что неопределенность этих оценок очень велика, зависит от способов измерений, зависит от некоторых фундаментальных вещей, от представления о процессах и т.д. Т.е., приведенные в докладе оценки запасов и потоков углерода в климатической системе не окончательные. Мы это тоже зафиксировали.

Иногда встречается в дискуссиях, особенно в непрофессиональных кругах, следующая логическая ошибка. Говорят, что вот, какая ерунда, антропогенный выброс CO_2 в атмосферу 10 Гт С в год, а из океана в атмосферу поступает 90, а с суши 60. Вместе получается 150, а это несравнимо больше этих 10. Это неправильное рассуждение. Обмен атмосферы с сушей по CO_2 практически нулевой (60 поступает из океана в атмосферу и столько же в обратном направлении). Обмен с океаном такой, что удаляется океан выделяет 88 и поглощает 90; в результате поглощается 2

Гт С в год. А если посмотреть на антропогенные выбросы CO_2 , то выбрасываем 10 Гт С в год и ничего не удаляем! Конечно, 10 гораздо больше чем 2, поэтому естественный нетто-поток удаления CO_2 из атмосферы гораздо меньше, антропогенное обогащение атмосферы CO_2 .

Нам пора завершать заседание. Давайте поблагодарим Алексея Викторовича Елисеева и Веронику Александровну Гинзбург.