

УДК 631.4

ОТВЕТ А.В. СМАГИНУ: III. О МЕТАНОТРОФНОМ ФИЛЬТРЕ И КОНВЕКТИВНОЙ РАЗГРУЗКЕ В АТМОСФЕРУ

Глаголев М.В.^{1,2)}, Филиппов И.В.²⁾

¹⁾Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

²⁾Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

m_glagolev@mail.ru

В ответ на высказанное А.В. Смагиным мнение о 50%-ном вкладе CH_4 в gross-продуцирование газообразного углерода в болотах, проводятся расчеты с использованием типичных (а не экстремальных, как у А.В. Смагина) значений параметров, показывающие, что вклад этот на порядок меньше и составляет около 6%. Кроме того, вскрыты методологические ошибки «измерения» мощных выбросов (конвективной разгрузки) газов в атмосферу из болотных почв. Показано, что «выбросы» могли быть артефактом – результатом воздействия системы пробоотборников или самого процесса пробоотбора на окружающий торф. В любом случае, говорить можно только о колебаниях концентрации метана в пробоотборниках, но нельзя утверждать, что обнаружено явление «конвективной разгрузки» газов из болотных почв, поскольку это лишь одна из гипотез, объясняющая указанные колебания, причем гипотеза не самая вероятная в свете того, кто и как отбирал пробы, как они хранились и когда анализировались.

Ключевые слова: почвенные газы, газовая функция почвы, почвенная газовая динамика, методология научного исследования

Цитирование: Глаголев М.В., Филиппов И.В. 2015. Ответ А.В. Смагину: III. О метанотрофном фильтре и конвективной разгрузке в атмосферу // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 6. № 1 (11). С. 42-54.

«В том, о чем я собираюсь говорить дальше, не следует усматривать поучения людям, заведомо более умным, чем я. Мои незначительные jeux d'esprit никого не должны обидеть, и я не откажусь от них из опасения, что меня упрекнут в недостатке уважения к знаменитым ученым».

Дж. Литтлвуд [1973: с. 123]

ВВЕДЕНИЕ

О развернувшейся дискуссии¹

В предыдущем номере журнала «Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата» М.В. Глаголевым [2014], как самолично, так и вместе с А.Ф. Сабрековым [2014], был дан ответ на ряд замечаний проф. А.В. Смагина [2014]: на все те из них, которые касались этики ведения научных дискуссий, а также на некоторые, касавшиеся чисто научных проблем почвенной газовой динамики. В дальнейшем к дискуссии подключились д.б.н. В.Н. Кудяров, д.б.н. И.Н. Курганова, к.т.н. Л.Э. Лапина, а также к.б.н. И.В. Евдокимов и к.б.н. А.А. Ларионова, позиции которых местами оказались близки к позиции М.В. Глаголева. Учитывая известное правило: «Глас народа – глас Божий», уже можно было бы с большой уверенностью сделать вывод о том, какая же позиция правильна. Но, с нашей точки зрения, не следует прерывать дискуссию, пока не даны ответы на все (или, хотя бы, почти все) замечания и вопросы проф. Смагина.

Используемые сокращения

МГДДЮТ – Московский городской Дворец детского (юношеского) творчества;

МиМ – микрометеорологические методы;

МОЗ – метод обратной задачи;

УП – удельные потоки.

¹ Несмотря на то, что данная статья подана в раздел «Дискуссии», который (по умолчанию) рецензируемым не является, авторы убедительно просят Редакцию отправить статью на рецензирование.

Просьба авторов была удовлетворена и статья прошла рецензирование в обычном порядке. – Ред.

ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ ПОЧВ

- 1) А.В. СМАГИН: ...неоднократно высказывалась автором настоящей статьи научному сообществу, занимающемуся оценкой газовой функции почв, но почему-то не получила должного отклика ни позитивного, ни критического. Эмиссия с поверхности чаще всего не тождественна gross-продуцированию газа в объеме почвы [Смагин...2000; 2005,...].

ОТВЕТ: Трудно, конечно, ответить за всех, поскольку у различных исследователей могли быть разные причины не давать отклик на высказывания проф. А.В. Смагина. В любом случае, если бы отклика, действительно, не было, то это обидно и несправедливо, потому что Андрей Валентинович – один из очень немногих, кто обращает внимание на внутренние механизмы газовой динамики почв, а для настоящего почвоведца, как нам кажется, именно они и должны быть наиболее важны и интересны. Однако, все же, нельзя утверждать, что отклика не было совсем. Например, мы в работе [Глаголев и Филиппов, 2011], обсуждая то, как могут возникнуть завышенные значения Q_{10} , в качестве одной из причин этого рассматривали (со ссылкой на Андрея Валентиновича и его славных соавторов) именно разницу между эмиссией (по которой и определяется Q_{10}) и gross-продуцированием CO_2 . Подчеркнем, что в нашей вышеуказанной статье мы как раз рассматривали региональную оценку УП (правда, поглощения CH_4 , а не CO_2 , но именно гипотезу А.В. Смагина излагали применительно к CO_2). Впрочем, и проф. Смагин пишет не о полном отсутствии отклика, а лишь о том, что он не был «должным». К сожалению, он не сообщает, как оценить – каким должен быть этот должный отклик. Но если принять, что таковой отклик ожидался немного большим, чем он оказался в реальности, то можно выдвинуть некоторые формальные соображения по поводу его незначительности.

Если говорить просто о самом факте того, что эмиссия с поверхности не тождественна gross-продуцированию газа в объеме почвы, то это известно очень давно (и потому очередное упоминание в книгах или статьях А.В. Смагина или любого другого современного автора об этом, может бурного отклика не вызывать, как не вызывает сейчас отклика утверждение о том, что дважды два – четыре). Более того, уже давно это вошло в учебники (например, в учебнике [Кауричев и Гречин, 1969, с. 168], который использовался в курсе почвоведения в МГУ в те годы, когда и проф. Смагин, и один из авторов данной статьи были еще студентами, читаем: «...углекислый газ, выделяющийся из почвы, не всегда полностью соответствует тому количеству CO_2 , которое продуцируется в данный момент в почве»). Физический механизм этого частично проявился в другом учебнике, также относящемся к их студенческим годам – в [Орлов, 1985], где на с. 164-165 читаем, что «... CO_2 продуцируется во всех почвах на протяжении всего вегетационного периода... Продуцируемый в... почвах CO_2 поступает в почвенный воздух... его выделение в атмосферу из почвы связано с изменениями температуры, давления, или влажности почвы... При растворении CO_2 в воде часть его расходуется на образование угольной кислоты... Угольная кислота присутствует в почвах не только в свободной форме, но и в форме солей – карбонатов и бикарбонатов». Так что если когда-нибудь данное положение и получало должный отклик, то, вероятно, в далекие годы хрущевской оттепели, брежневского застоя и горбачевской перестройки. Например, в классической книге [Ковда, 1973, с. 424-426] есть специальный раздел «Взаимодействие почвенного воздуха с твердой и жидкой фазами почвы», где читаем, в частности: «Почвенный воздух, почвенный раствор, грунтовые воды и твердая фаза почвы тесно связаны между собой и находятся в постоянном взаимодействии. Почвой и почвообразующими минералами наиболее интенсивно поглощаются тяжелые и относительно легко сжимаемые газы – аммиак и углекислота... Поглощение воздуха почвой тем больше, чем больше в ней содержится органических веществ, минералов монтмориллонитовой группы, а также соединений, подобных окиси железа, обладающих большой поглотительной способностью в отношении газов... При возрастании температуры или при уменьшении атмосферного давления происходит десорбция ранее поглощенного воздуха и газов... Столь же сложны взаимоотношения между почвенным воздухом и почвенным раствором. Часть газов непрерывно поглощается почвенным раствором, в то время как другая часть вновь выделяется из растворенного состояния в почвенный воздух». Аналогичное обсуждение находим и в монографии [Белицина и др., 1988, с. 167-168], причем среди прочего совершенно явно указано, что «Воздухообмен² определяется большим количеством факторов... Наибольшее значение имеют... гравитационный

² Термин «эмиссия» в литературе тех лет употреблялся редко.

перенос газов под действием силы тяжести, способность к сорбции-десорбции на твердой фазе, растворение в почвенных растворах и дегазация...», а вовсе не только gross-продуцирование. Резюмируя описание частных процессов и газов, участвующих в них, Г.Д. Белицина и др. [1988, с. 173] делают следующий четкий вывод: «Динамика почвенного воздуха определяется совокупностью всех явлений поступления, передвижения и трансформации газов в пределах почвенного профиля, а также взаимодействием газовой фазы с твердой, жидкой и живой фазами почвы». Но наиболее ясно тот факт, что эмиссия с поверхности не равна gross-продуцированию газа в объеме, виден на сс. 168 и 173-174, где авторы пытаются дать математическую формализацию. Так, для «потока» (эмиссии Q_s) они записывают закон Фика $Q_s = D_s \cdot \partial C / \partial z$, где D_s – коэффициент диффузии газа в почве ($\text{см}^2/\text{с}$)³; C – концентрация газа в почвенном воздухе; z – глубина (см). Но величину Q_s они не приравнивают интегралу по глубине от суммы дыхания корней (R_s) и микробиологической активности (M_s), а справедливо пишут, что C есть функция от R_s , M_s , интенсивности сорбции и десорбции, растворения и т.п.

Итак, очевидно, что неравенство эмиссии с поверхности gross-продуцированию газа в объеме почвы давно и хорошо известно, о чем, по всей видимости, писал и сам Андрей Валентинович одной из своих статей, о которых теперь сетует, что «не получила должного отклика» – [Смагин, 2000, с. 1211]: «...исследование газовой функции почв... в... большинстве случаев... ограничивается рассмотрением газовых потоков на *поверхности почвы*, по которым судят о способности последней поглощать или выделять те или иные газообразные вещества. В действительности эти процессы протекают *внутри почвы* и далеко не всегда их интенсивность может характеризоваться интегральным потоком на верхней границе», дав сразу после этого ссылки на четыре работы 1993-1997 гг.⁴ Четыре ссылки – это много или мало, достаточно или нет? Ответ находим в блистательной книге Александра Тимуровича Марьяновича [1998, с. 80], который сетует, что подчас автор «...приводит в скобках дюжину фамилий...», и напоминает известное правило: «О чем бы вы ни говорили, однотипных ссылок можно приводить не более четырех подряд». Таким образом, использование четырех ссылок (т.е. максимально возможного их числа) неявно как бы говорит о том, что вопрос весьма хорошо изучен⁵ (или, что его изучают очень многие исследователи). Причем, в данном случае, это – не простое соглашение, а положение дел, близкое к реальному, ибо, мы сходу смогли найти необходимую информацию еще в четырех литературных источниках, в том числе и в учебниках 30-45-летней давности.

2) А.В. СМАГИН: Рассмотрим это положение подробнее, тем более что именно gross-продуцирование за вычетом корневого дыхания надо сравнивать с ассимиляционной составляющей углеродного цикла. Эмиссия с поверхности это своего рода «верхушка айсберга» – результат комплекса сложных и до сих пор не исследованных в должной мере внутрипочвенных процессов из следующего основного перечня. 1. Биологические и биохимические источники/стоки газообразных веществ. 2. Распределение и транспорт как самих газообразных веществ, так и их источников/стоков и промежуточных веществ (субстратов) для их получения (трансформации). 3. Абиотические источники и стоки физической, химической и физико-химической природы.

ОТВЕТ: Полностью признавая фундаментальный интерес тех внутрипочвенных процессов, о которых говорит проф. Смагин, признавая также тот вклад, который он внес в пропаганду их изучения, мы, тем не менее, считаем, что если ограничиться узкими рамками совершенно конкретной проблемы регионального (или глобального) баланса углерода, то для решения этой проблемы перспективна совершенно иная методология. Рассмотрим Земной шар, близ поверхности которого (с обеих сторон от поверхности) идет огромное количество физических, химических и биологических процессов, в результате которых происходит некоторое преобразование газов. Очевидно, что если нас интересует только вопрос о балансе углерода на поверхности Земного шара, то мы должны для каждого углерод-содержащего газа выяснить его судьбу – поглощается ли он или выделяется. Если величины потоков для

³ В этом месте у авторов была ошибка. Они дали размерность D_s так: $\text{см}^2 \cdot \text{с}$.

⁴ Но, как мы показали выше, это было известно на несколько десятилетий раньше.

⁵ По нашему мнению, развивая идею Александра Тимуровича, логичным было бы формализовать и другие количества ссылок: соответственно, три ссылки может означать «неплохо (достаточно хорошо) изучен», две ссылки – «плохо изучен (или привлекал мало внимания)»; одна ссылка – «практически не изучен (или практически не привлекал внимания)».

разных газов сильно различаются по абсолютной величине, то в первом приближении можно ограничить рассмотрение лишь газами с максимальными величинами потоков. Это можно сделать при помощи МОЗ: по динамике поля концентраций в атмосфере рассчитать распределение и мощность источников на поверхности Земного шара. Если пространственно-временная динамика поля концентраций известна с хорошим разрешением и за длительный промежуток времени, то не столь уж важно – каково распределение источников газов в почве, транспортируются они диффузией, пузырьками или еще как-то, адсорбируются ли газы в почве или десорбируются и т.п. За несколько лет все эти внутрипочвенные процессы успеют «прокрутиться» много-много раз. Пусть в этом месяце метан, в основном, не выходил в атмосферу, а накапливался в болоте. Но это не будет продолжаться бесконечно – в следующем месяце он все равно выйдет и внесет свой вклад в концентрационное поле. Пусть в этом месте выделялся не весь образующийся CO_2 , а значительная часть его растворялась и выносилась с водой в дренажные каналы. Но тогда разгрузка произойдет там, и CO_2 все равно поступит в атмосферу, внося свой вклад в изменение поля концентраций. На наш взгляд, пока точность МОЗ не слишком высока. Похоже, что в большей степени она сейчас ограничивается не математическими алгоритмами решения обратной задачи, а качеством данных. Т.е. первостепенная задача на этом пути: улучшение сети наземных наблюдений микрометеорологических методами и (поскольку в ряде ситуаций использование микрометеорологических методов встречается, к сожалению, ряд принципиальных трудностей) увеличение точности прямых спутниковых измерений концентрации. Итак, полностью признавая самостоятельную (фундаментальную!) важность проблемы внутрипочвенных процессов газовой динамики, над которой давно работает Андрей Валентинович, являющийся сейчас, по нашему мнению, одним из крупнейших отечественных специалистов в этой области, мы видим путь решения проблемы баланса углерода для больших регионов (например, для России) лежащим совсем в иной плоскости – в МОЗ. Быстрый прогресс, который наблюдается как в дистанционном зондировании концентраций атмосферных газов, так и в решении обратных задач, позволяет надеяться, что уже в ближайшие 10-20 лет мы сможем наблюдать существенное увеличение точности определения этого баланса.

3) А.В. СМАГИН: Метанотрофный фильтр – мощнейший внутренний сток метана в болотах по данным ряда исследователей (см., например, [Глаголев, 2010]) может блокировать до 80% восходящего к атмосфере газа. Значит gross-продуцирование этого газа, очевидно, может в 5 раз превышать эмиссию с поверхности ($100/(100-80)=5$). Но тогда при характерных потоках CO_2 в $100 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ и метана в $10 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ мы имеем не 10% а 50% вклад метана в gross-продуцирование газообразного углерода.

ОТВЕТ: Да, изредка так может быть. И этот факт давно описан в литературе – см., например, известнейшую⁶ статью (кстати, одну из первых по «метаново-болотной» тематике!) [Svensson and Rosswall, 1984], где авторы заявляют дословно вот что (с. 341): «Метан может составлять около 50% потока углерода в атмосферу». Но, подчеркнем, *может составлять* 50%, а может – и другой процент.

Очевидно, что если мы в дальнейшем хотим делать какие-то общие выводы, то следует оперировать в расчетах не с экстремальными, а со средними значениями. Действительно, потребление 80% образовавшегося в болоте метана экспериментально наблюдалось и это отмечено в автореферате, на который ссылается проф. А.В. Смагин. Но там же указано, что если под одними растительными ассоциациями наблюдалось потребление 80% метана, то рядом на том же болоте, но под другими – лишь 15-45%. Кстати, тут можно сказать еще более конкретно: потребление метанотрофными микроорганизмами 15-45% CH_4 происходило в растительных ассоциациях с преобладанием *Equisetum fluviatile* или *Carex rostrata*, т.е. именно там, где наблюдались высокие УП ($\sim 10 \text{ мг С} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$), а 55-80% – в тех растительных ассоциациях, где эмиссия на поверхности была на порядок ниже. Поэтому Вывод №4 и в автореферате, и в самой диссертационной работе звучит так: «Разница изотопного состава углерода метана между более глубокими и поверхностными слоями почвы болота определяется интенсивностью окисления CH_4 . До выхода в атмосферу в летний сезон в толще типичного для южной тайги Западной Сибири переходного болота окисляется $50 \pm 13\%$ образовавшегося метана». Однако, как видим, здесь речь идет лишь об одном болоте только одного (переходного) типа. Но в диссертационной работе приведен результат усреднения из 14 литературных источников и наших собственных данных, давший

⁶ По данным Google Scholar эта статья к настоящему времени набрала более 200 ссылок!

величину 63%. Значит, gross-продуцирование CH_4 в среднем лишь в $100/(100-63) \approx 2.7$ раза превышает эмиссию с поверхности болота (хотя, как правильно указывает Андрей Валентинович, *может* превышать в 5 раз; впрочем, может оно превышать и в 50, и в 500, и даже в бесконечное количество раз – последнее происходит в том случае, когда метанотрофный фильтр окисляет вообще весь образующийся в болоте метан, как это иногда имеет место, например, в высоких рямах).

Аналогично хотелось бы рассмотреть и используемую проф. Смагиным величину «характерного» УП метана в $10 \text{ мг С} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. Да, такие УП изредка действительно наблюдаются на некоторых болотах (см., например, [Десятков и др., 1997; Alm et al., 1997; Глаголев и Клепцова, 2009]). Но можно ли считать их типичными? Обратимся за ответом к... самому А.В. Смагину. В работе [Смагин и др., 2003] читаем⁷: «...низкие величины ($100-200 \text{ мгСО}_2/\text{м}^2/\text{час}$) характерны для... гидроморфных объектов. Так в болотных экосистемах Западной Сибири выделение углекислого газа с поверхности почвы изменяется от 0 до $938 \text{ мг/м}^2/\text{час}$ при среднем значении $205 \text{ мг/м}^2/\text{час}$... Чтобы оценить характерные значения потока метана (F), был проведен анализ некоторых литературных данных [Aselmann and Crutzen, 1989; Anastasi et al., 1992; Ambus and Christensen, 1995; Arah and Stephen, 1998]. Первые две работы являются обзорными и в них приведены данные множества авторов, непосредственно измерявших потоки в разных природных зонах, следовательно можно надеяться, что анализ... позволил выявить типичные величины... В 90% измерений величина потока оказывалась порядка единиц $\text{мг/м}^2/\text{час}$, а конкретно – около $3 \text{ мг/м}^2/\text{час}$ ». Вот! Оказывается, анализ данных множества исследователей приводит Андрея Валентиновича к характерному значению $\sim 2.25 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, а анализ непонятно какого количества непонятно чего (да и анализ ли – может быть, не анализ, а просто взятие с потолка?) – к $10 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ (откуда вообще вдруг взялось это число? Почему значение 2.25 обосновано авторитетными ссылками, а значение 10 никак не обосновано?).

Обозначим через

\mathcal{E}_M и \mathcal{E}_Y ($\text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$) – УП, соответственно, CH_4 и CO_2 , измеряемые на поверхности почвы;

Π_M и Π_Y ($\text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$) – интенсивности образования, соответственно, CH_4 и CO_2 , проинтегрированные по всему слою почвы (т.е. это те УП CH_4 и CO_2 , которые наблюдались бы на поверхности, если бы метан вообще не подвергался бы окислению в толще почвы);

MOF – доля CH_4 , окисляющегося в толще почвы.

Тогда для эмиссии метана имеем:

$$\mathcal{E}_M = \Pi_M \cdot (1 - \text{MOF}) \Rightarrow \Pi_M = \mathcal{E}_M / (1 - \text{MOF}),$$

а для эмиссии CO_2 :

$$\mathcal{E}_Y = \Pi_Y + \Pi_M \cdot \text{MOF} \Rightarrow \Pi_Y = \mathcal{E}_Y - \Pi_M \cdot \text{MOF} = \mathcal{E}_Y - \mathcal{E}_M \cdot \text{MOF} / (1 - \text{MOF}),$$

Чтобы убедиться в правильности выведенных формул, воспроизведем результаты Андрея Валентиновича (при значениях $\mathcal{E}_M = 10 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, $\mathcal{E}_Y = 100 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, $\text{MOF} = 0.8$):

$$\Pi_M = 10 / (1 - 0.8) = 50 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}, \quad \Pi_Y = 100 - 50 \cdot 0.8 = 60 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}.$$

Мы не очень разобрались в том, что проф. Смагин понимает под «вкладом метана в gross-продуцирование газообразного углерода». Похоже, что это – $100\% \cdot \mathcal{E}_M / \mathcal{E}_Y$ (если судить по эмиссии) и $100\% \cdot \Pi_M / \Pi_Y$ (как «на самом деле»). Обозначим эти отношения через Sma_Y и Sma_Π соответственно:

$$\text{Sma}_Y = 100\% \cdot 10 / 100 = 10\%, \quad \text{Sma}_\Pi = 100\% \cdot 50 / 100 = 50\%$$

Как видим, мы действительно получили 10 и 50%; но, на наш взгляд, в знаменателе должны стоять суммы, соответственно $(\mathcal{E}_Y + \mathcal{E}_M)$ и $(\Pi_Y + \Pi_M)$, а если так, то, используя вместо Sma обозначение Gla , имеем

⁷ К сожалению, поскольку мы пишем данную статью в экспедиционных условиях, буквально сидючи в болоте (вдали от научных центров и библиотек), у нас нет возможности сверить дальнейшую цитату с печатным вариантом статьи и мы цитируем по рукописи, имеющейся в нашем распоряжении.

$$Gla_3 = 100\% \cdot \dot{E}_M / (\dot{E}_Y + \dot{E}_M) = 100\% \cdot 10/110 \approx 9\% , \quad Gla_{II} = 100\% \cdot \Pi_M / (\Pi_Y + \Pi_M) = 100\% \cdot 50/110 \approx 45\% .$$

Но теперь проведем те же расчеты при более типичных значениях $\dot{E}_M = 2.25 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ и $MOF = 0.63$:

$$Sma_3 = 100\% \cdot 2.25/100 = 2.25\% , \quad Sma_{II} = 100\% \cdot 6.08/100 = 6.08\%$$

или

$$Gla_3 = 100\% \cdot 2.25/102.25 \approx 2.20\% , \quad Gla_{II} = 100\% \cdot 6.08/102.25 \approx 5.95\% .$$

Таким образом, при типичных значениях болотной эмиссии метана и доли его окисления мы получили не 50% вклада метана в gross-продуцирование газообразного углерода (как у проф. А.В. Смагина), а всего лишь 6% – не слишком большую величину.

Когда вышеприведенные расчеты были нами уже закончены (и даже когда статья прошла 1-ый этап рецензирования), мы позволили себе наконец подсчитать средний процент вклада метана в поток углерода в атмосферу по данным цитированной выше классической статьи [Svensson and Rosswall, 1984]. Нельзя не отметить, что значение 50% дается лишь в одном случае из 30 приведенных в ней (в таблице на с. 344). В 12 случаях (т.е. в 40%) вклад метана был менее 1%, так же в 12 случаях – в пределах от 1 до 9% и в 5 случаях (т.е. в 17% случаев) – от 10 до 41%. В результате среднее значение составило 7% – практически в точном соответствии с развитой нами выше теорией!

4) А.В. СМАГИН: Казалось бы, какая разница, ведь измеряя камерой почвенное дыхание и эмиссию метана, мы все равно уловим весь поступающий в атмосферу из почвы углерод. Но, давайте посчитаем. Пусть реальная продукция метана $50 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$...

ОТВЕТ: Поскольку никаких источников информации для обоснования этого числа проф. Смагин (как это очень часто встречается в его работах) не приводит, то не может не возникнуть вопрос: откуда эти данные? Часто ли в болотах наблюдаются такие большие величины продукции? Возьмем почти наугад несколько статей, посвященных экспериментальному определению продукции метана в болотах. Например, в [Crozier and DeLaune, 1996] значения продукции CH_4 приведены на Figure 1a и Figure 2a, для которых, соответственно, имеем средние значения приблизительно $19 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ и $29 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. Это, пожалуй, одни из самых больших значений, которые удастся найти в литературе. А вот, скажем, Blodau et al. [2004, Fig. 7] приводят результаты собственных измерений, дающих величины до 6.3 для актуальной (*in situ*) продукции и до $14 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ – для потенциальной (медианы для актуальной и потенциальной продукции составляют, соответственно, 1.3 и $7.5 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$). Эти же авторы провели обширный поиск в литературе и, обработав 19 источников, установили, что медиана актуальной и продукции не превышает $7.5 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. Упомянем еще работу [Avery et al., 2003], где приводится величина продукции 5.5 мМ/год для Buck Hollow Bog, расположенного на юге шт. Мичиган. Согласно М.С. Боч и В.В. Мазингу [1979, с. 13-14] толщина деятельного слоя на верховых болотах – до 5.4 дм⁸. Тогда получим, что такая продукция в первом приближении соответствует $4 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. Наконец, обратимся к публикации самого проф. Смагина, а именно – к работе [Глаголев и Смагин, 2006], где, во-первых, приводятся результаты расчетов по экспериментальным данным из статьи Н.С. Паникова [1995] для Бакчарского болота (Томская обл.), дающие потенциальную продукцию $1.9\text{-}6.3 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$; но эти результаты критикуются и, во-вторых, приводятся собственные экспериментальные данные по актуальной продукции для того же болота: $14 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, а также теоретически возможный предел (для того же торфа): $38 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. Наш опыт (суммированный, в частности, в [Глаголев, 2010]) также показывает, что даже весьма мощно эммитирующие CH_4 болота имеют величину $\Pi_M \sim 14 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. Итак, из наших собственных и десятков литературных данных очевидно, что характерными значениями Π_M являются единицы, в крайнем случае – самые первые десятки $\text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, но не $50 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ (а

⁸ Blodau et al. [2004, Fig. 7] для пересчета от объемной скорости продукции к УП принимают мощность метангенерирующего слоя равной 4 дм.

чтобы получить типичную для болот величину $\mathcal{E}_M = 2.25 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ при $\text{MOF} = 0.63$, как раз нужно взять $\Pi_M = 6.08 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$).

5) А.В. СМАГИН: ...а CO_2 – $60 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. «Выходят» на поверхность после метанотрофного фильтра $10 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ метана и $60+40 = 100 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ CO_2 (считаем, что окисление идет по циклу Зендера-Брока до CO_2). По новым оценкам [Курганова, 2010] доля корневого дыхания существенно увеличена относительно «классических» 30% до 50%, а в болотах – до 70-80%, и это... одна из возможных причин обсуждаемого артефакта дисбаланса в 1 Гт/год. Так вот, микробная составляющая при оценке по потокам с поверхности это $(100 - 0,8 \cdot 100) + 10 = 30 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$...

ОТВЕТ: Как и выше, представим это в формульном виде

$$\mathcal{E}_B = \mathcal{E}_Y - \beta \cdot \mathcal{E}_Y + \mathcal{E}_M = \mathcal{E}_Y \cdot (1 - \beta) + \mathcal{E}_M,$$

где \mathcal{E}_B ($\text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$) – микробная составляющая УП углеродсодержащих газов при оценке по потокам с поверхности; β – доля корневого дыхания (мы будем считать ее равной 0.75, поскольку, раз Андрей Валентинович указывает разброс от 70 до 80%, то для вычисления характерных, средних величин методологически более правильно брать середину интервала, а не крайнее значение); и проведем расчет с более типичными значениями ($\text{MOF} = 0.63$, $\mathcal{E}_M = 2.25 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1} \Rightarrow \Pi_M = 6.08 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$):

$$\mathcal{E}_Y = 60 + 6.08 \cdot 0.63 = 63.83 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}, \quad \mathcal{E}_B = 63.83 \cdot (1 - 0.75) + 2.25 = 18.21 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}.$$

6) А.В. СМАГИН: ...реально, по gross-продуцированию в объеме: $(60 - 0,8 \cdot 60) + 40 + 10 = 62 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. Разница в два раза.

ОТВЕТ: Как и выше, представим это в формульном виде

$$\Pi_B = \Pi_Y - \beta \cdot \Pi_Y + \Pi_M = \Pi_Y \cdot (1 - \beta) + \Pi_M,$$

где Π_B ($\text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$) – микробная составляющая УП углеродсодержащих газов при оценке по gross-продуцированию в объеме; и проведем расчет с более типичным значением $\Pi_M = 6.08 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$:

$$\Pi_B = 60 \cdot (1 - 0.75) + 6.08 = 21.08 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}.$$

Разница не в 2 раза, а на жалкие 14% – если использовать не экстремальные, а типичные величины.

7) А.В. СМАГИН: Допустим, реальная нетто-продукция фотосинтеза это $62 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, как и должно быть в сложившейся (инвариантной) экосистеме. Оценка по эмиссии с поверхности в этом случае даст «сток» в $62 - 30 = 32 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, а без учета эмиссии метана еще больше: $62 - 20 = 40 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, то есть 52-65% от NPP, что с учетом большой доли болотных экосистем в России, думаю, может объяснить весьма значительную часть дисбаланса круговорота углерода в 25% от NPP.

ОТВЕТ: С нашей точки зрения все очень просто. Пусть мы имеем некоторый метод, измеряющий поток CO_2 на границе почва/атмосфера. Это может быть камерный метод (плохо!), это может быть какой-либо МиМ или МОЗ. В болотных экосистемах надо бы еще измерять и поток CH_4 (хотя он много меньше потока CO_2 , но, все-таки, как мы видели из вышеприведенных примеров, $\mathcal{E}_M/\mathcal{E}_Y$ может составлять ~10%). И еще очень хорошо бы измерять поток углерода, растворенного или взвешенного в болотной воде. Регулярно (через какой-то промежуток времени, часто порядка первых часов) мы получаем значение УП CO_2 и CH_4 . Сумма дает нам УП углерода в газообразной форме, переносимого через границу почва/атмосфера. Обычно если поток направлен из почвы в атмосферу, то ему приписывают знак «+», а если в обратном направлении, то «-». Поэтому ночью УП должен иметь положительное значение: CO_2

выделяется в атмосферу в результате дыхания растений и микробов, а CH_4 либо тоже выделяется (из болот), либо поглощается (почвами, не подверженными столь сильному переувлажнению), но в последнем случае величина этого потока на порядки меньше, чем потока CO_2 – ср. [Глаголев и Шнырев, 2008, Табл. 4-6; Bäckstrand et al., 2010, Fig. 3; Chu et al., 2014, Fig. 4, 5]. Днем суммарный УП может иметь отрицательное значение – когда растения активно поглощают CO_2 в результате фотосинтеза. Если проинтегрировать динамику суммарного УП за большой промежуток времени (за год, а лучше – за несколько лет), то мы получим представление о том, выделился (если интеграл будет положительным) или поглотился (интеграл отрицателен) углерод в общем за этот период времени. Но результат будет относиться только к некоторой области. В худшем случае камерного метода эта область представляет собой площадь основания камеры (т.е. величину $\sim 1 \text{ м}^2$). Обычные МиМ собирают данные с площадей $\sim 10^4 \text{ м}^2$ (или более – зависит от высоты пробоотбора и метеорологических условий). Региональные сети МиМ, реализованные на высоких мачтах охватывают огромные регионы вплоть до континентов. Наконец, МОЗ с использованием спутниковых данных имеет охват вплоть до глобального.

8) А.В. СМАГИН: Конечно, утрированный пример...

ОТВЕТ: Конечно.

9) А.В. СМАГИН: но ведь есть повод для размышлений?

ОТВЕТ: Действительно, размышлять почти всегда полезно. Мы думаем, что многие участники дискуссии благодарны Андрею Валентиновичу, прояснившему тонкости расчетов элементов баланса почвенных газов.

10) А.В. СМАГИН: автору, как физику почв, больше импонирует другой подход, тем более, что на его основе уже были получены оценки мощных выбросов, или, как мы их обозначили «конвективной разгрузки» газов в атмосферу из болотных почв, причем не только в холодное, но и в теплое время года, когда метанотрофный фильтр должен функционировать [Смагин, 2005; 2007,...]. ...В наших исследованиях использовался балансовый расчет динамики запасов газов, заключенных в толще торфяника (экспериментальные данные на западносибирском Бакчарском болоте были получены группой учащихся под руководством М.В. Глаголева). Этот расчет выявил пульсационный режим функционирования болотной экосистемы с периодической сменой фаз аккумуляции и разгрузки углеродсодержащих газов. Выброс газов на стадии разгрузки во много раз (на порядок и более) выше эмиссии, в чем несложно убедиться, сравнивая интегральную эмиссию с убылью запасов газа за период продолжительности данной стадии. Причем, поскольку запасы, как и эмиссия, рассчитываются относительно единицы площади, нет необходимости учета пространственной частоты таких «неэмиссионных» преимущественных потоков, поскольку известно общее количество газа, выделяемое этим способом в атмосферу с данной площади, и оно, повторяем, значительно превышает фоновую эмиссию, измеряемую камерами.

ОТВЕТ: Не отрицая принципиальной возможности «конвективной разгрузки» газов в атмосферу из болотных почв, мы не можем согласиться с этим конкретным доказательством – с тем, что балансовый расчет динамики газовых запасов, измеренных на западносибирском Бакчарском болоте группой учащихся под руководством М.В. Глаголева, выявил пульсационный режим функционирования болотной экосистемы с периодической сменой фаз аккумуляции и разгрузки углеродсодержащих газов. К сожалению, нам не известны публикации, в которых методика этих измерений была бы описана со всеми нюансами. Поэтому поясним их здесь. Думаем, по крайней мере один из авторов имеет полное право это сделать, поскольку даже Андрей Валентинович признает, что непосредственно в поле эта «работа» выполнялась учащимися под руководством М.В. Глаголева.

Вообще удивительным кажется то, что эти важные результаты все время приводятся без подробного описания методики. Правда, при беглом прочтении работ, на которые ссылается А.В. Смагин, может показаться, что конструкция пробоотборников и методика работы со вполне

достаточной степенью подробности описаны в цитируемой им статье [Смагин, 2007]⁹. Да это действительно так, но... там описаны не те пробоотборники и вообще не та работа, которая выполнялась «группой учащихся под руководством М.В. Глаголева». В научной литературе не считается признаком хорошего тона сначала давать ссылку на методику одной работы и на описание одних приборов, а потом писать, что будут обсуждаться результаты другой работы: «использовался балансовый расчет динамики запасов газов, заключенных в толще торфяника (экспериментальные данные на западносибирском Бакчарском болоте были получены группой учащихся под руководством М.В. Глаголева)». Как указано в [Смагин, 2007], там описана работа, выполнявшаяся Андреем Валентиновичем в июле 1998 г., а «группа учащихся под руководством М.В. Глаголева» получила от него **другие** пробоотборники и выполняла работу с ними в 2000 г. Это весьма важно, потому что, например, о пробоотборниках, использовавшихся в 1998 г. из [Смагин, 2007] нам становится известно, что их инерционность не превышала 2-3 часов, в связи с чем (с большим запасом!) их вполне можно было использовать раз/сутки, тогда как пробоотборники, выданные Смагиным Глаголеву и группе учащихся обладали инерционностью на 2 порядка большей, что фатальным образом отразилось на результатах (подробнее это будет описано ниже).

Почему же проф. Смагин обходит вопрос о конкретике тех экспериментальных методов, которые применялись для получения результатов «группой учащихся»? Не потому ли, что если бы он опубликовал эту информацию, то научная ценность «результатов» стала бы уже не так очевидна? Сдернем же завесу секретности с таинственной методики. В почву устанавливались системы пробоотборников (такие, как изображенная на рис. 43 в [Смагин, 2005, с. 257]), в которые в первые дни закачивался инертный газ гелий, выходящий из пробоотборника в почву и заменявшийся, таким образом, в пробоотборнике на почвенный воздух, пробы которого отбирались и анализировались хроматографически (а в пробоотборник закачивалась новая порция гелия). И вот тут отметим первую организационно-методическую ошибку. Создавший пробоотборники А.В. Смагин, сообщил М.В. Глаголеву (и Н.А. Шныреву, также принимавшему участие в экспедиции), что равновесие в них устанавливается в течение суток, максимум двух – по истечении этого срока весь гелий выходит в окружающую почву, и состав газа в пробоотборниках становится таким же, как и состав почвенного воздуха. Поэтому отбор проб можно проводить не строго регулярно, а в зависимости от возможности посетить отдаленный исследовательский полигон, на котором были установлены пробоотборники, главное, чтобы пробоотбор и закачка новых порций гелия проводились бы не чаще, чем раз в 2 сут., а для полной гарантии – не реже раза в 3 сут. В реальности пробоотбор производился 30.07, 5.08, 10.08, 15.08, 20.08, 23.08, 2.09, 10.09, 17.09, 23.09, 30.09, 8.10, 14.10. И вот (благодаря любезности д.б.н. А.В. Наумова и его хроматографу «Кристалл»), 20.08 (через 5 сут. после очередной заправки в пробоотборник 15.08) появилась возможность проверить вышеприведенное утверждение об относительно быстром установлении равновесия. Проверка выявила неприятную вещь: в пробоотборниках находилось в среднем 17% гелия (максимальное значение в одном из них – около 30%!). Проф. Смагину было об этой неприятности доложено, а «группе учащихся» разъяснено, как важно сто раз проверить все нюансы

⁹ Не можем не обратить внимание на журнал, в котором опубликована эта статья. На сайте данного журнала (<http://ecokavkaz.ru/>) читаем: «Основную идеологию журнала: направления, тематика текущего сборника и подбор статей, а также рецензирование... определяет и осуществляет коллектив научных сотрудников и преподавателей кафедры общей биологии и экологии, где ведутся научные и практические исследования по реутилизации отходов, рекультивации земель, созданию сложных компостов с целью улучшения плодородия почвы и другим приемам экологической системы земледелия». Конечно, автор волен отдать свою статью об исследовании газовой функции западносибирских болот в любой журнал, в том числе и в тот, где рецензирование обеспечивается силами специалистов по созданию сложных компостов. Но для нас это выглядит несколько странным в свете того факта, что как раз результаты изучения парниковых газов в торфяной толще болот Западной Сибири, полученные экспедицией МГУ на Бакчарском болоте, были опубликованы [Поздняков и др., 2003] в ведущем отечественном журнале по почвоведению. В этой статье сослуживцы (по каф. физики и мелиорации почв МГУ) проф. Смагина обсуждают как раз близкие вопросы – высокую газонасыщенность торфа Бакчарского болота и возможность одномоментного выхода больших объемов газа. Казалось бы, исследования Андрея Валентиновича могли бы очень хорошо дополнить эту статью (или составить отдельную статью) этом журнале, где мог бы быть обеспечен достойный уровень рецензирования именно данной тематики. Это нам представляется совершенно очевидным и чрезвычайно важным. Разумеется, мы не должны сомневаться в том, что «...коллектив... кафедры..., где ведутся... исследования по реутилизации отходов, рекультивации земель, созданию сложных компостов с целью улучшения плодородия почвы» обеспечивают высокий уровень рецензирования статей в тех областях, где они ведут свои исследования, но представить, что они являются специалистами вообще во всех областях биологии, в том числе и в области газовой динамики западно-сибирских торфяников, нам, извините, трудно.

методики, прежде чем надеяться получить серьезные научные результаты. Однако стоит ли обращать внимание на 17% гелия? Ведь это, во-первых, не так уж и далеко от равновесия (т.е. от 0%), а, во-вторых, начиная с 23.08 пробы отбирались не чаще одного раза в неделю, так что пробоотборники оказывались к равновесию еще ближе. Да, может быть... Но мы считаем, что проф. Смагин должен был предупредить об этом читателя (и уж совершенно обязан был описать все подробности использованной методики), а читатель сам бы судил, можно или нельзя доверять полученным данным. Однако, все сказанное выше – это было лишь «во-первых». А теперь перейдем к главной методической ошибке, которая и позволяет нам ставить под сомнение научную ценность проведенных измерений.

Дело в том, что присланный А.В. Смагиным гелий довольно быстро стал заканчиваться¹⁰, о чем было незамедлительно ему доложено. В ответ поступило удивительное указание: вместо гелия закачивать в пробоотборники атмосферный воздух. Представьте, на глубину, в анаэробные метангенерирующие слои закачивали воздух, т.е. газовую смесь, содержащую 20% кислорода, а потом с удивлением наблюдали исчезновение метана. В условиях такого эксперимента исчезновение метана, возможно, было связано не с разгрузкой в атмосферу, а с окислением. Или, например, с ингибированием метаногенов, которым требуются в высшей степени анаэробные условия. Кстати, следует добавить, что хотя каждый раз в пробоотборники вводилось одно и то же количество воздуха (10 мл), но спустя неделю в них оставалось (по непонятным причинам) совершенно разное количество (от 0.5 до 10 мл). Значит, разное количество кислорода поступало в почву. Далее, если из пробоотборника вышло в почву, например, 9.5 мл воздуха, то какова его дальнейшая судьба? Он выйдет сразу в атмосферу (почти никак не повлияв ни на метаногенное, ни на метанотрофное сообщества почвы)? Или останется зажат в торфе и кислород будет растворяться (ингибируя метаногенов и активизируя метанотрофов)? Наконец, не можем не отметить, что, хотя изначально было установлено 6 систем, в каждой из которых было по 8 пробоотборников, т.е. предполагалось, что данные будут собираться с 48 пробоотборников, но уже к 30.07 работало лишь 26 из них (в 1-ой – 2 пробоотборника: на глубинах 10 и 50 см; во 2-ой – тоже 2: на глубинах 30 и 50 см; в 3-ей – 7: на глубинах 5, 10, 20, 30, 40, 80 и 100 см; в 4-ой – 5: на глубинах 10, 20, 30, 50 и 100; в 5-ой – 8: на глубинах 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80 и 100 см; в 6-ой – 2: на глубинах 20 и 50 см). К 5.08 вышел из строя еще 1 и осталось 25 работающих пробоотборников. К 10.08 – 24; к 15.08 – 21; к 20.08 – 20, а к 23.08 – всего лишь 16 работающих пробоотборников. После чего эти системы, которые, как видим, работали хуже чем наполовину, были переданы школьникам местной (деревня Плотниково Бакчарского района Томской обл.) школы.

И отдельно о «разгрузке газа в атмосферу». Такая разгрузка тоже имела место. Над одним из пробоотборников установили камеру и измерили эмиссию. И если на контрольных (ненарушенных) участках рядом, такая же камера показывала эмиссию на уровне 5 мгС/кв.м/час (это обычная эмиссия, величины такого порядка наблюдались на Бакчарском болоте почти все гг. – см., например, [Maksyutov et al., 1999; Смагин и др., 2003; Bohn et al., 2007; Глаголев и Шнырев, 2008]), то над пробоотборником, вбуровленным в болото, камера часто фиксировала 40-80 мгС/кв.м/час¹¹. При этом оказалось, что такие высокие потоки данная камера давала, в основном, тогда, когда укрепленный в ней вентилятор слегка касался своими лопастями трубы, в которую была заключена система из 8 пробоотборников (правда, и после пресечения контакта вентилятора с трубой камера могла иногда регистрировать безумно большие УП). Очевидно, что сила воздействия, оказываемого при отборе проб исследователем на указанную

¹⁰ Сейчас нам трудно восстановить точную картину 15-летней давности, но вот перед нами полевые записи той экспедиции. Всего было 6 пробоотборников (+ еще один иной конструкции). 30.07 против 4 из них сделана запись «До 30.07 Не, потом воздух», означающая, что, начиная с 30 июля, в них закачивался воздух, а не гелий. Против оставшихся двух 15.08 сделана другая запись, означающая, по-видимому, то же самое. В любом случае, пустой баллончик из-под гелия мы доставили в Москву к началу учебного года (1 сентября).

¹¹ Справедливости ради стоит отметить, что величины эмиссии порядка 40 мгС/кв.м/час, хотя и редко, но, все-таки, на Бакчарском болоте при измерении камерным методом наблюдались в некоторые годы безо всяких скважин – см., например, [Паников, 1998; Глаголев и Шнырев, 2007; Sabrekov et al., 2013]. Такие годы характеризовались сочетанием высокого уровня стояния воды (практически на поверхности мха) и высокой температуры. Разумеется, в этом случае сверхвысокие эмиссии фиксировались не в какой-то одной, а в любой точке болота (по крайней мере в пределах растительных ассоциаций с преобладанием хвоща или осоки; очень показательна в этом отношении статья [Sabrekov et al., 2013], где для одних и тех же сайтов (В3, В5) приведены УП порядка десятков – как раз почти до 40 мгС/кв.м/час – в 2008 г., когда температура торфа на глубине 15 см доходила до рекордных 22 °С, и порядка первых единиц мгС/кв.м/час в 2011 г., когда температура на этой же глубине составляла обычные 12-16 °С и лишь однажды поднялась до 18 °С).

трубу, вряд ли меньше воздействия лопастей компьютерного вентилятора. Таким образом, «конвективную разгрузку» в системе пробоотборников использованной конструкции может вызывать сам исследователь в процессе отбора проб.

А теперь еще организационный вопрос – кто все это делал, что это за «группа учащихся под руководством М.В. Глаголева»? М.В. Глаголев действительно привозил 4 учащихся (двух 9-классников, а также 8-классника и 10-классника) лицея № 1525 г. Москвы в рамках реализации программы (по организации летнего детского отдыха) «Каникулы». Поскольку данные учащиеся интересовались экологией, то и была организована эта поездка на исследовательский полигон в Томской области, работавший в рамках Межправительственного Российско-Японского соглашения о научном сотрудничестве. Конкретную работу с пробоотборниками поначалу вел один из 9-классников действительно под руководством М.В. Глаголева. Но в конце августа вся эта группа (вместе с М.В. Глаголевым) уехала в Москву и до конца полевого сезона (до середины октября) работу с пробоотборниками вели школьники Плотниковской средней школы. Итак, важно отметить, что с конца августа до середины октября *работа велась силами деревенских школьников без какого-либо руководства*. И еще более важно отметить – когда же школьники смогли проанализировать концентрации газа. В своей работе (доложенной на апрельской конференции в МГДДиОТ) они пишут, что сделали это лишь приехав в Москву, т.е. в середине апреля (через 6-7.5 месяцев после отбора проб!). Поэтому кроме вопросов об аккуратности и грамотности самого пробоотбора неизбежно возникают и другие. Как хранились пробы газа все это время? Как проверялась герметичность этого хранения?

И более всего интересно, как часто крупные ученые передоверяли отбор образцов школьникам деревенских школ и как часто потом публиковали полученные «результаты» в научной печати, не сообщая всех необходимых методических подробностей?

Всеми вышеперечисленными причинами объясняется, в частности, тот удивительный факт, что в публикациях М.В. Глаголева¹², считающего, что публиковать нужно буквально «каждый чих» (ибо заранее никогда не известно, что из сделанного конкретным автором пригодится научному сообществу сейчас или в будущем) эти «выдающиеся» результаты никогда даже не упоминались.

Так что же, мы считаем, что А.В. Смагин тоже не имел права публиковать их? Разумеется, имел. Но, с нашей точки зрения, он не имел права дезинформировать научное сообщество. Вот, например, в [Смагин, 2005, с. 234] читаем: «Наблюдения за сезонной динамикой концентраций газов по профилю с учетом естественного пространственного варьирования этого показателя выявили закономерные, статистически достоверные отличия газовых профилей во времени (рис.38). После интегрирования профилей и получения данных о запасах газов в исследуемой метровой толще удалось выявить пульсационный характер сезонной динамики газов, при котором фаза аккумуляции неоднократно за сезон сменяется фазой разгрузки – конвективного локального выхода газов в атмосферу по местам с максимальной газопроницаемостью (рис.35)». При этом та часть рис. 35, о которой здесь идет речь, озаглавлена «Динамика аккумуляции и разгрузки газов в торфянике Бакчарского болота», а рис. 38 – «Сезонная динамика углеродсодержащих газов Бакчарского болота (ст. “Плотниково”, 2000г)»; на указанных рис. приведены данные с 05.08 по 14.10.2000 г. включительно. Но ведь, фактически, *мы не можем быть уверены, что данные отражают именно динамику аккумуляции и разгрузки газов в болоте*. В этом-то и заключена дезинформация¹³! На самом деле, во-первых, они отражают только динамику газов в кустарно сделанных пробоотборниках, качество сборки которых (или качество работы с ними школьников) было таково, что в среднем за неделю необратимо выходило из строя более 10% пробоотборников. Во-вторых, вся система пробоотборников, вбуровленная (молодыми сильными школьниками) в болото, настолько меняла его структуру, что эмиссия в местах установки этих систем

¹² Разумеется, речь идет о публикациях не в соавторстве с А.В. Смагиным.

¹³ Нам могут возразить, что ведь общепринято несколько обобщать результаты измерений. Например, если проводятся измерения концентрации углекислоты в атмосфере каким-то прибором, то об этом пишут именно как об измерениях «концентрации в атмосфере», а не измерениях «в непосредственной близости от сенсора прибора», и никто не обвиняет авторов в дезинформации. Да, это действительно так, но ведь совершенно обязательным является полное описание методики измерений и места исследований. Если это требование соблюдено, то нет смысла говорить об измерениях «в непосредственной близости от сенсора прибора», т.к. читатель и сам поймет – можно или нельзя обобщать эти измерения (для прибора данного типа и для данного места исследований) на какой-то участок атмосферы. А вот если методика в точности не описана, то тогда и появляется реальная опасность дезинформации.

иногда возрастала до 16 раз по сравнению с ненарушенными участками болота. В-третьих, поначалу в пробоотборники вводился инертный газ, который не мог увеличивать окисление и уменьшать генерацию метана в них, но в дальнейшем (в разное время для различных пробоотборников) вместо инертного газа стал вводиться атмосферный воздух, кислород которого вполне мог активизировать деятельность метанотрофов и ингибировать метаногенов. В-четвертых, (по крайней мере в некоторые сроки отбора проб), пробоотборники не находились в равновесии с газовой системой почвы. В-пятых, большую часть времени полевого сезона (59%) вся работа выполнялась деревенскими школьниками, за которыми не следил вообще никто, не говоря уже о квалифицированном научном руководстве. В-шестых, часть газовых проб между отбором и до анализа хранилась до 7 с половиной месяцев в неизвестно каких условиях (в избе т.е. при относительном «термостатировании»? или в сарае – при больших перепадах температур? или, может быть, еще где-нибудь?). Как видим, ничего не сказано о всех тонкостях методики, и ничего не сказано о многочисленных источниках возможных ошибок в интерпретации результатов газового анализа. Так нельзя! И поэтому обсуждать тут нечего. Никакой «конвективной разгрузки» со сменой фаз А.В. Смагиным обнаружено не было, а было обнаружено, что если дать сделанные им пробоотборники группе школьников, то они поломают почти все из них и примерно через 8 месяцев выдадут пробы газа, в которых будут наблюдаться относительно хаотичные колебания концентрации (ну, или не хаотичные, а относительно закономерные, пики и впадины которых будут соответствовать, например, тому, ездили ли на тот или иной пробоотбор аккуратные слабые девушки или резкие сильные юноши).

ЛИТЕРАТУРА

- Белицина Г.Д., Васильевская В.Д., Гришина Л.А., Евдокимова Т.И., Зборищук Н.Г., Иванов В.В., Левин Ф.И., Николаева С.А., Розанов Б.Г., Самойлова Е.М., Тихомиров Ф.А. 1988. Почвоведение. Ч. 1. Почва и почвообразование. М.: Высш. шк. 400 с.
- Боч М.С., Мазинг В.В. 1979. Экосистемы болот СССР. Л.: Наука. 188 с.
- Глаголев М.В. 2010. Эмиссия CH_4 болотными почвами Западной Сибири: от почвенного профиля до региона: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ).
- Глаголев М.В. 2014. Ответ А.В. Смагину: I. Об этике дискуссий и немного о науке // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 5. № 2(10). С. 26-49.
- Глаголев М.В., Клепцова И.Е. 2009. Эмиссия метана в лесотундре: к созданию «стандартной модели» (Aa2) для Западной Сибири // Вестник Томского государственного педагогического университета. № 3. С. 77-81.
- Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. 2014. Ответ А.В. Смагину: II. Углеродный баланс России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 5. № 2 (10). С. 50-69.
- Глаголев М.В., Смагин А.В. 2006. Количественная оценка эмиссии метана болотами: от почвенного профиля – до региона (к 15-летию исследований в Томской области) // Доклады по экологическому почвоведению. Вып. 3. №3. С. 75-114.
- Глаголев М.В., Филиппов И.В. 2011. Инвентаризации поглощения метана почвами // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 2. № 2 (4). С. 1.
- Глаголев М.В., Шнырев Н.А. 2007. Динамика летне-осенней эмиссии CH_4 естественными болотами (на примере юга Томской области) // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. №1. С. 8-15.
- Глаголев М.В., Шнырев Н.А. 2008. Летне-осенняя эмиссия CH_4 естественными болотами Томской области и возможности ее пространственно-временной экстраполяции // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. №2. С. 24-36.
- Десятков Б.М., Бородулин А.И., Котлярова С.С. 1997. Определение потока аэрозольных частиц, выделяемых подстилающей поверхностью, путем решения обратной задачи их распространения в атмосфере // Оптика атмосферы и океана. Т. 10. №6. С. 639-644.
- Кауричев И.С., Гречин И.П. (ред.). 1969. Почвоведение. М.: Колос. 543 с.
- Ковда В.А. 1973. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. Книга первая. М.: Наука.
- Курганова И.Н. 2010. Эмиссия и баланс диоксида углерода в экосистемах России: Автореферат дис. ... докт. биол. наук. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ). 36 с.
- Литлвуд Дж. 1973. Математическая смесь. М.: Наука. 144 с.
- Марьянович А.Т. 1998. Эрратология или как избежать неприятных ошибок при подготовке диссертации. М.: Вузовская книга. 176 с.
- Орлов Д.С. 1985. Химия почв. М.: Изд-во МГУ. 376 с.
- Паников Н.С. 1995. Таежные болота – глобальный источник атмосферного метана? // Природа. №6. С. 14-25.
- Паников Н.С. 1998. Эмиссия парниковых газов из заболоченных почв в атмосферу и проблемы устойчивости // Экология и почвы. Избранные лекции I-VII Всероссийских школ. Том 1. Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН. С. 171-184.
- Поздняков А.И., Шен Е.В., Паников Н.С., Девин Б.А., Назарова Т.В. 2003. Локализация парниковых газов в торфяной толще болот Западной Сибири // Почвоведение. № 6. С. 697-700.
- Смагин А.В. 2000. Газовая функция почв // Почвоведение. №10. С. 1211-1223.

Смагин А.В. 2005. Газовая фаза почв. М.: Изд-во МГУ. 301 с.

Смагин А.В. 2007. Почвенно-гидрофизическое обеспечение исследований газовой функции западносибирских болот в связи с проблемой парникового эффекта // Экологический Вестник Сев. Кавказа. Т. 3. №3. С. 46-57.

Смагин А.В. 2014. Спорные вопросы количественной оценки газовых потоков между почвой и атмосферой (к дискуссии М.В. Глаголева и А.В. Наумова) // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 5. № 2(10). С. 10-25.

Смагин А.В., Глаголев М.В., Суворов Г.Г., Шнырев Н.А. 2003. Методы исследования потоков газов и состава почвенного воздуха в полевых условиях с использованием портативного газоанализатора ПГА-7 // Вестник МГУ, сер. Почвоведение. №3. С. 29-36.

Alm J., Talanov A., Saarnio S., Silvola J., Ikkonen E., Aaltonen H., Nykänen H., Martikainen P.J. 1997. Reconstruction of the carbon balance for microsites in a boreal oligotrophic pine fen, Finland // Oecologia. V. 110. No. 3. P. 423-431.

Ambus P., Christensen S. 1995. Spatial and Seasonal Nitrous Oxide and Methane Fluxes in Danish Forest-, Grassland-, and Agroecosystems // Journal of Environ. Qual. V. 24. P. 993-1001.

Anastasi C., Dowding M., Simpson V.J. 1992. Future CH₄ Emissions From Rice Production // Journal of Geophysical Research. V. 97. P. 7521-7525.

Arah J.R.M., Stephen K.D. 1998. A model of the processes leading to methane emission from peatland // Atmospheric Environment. V. 32. No. 19. P. 3257-3264.

Aselmann I., Crutzen P.J. 1989. Global distribution of Natural Freshwater Wetlands and Rice Paddies, their Net Primary Productivity, Seasonality and Possible Methane Emissions // Journal of Atmospheric Chemistry. V. 8. P. 307-358.

Avery G.B. Jr, Shannon R.D., White J.R., Martens C.S., Alperin M.J. 2003. Controls on methane production in a tidal freshwater estuary and a peatland: methane production via acetate fermentation and CO₂ reduction // Biogeochemistry. V. 62. P. 19-37.

Bäckstrand K., Crill P.M., Jackowicz-Korczyński M., Mastepanov M., Christensen T.R., Bastviken D. 2010. Annual carbon gas budget for a subarctic peatland, Northern Sweden // Biogeosciences. V. 7. P. 95-108. Доступна по URL (дата обращения 11.11.2011): www.biogeosciences.net/7/95/2010/

Blodau C., Basiliko N., Moore T.R. 2004. Carbon turnover in peatland mesocosms exposed to different water table levels // Biogeochemistry. V. 67. P. 331-351.

Bohn T.J., Lettenmaier D.P., Sathulur K., Bowling L.C., Podest E., McDonald K.C., Friborg T. 2007. Methane emissions from western Siberian wetlands: heterogeneity and sensitivity to climate change // Environmental Research Letters. V. 2. No. 4. DOI: 10.1088/1748-9326/2/4/045015.

Chu H., Chen J., Gottgens J.F., Ouyang Z., John R., Czajkowski K., Becker R. 2014. Net ecosystem methane and carbon dioxide exchanges in a Lake Erie coastal marsh and a nearby cropland // Journal of Geophysical Research (Biogeosciences). V. 119. No. 5. P. 722-740. DOI: 10.1002/2013JG002520

Crozier C.R., DeLaune R.D. 1996. Methane production by soils from different Louisiana marsh vegetation types // Wetlands. V. 16. No. 2. P. 121-126.

Maksyutov S., Dorofeev A., Makhov G., Sorokin M., Panikov N., Gadzhiev I., Inoue G. 1999. Atmospheric methane concentrations over wetland: measurements and modeling // Proceedings of the Fourth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1995. Sapporo: Kohsoku Printing Center. P. 125-131.

Sabrekov A.F., Glagolev M.V., Kleptsova I.E., Machida T., Maksyutov S.S. 2013. Methane Emission from Mires of the West Siberian Taiga // Eurasian Soil Science. Vol. 46. No. 12. P. 1182-1193. DOI: 10.1134/S1064229314010098

Svensson B.H., Rosswall T. 1984. In situ methane production from acid peat in plant communities with different moisture regimes in a subarctic mire // OIKOS. V. 43. P. 341-350.

A REPLY TO A.V. SMAGIN: III. ON THE ISSUE OF METHANOTROPHIC FILTER AND GAS DISCHARGE INTO THE ATMOSPHERE

Glagolev M.V., Filippov I.V.

A.V. Smagin suggested a 50% contribution of CH₄ to the gross-production of gaseous carbon in the wetlands. We perform calculations using typical (but not extreme, like A.V. Smagin) parameters, showing that this contribution is lower and is about 6%. Furthermore, methodological errors were identified in "measuring" of significant emissions (convective discharge) from wetland soils. It is shown that this "emissions" could be an artifact - a result of the impact of samplers or the process of sampling to the surrounding peat. As a result, it is possible to speak only about the fluctuations of methane concentration in the samplers, but not about the phenomenon of gaseous "convective discharge" from the wetland soil. This is just a hypothesis to explain these fluctuations, and this hypothesis is not the best in light of sampling errors (who and how takes samples, where samples are stored and how samples were analyzed).

Key words: soil gases, gas function of soil, soil gas dynamics, methodology of scientific research.

Поступила в редакцию: 08.06.2015
Переработанный вариант: 19.06.2015