

## REPLY TO A.V. SMAGIN: V. WHAT IS WRONG WITH AN “ABIOTIC PAPER” AND DO WE ALWAYS NEED TO TAKE INTO ACCOUNT THE ABIOTIC GAS ABSORPTION BY SOIL?

M.V. Glagolev<sup>1,2,3</sup>, A.F. Sabrekov<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Yugra State University, Khanty-Mansyisk, Russia

<sup>3</sup> Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, Uspenskoe (Moscow region), Russia

<sup>4</sup> Tomsk State University, Tomsk, Russia

Corresponding authors: M.V. Glagolev, [m\\_glagolev@mail.ru](mailto:m_glagolev@mail.ru); A.F. Sabrekov, [misternickel@mail.ru](mailto:misternickel@mail.ru)

**Citation:** Glagolev MV, Sabrekov AF, 2019. Reply to A.V. Smagin: V. What is wrong with an “abiotic paper” and do we always need to take into account the abiotic gas absorption by soil? *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 1:48-63. <https://doi.org/10.17816/edgcc16144>

A paper of prof. A.V. Smagin [2007] is analyzed (both from outer scientometric and inner meaningful points of view). In this paper he considers the abiotic absorption of gases by organogenic soils. In this regard, claims of the author of the article to the work of V.M. Stepanenko and his colleagues on the modeling of methane emissions from lakes on the territory of permafrost are also discussed. An idea that (in contrast to the views of A.V. Smagin) a necessity to account for abiotic uptake depends on properties of modeled object is formulated. In particular, if blocks of climate models are developed (like the Stepanenko model), which should work on timescales of  $10^3$ – $10^4$  hours and more, it makes no sense to take into account the abiotic uptake that occurs within significantly shorter time intervals and concerns an extremely small amount of methane (compared to its total amount, which is released within the indicated  $10^3$ – $10^4$  hours). In addition potential uncertainties of deep soil chamber technique that could be generated by abiotic absorption and biogenic oxidation of methane are discussed.

**Key words:** scientific writing; gas exchange in soils; deep soil chamber technique.

Анализируется (как с формально-наукометрической, так и с содержательной точки зрения) статья [Smagin, 2007], в которой автор рассматривает абиотическое поглощение газов органогенными почвами. В связи с этим обсуждаются также его претензии к работе В.М. Степаненко с коллегами, посвященной моделированию эмиссии метана из озер на территории «вечной» мерзлоты. Сформулировано представление о том, что, в противоположность взглядам А.В. Смагина, необходимость учета абиотического поглощения определяется конкретной задачей. В частности, если (подобно модели Степаненко) разрабатываются блоки климатических моделей, которые должны работать на временах порядка тысяч, десятков тысяч и более часов, нет смысла учитывать абиотическое поглощение, происходящее за существенно более короткое время и касающееся крайне небольшого количества метана (в сравнении с общим его количеством, выделяющимся за указанные  $10^3$ – $10^4$  час). Кроме этого обсуждаются возможные погрешности одного из методов полевого определения продукции  $\text{CH}_4$ , которые могли бы быть вызваны абиотическим поглощением (адсорбцией) метана и его биологическим окислением.

**Ключевые слова:** научный стиль; газообмен в почвах; измерение актуальной метаногенной активности.

...статья должна быть небольшой,  
но правильной...  
К.Т. Мазуров<sup>1</sup>

### ВВЕДЕНИЕ

#### Абиотические и биотические процессы в газовой динамике почв

В предыдущих номерах журнала «Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата» развернулась бурная дискуссия, инициированная А.В. Смагиным [2015] — см., например, [Евдокимов и Ларионова, 2015;

Курганова и Кудеяров, 2015; Лапина, 2015; Глаголев и др., 2017]. Исследователи, принявшие участие в этой дискуссии, дали практически исчерпывающие (по нашему мнению) ответы на многие замечания Андрея Валентиновича. Однако до сих пор некоторые вопросы все еще остались вне зоны обсуждения. В частности проф. Смагин поднял интересный вопрос об учете абиогенного поглощения газов почвами (и здесь же он задался еще одним вопросом: почему его статья об этом не привлекла никакого интереса специалистов<sup>2</sup>).

<sup>1</sup> Цит. по [Пихоя, 2007: с. 571].

<sup>2</sup> Поскольку ответ на первый вопрос кажется нам очевидным, то второй вопрос представляется

Научный аспект этой проблемы состоит в следующем. Большинство авторов (см., например, [Panikov et al., 1992; Awasthi et al., 2005; Ambus and Robertson, 2006; Молчанов, 2017]) интерпретирует измерения выделения/поглощения экосистемами  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  только с точки зрения биогенных механизмов. Так поглощение и выделение  $\text{CO}_2$  объясняется, соответственно, только фотосинтезом и дыханием биоты. А образование и потребление  $\text{CH}_4$  — только жизнедеятельностью, соответственно, метаногенных архей и метанотрофных бактерий. Абиогенные же механизмы (растворение газов в жидкой фазе почвы, их адсорбция на поверхности ее твердой фазы и др.) рассматриваются относительно редко.

А, так сказать, «социально-научный» аспект состоит в том, что даже если и появляются исследования, в которых затрагиваются абиогенные механизмы, то некоторые из таких публикаций привлекают внимание специалистов, а другие — нет. Чтобы не быть голословными, в качестве примера работ, получивших определенный отклик, приведем [Глаголев и др., 2010; Liu et al., 2015; 2015a; Schlesinger, 2016]. Эти публикации, соответственно, получают 0.89, 1.14, 0.78 и 5.25 независимых<sup>3</sup> ссылок/год). А вот, скажем, статьи [Смагин, 2000; Шевченко и Смагин, 2000; Smagin, 2007; Коровицкий и Тоцкая, 2017] интереса практически не вызвали (все они, кроме третьей, имеющей скорость цитирования 0.09 независимых ссылок/год, пока не получили вообще ни одной независимой ссылки). Почему так происходит? Объяснений — множество: от весьма реалистичного сравнительного анализа качества статей в различных изданиях до «теорий заговора» (заговора «международной научно-издательской мафии» против отечественной науки, которая, разумеется, одна только и несет свет миру).

Целью нашей статьи было: попытаться, в-первых, ответить на замечания проф. Смагина о необходимости учета абиогенных процессов в одном конкретном случае («озерного» бло-

даже более интересным и содержательным, особенно в свете того, что один из нас несколько лет читает части аспирантов факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова курс «Система современных научных изданий и публикаций в высокорейтинговых журналах в области с/х наук».

<sup>3</sup> То есть если учитываются только ссылки сделанные из цитирующих публикаций, среди авторов которых нет ни одного автора цитируемой работы. Впрочем, само по себе наличие цитирований статьи, к сожалению, не говорит о том, что в ней читателя привлекла информация именно об абиогенных процессах.

ка климатической модели) и, во-вторых — на его вопрос о том, является ли плохой одна из статей на тему абиогенных процессов газовой динамики почв (а именно: [Smagin, 2007]).

### Используемые сокращения

ПИД — пламенно-ионизационный детектор;  
 ПроМИМА — пробоотборники метода измерения метаногенной активности;  
 РИНЦ — Российский Индекс Научного Цитирования;  
 IF — импакт-фактор (журнала);  
 рММО — метанмонооксигеназа, связанная с мембранами.

### ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ ПОЧВ

#### «Абиотическая» статья как зеркало русской публикации

1) А.В. СМАГИН: "...очень мало работ по практическому определению параметров взаимодействия газообразных веществ с твердой фазой почв, исключая разве что пары воды. Но главное — у специалистов абсолютно отсутствует интерес к этой проблеме. Так статья в переводном ж. Почвоведение «Abiotic uptake of gases by organic soils» [Smagin, 2007], где были приведены экспериментальные оценки параметров сорбции для  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{O}_2$  в торфах имеет нулевой индекс цитирования и в нашей стране и за рубежом".

ОТВЕТ: С формальной точки зрения, проф. Смагин ошибается — у данной статьи «индекс цитирования»<sup>4</sup> больше нуля (для доказательства этого утверждения в Приложении на рис. А1 приведена копия экрана после поиска публикаций Андрея Валентиновича за 2007 г. при помощи двух достаточно распространенных 5 лет назад систем). С неформальной точки зрения, проф. А.В. Смагин, возможно, прав, но для этого он должен был представить убедительные и четкие доказательства, а не ограничиваться голословным утверждением о «нулевом индексе цитирования»<sup>5</sup>. Однако следует понимать, что цитирование — процесс случайный.

<sup>4</sup> Разумеется, Smagin [2007] не дает определения «индексу цитирования статьи», но смеем предположить, что под этим он понимает просто количество ссылок на статью (или какую-то величину, пропорциональную этому количеству).

<sup>5</sup> Подчеркнем, что вышеуказанный поиск цитирований публикации был проведен одним из авторов 4 года назад (сразу же после того, как Смагин принял участие в дискуссии), а вовсе не сейчас. Теперь же ссылок на данную статью в несколько раз больше, что будет обсуждаться ниже.

Author's name: "A Smagin" OR "AB Charnin"  
 Exclude these names:  
 Year of publication between: 2007 and: 2007  
 Data source: Google Scholar

**Results**

Papers:	5	Papers/author:	3.67	h-index:	1	"A Smagin" OR "AB Charnin" from 2007 to 2007: all
Citations:	5	Cites/year:	0.71	g-index:	2	Query date: 2014-09-05
Years:	7	Cites/auth/year:	0.33	hc-index:	1	Papers: 5
Cites/paper:	1.00	hi,annual:	0.14	hi,norm:	1	Citations: 5
						Years: 7

C...▼	Per year	Rank	Authors	Title	Year	Publication
<input checked="" type="checkbox"/>	4	0.57	2	NA Manucharova, AM Yaroslavtsev...	2007	Eurasian Soil ...
<input checked="" type="checkbox"/>	1	0.14	4	AV Smagin	2007	Eurasian Soil Science
<input checked="" type="checkbox"/>	0	0.00	13	AB Smagin	2007	Доклады по экологии
<input checked="" type="checkbox"/>	0	0.00	15	AB Smagin	2007	Почвоведение
<input checked="" type="checkbox"/>	0	0.00	7	EA Tmofeeva, EI Karavanova, AV ...	2007	Moscow University Sc

Results for "year=2007 A.V. Smagin" in 7 Fields of Study - Internet Explorer, optimized for Bing and MSN

Яндекс http://academic.research.microsoft.com/Search?query=year%3d2007%20A.V.%20Smagin&SearchDomain=16,4,5,9,10,19,1

File Edit View Favorites Tools Help

Favorites Results for "year=2007 A.V. Smagin" in 7 Fields of St...

Microsoft Academic Search

year=2007 A.V. Smagin 7 Fields of Study Advanced Search

Agriculture Science (3)  
 Physics (2)  
 Biology (1)  
 Multidisciplinary (3)

Academic > Results for "year=2007 A.V. Smagin" in 7 Fields of Study

Publications (9)

**Abiotic uptake of gases by organic soils** (Citations: 1) ✓

**A. V. Smagin**  
 ...implementations on the basis of a pga-7 portable gas analyzer...  
 Journal: Eurasian Soil Science - EURASIAN SOIL SCI, vol. 40, no. 12, pp. 1326-1331, 2007

**Methane production and growth of microorganisms under different moist with added chitin and without it**

N. A. Manucharova, A. M. Yaroslavtsev, E. G. Korniyushenko, A. L. Stepanov, **A. V. Smagin**, I  
 ...methane emission increases significantly under a high soil moisture content in...  
 Journal: Eurasian Soil Science - EURASIAN SOIL SCI, vol. 40, no. 8, pp. 860-865, 2007

**Рис. А1.** Приложение

Следовательно, в какие-то периоды времени статью могут почти совсем не цитировать, в другие она может получить сразу относительно много цитирований. Поэтому нам было интересно еще раз — уже в настоящее время — проанализировать цитирование статьи. Сейчас общее количество цитирований этой статьи (по данным РИНЦ) составляет<sup>6</sup> 5. А сколько же должна была бы получить цитирований статья,

<sup>6</sup> Столько цитирований РИНЦ дает, если обратиться к рассматриваемой статье через страницу журнала «Почвоведение». К сожалению, в РИНЦ разные страницы обновляются в разное время и на полное обновление уходит до 3 мес., так что, возможно, если обратиться к данной статье через другую страницу, то количество цитирований будет больше или меньше. В любом случае, поскольку мы теперь тоже процитировали указанную статью, то если читатель захочет проверить сообщаемую нами информацию, он должен обнаружить уже не менее 6 цитирований.

учитывая качество того журнала, куда она подавалась?

К счастью, РИНЦ приводит достаточно подробную наукометрическую информацию по каждому журналу, в частности для каждой статьи указано количество цитирований. Как известно (см., например, [Field and Burger, 1985]), для частоты цитирований характерно степенное распределение. Для статей 2007 г., опубликованных в журнале Почвоведение, оказывается, что 23% из них не получили вообще ни одной ссылки за прошедшие 11 лет. Еще 27% статей получили от 1 до 4 ссылок включительно. То есть, статьи, получившие 5 ссылок — это чуть лучше медианы (57% статей получили не менее 5 ссылок и 43% статей получили от 6 до 39 ссылок включительно). Итак, подав статью в журнал такого качества, как «Почвоведение», Андрей Валентинович как раз и должен был ожидать именно такой ее

цитируемости, которая реально наблюдается. Это — с точки зрения формального наукометрического анализа.

С неформальной точки зрения, он конечно прав, когда говорит, что «...у специалистов абсолютно отсутствует интерес к этой проблеме», потому что специалисты данную статью, действительно, не цитировали: 4 раза из 5 ее процитировал сам Смагин, а 1 раз — мы в [Глаголев и др., 2017], где вынуждены были просто продублировать часть текста из [Смагин, 2015], когда отвечали автору в рамках дискуссии (т. е. это цитирование представляет собой дубликат автоцитирования Смагина). Впрочем, нет, проф. Смагин, все-таки, не прав! «У специалистов абсолютно отсутствует интерес к этой...» вовсе не проблема, как он пишет, а лишь к конкретной статье. Выше (во Введении) мы привели ряд ссылок на публикации, рассматривающие абиогенные процессы выделения и поглощения газов почвой (и — в зимний период — снегом, покрывающим почву). Следовательно, народ работает: проводит измерения, пишет статьи... То есть интерес **к проблеме**, все же, есть. А почему же нет интереса к статье [Smagin, 2007]? Попробуем разобраться. Тем более, что Андрей Валентинович высказал по этому поводу гениальную догадку и нам остается только проанализировать ее.

2) А.В. СМАГИН: “Возможно плохая статья?”

ОТВЕТ: Прежде всего — а что значит плохая или хорошая? Кто это решает? Одному читателю статья может показаться плохой, другому — хорошей... К настоящему времени в международном научном сообществе сложился некоторый **стандарт «хорошей» статьи**, т. е. такой, которая имеет шансы быть прочитана достаточно широким кругом исследователей и многократно процитирована. Или другими словами: такой, результатам которой принято доверять. Если статья не удовлетворяет этому стандарту, то объективно-то она может быть хорошей (например, в ней может быть описано какое-то эпохальное открытие, действительно сделанное автором), но она будет рассматриваться научным сообществом как «плохая» — доверять ей, советовать друг другу прочитать, цитировать ее почти никто не будет. Элементы этого современного международного «стандарта статьи» на русском языке неплохо описаны Михаилом Васильевичем Козловым [2014], книге которого мы и будем здесь следовать, чтобы конкретно ответить на вопрос: «плоха» ли статья [Smagin, 2007].

Международные журналы предъявляют более жесткие требования к методической части статьи, чем российские. Задача, стоящая перед

исследователем, — предоставить читателю достаточное количество данных для повторения эксперимента. То есть информации в разделе «Объекты и методы» должно быть достаточно для того, чтобы другой специалист мог воспроизвести результаты данного исследования. Это означает, в частности, возможность отыскать участки, на которых велась работа, а также повторить сбор и анализ материала с использованием тех же самых методов [Козлов, 2014, с. 30–31]. Посмотрим с этой точки зрения на статью проф. Смагина: «Исследования проводились на образцах торфов низинного и верхового типов..., отобранных на стационарах... “Чашниково” (Московская обл.) и института Почвоведения и агрохимии СО РАН “Плотниково” (Томская обл.)». Можно по этой информации отыскать участки, с которых брались образцы торфа? Не знаем, как насчет “Чашниково”, но относительно “Плотниково” можем засвидетельствовать: на этом стационаре, расположенном посреди пос. Плотниково Бакчарского р-на Томской обл., никакого торфа (ни низинного, ни верхового) отобрать нельзя (разве что в прямом смысле отобрать его у исследователей, приезжающих на этот стационар непосредственно из болот и иногда привозящих с собой пробы торфа).<sup>7</sup> Конечно, тут можно возразить: зачем подробно указывать — откуда брался торф, ведь целью статьи служит описание методики, а ее можно было описывать на примере любого образца торфа. Можно. Только потом не надо удивляться, что никто эти писания не замечает. Есть определенный стандарт. Следовать ему не так уж и сложно. Отклонения от стандарта вызывает ненужные подозрения. Средний иностранный исследователь (или «продвинутый» отечественный) рассуждает примерно так: «Почему-то участки описаны так, что я найти их не смогу (а если бы и смог, то все равно непонятно — какой конкретно брался торф: с какой глубины). В общем, описано так, что воспроизвести эксперимент в точности я не смогу. Хм... Подозрительно...».

Но вернемся к описанию «стандарта»: «Вторая задача — предоставить читателю достаточное количество информации для обоснованного суждения об адекватности выбранного метода статистического анализа данных. Для этого

<sup>7</sup> Но близ этого стационара (на расстоянии километров) начинаются непроходимые болота площадью тысячи (!!!) кв. км (любые: и низинного, и переходного, и верхового типов), на которых размещено около 100 исследовательских полигонов («сайтов»). И на всех этих торфяниках в разные годы проводилась исследовательская работа, в частности, среди прочего — брались образцы торфа для различных целей.

всегда указываются не только использованный метод..., но и те свойства данных и характеристики экспериментальных планов, которые определяют применимость выбранного метода анализа в данной конкретной ситуации. В то же время в отечественных журналах описание метода обработки данных часто вообще не приводится, либо это описание сформулировано весьма расплывчато, например: «Измерения обрабатывали методами математической статистики с использованием программы MS Excel» [Козлов, 2014, с. 31]. Посмотрим с этой точки зрения на статью проф. Смагина. К сожалению, собственно про статистический анализ данных в ее разделе «Объекты и методы» практически ничего не говорится. Вот разве что некоторое отношение к этому имеет следующее: «...в работе использовалась программа численного интегрирования, выполненная в виде макроса Excel (автор М.В. Глаголев)...». И еще немного сказано в разделе «Результаты и их обсуждение»: «...удобно использовать компьютерную программу “Sigma-plot” со встроенной опцией “Regression Wizard” для подбора параметров нелинейных моделей по экспериментальным данным. Можно также воспользоваться графическим способом и трансформировать уравнение... в линейное, меняя местами числитель и знаменатель...». Конечно, автор программы (если это не сам автор статьи) должен быть указан, но это можно сделать в разделе «Благодарности» или в подстраничной сноске. А вот что обязательно должно быть в методах, так это: какова точность вычислений по данной программе (и неплохо бы уточнить — какой метод численного интегрирования используется<sup>8</sup>; впрочем, по сравнению с характеристикой точности это

<sup>8</sup> Эта информация у проф. А.В. Смагина была. В доказательство приведем «шапку» первой программы численного интегрирования, переданной ему М.В. Глаголевым:

' THE INTEGRAL FOR TABULAR FUNCTION BY TRAPEZOIDAL RULE

' X — array of abscissae; ' Y — array of ordinates

' Mikhail V. Glagolev, 21.01.1998 (v. 1.0); 22.01.1998 (v. 1.1); 19.04.2007 (v. 1.2);

' Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. 1995. Numerical Recipes in FORTRAN. The Art of Scientific

' Computing. — Cambridge, New York, PortChester, Melbourne, Sydney: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. — P. 125.

Вот, как видим, это, оказывается, интегрирование методом трапеций, причем текст программы (правда на Фортране) есть на 125-ой странице «Numerical Recipes...» — известнейшего руководства, свободно доступного в сети Интернет. Следовало указать название метода и дать ссылку на эту книгу.

не столь важно). Средний иностранный исследователь (или «продвинутый» отечественный) рассуждает примерно так: «Почему-то совершенно не описаны статистические методы... Что же, автор совсем не использовал их? Тогда можно ли доверять его результатам? Да и программу для интегрирования использовал непонятно какую, реализующую непонятно какой метод... Хм... Подозрительно... А вдруг и остальное автор делал примерно так же... Нет, не буду тратить время на эту странную статью».

Но продолжим описание «стандарта»: «Любое вероятностное утверждение, сделанное автором, сопровождается ссылкой на статистический тест, с приведением расчетного значения критерия, числа степеней свободы и достигнутого уровня значимости» [Козлов, 2014, с. 31–32]. Посмотрим с этой точки зрения на статью проф. Смагина: «Экспериментальные данные хорошо аппроксимируются линейной релаксационной моделью кинетики сорбции...» (этим поясняется рисунок). Что значит хорошо? Каким статистическим тестом это выяснялось? Какое расчетное значение критерия получилось? Для скольких степеней свободы? На каком уровне значимости? Ничего не указано! При этом, хорошо зная проф. Смагина, мы, разумеется, не сомневаемся в качестве описания им экспериментальных данных линейной кинетической моделью. Но ведь не все читатели (особенно зарубежные) хорошо его знают. Поэтому-то и есть определенные правила описания экспериментальных данных. И если мы хотим, чтобы нас читали и на нас ссылались, то мы должны им следовать. Вообще в разбираемой статье почти нет статистической информации или терминологии. Вот лишь в одном месте нам удалось найти следующее: «Данные анализа поглощения газов динамическим методом также показывают, что в широком диапазоне концентраций сорбция подчиняется равновесной модели Ленгмюра... Для обоих параметров модели Ленгмюра получены статистически значимые отличия от нуля при уровне значимости  $P = 0.05$ . ...некоторые статистические показатели аппроксимации (коэффициент нелинейной регрессии ( $R^2$ ) и ошибка ( $s$ )) приведены в подписях к рис...». Ну, тут хотя бы указан уровень значимости, но опять — нет названия статистического теста, не приведено количество степеней свободы... Да и  $R^2$  — это не коэффициент регрессии.

Теперь добавим еще несколько слов от себя. Посмотрим на эту статью со следующей точки зрения: если бы такая статья поступила в журнал ДОСигИК и нас бы просили быть ее рецензентами, то на что бы мы обратили внимание (кроме тех стандартных требований,

которые сформулированы выше в соответствии с [Козлов, 2014]).

Вот проф. А.В. Смагин в разд. «Объекты и методы» пишет: «Абиотическое выделение и поглощение газов почвой... Оценка интенсивностей этих процессов в первом приближении может производиться в закрытых сосудах с предварительно стерилизованной почвой...». Довольно странно сформулировано: «*может* производиться в ... сосудах с предварительно стерилизованной почвой». А может — и с нестерилизованной? И зачем здесь вообще это «может»? Как эта оценка производилась конкретно в данной работе? Почва стерилизовалась? Тогда почему нигде в статье не описана конкретная методика<sup>9</sup> стерилизации? Или почва не стерилизовалась? Тогда как удалось избежать *биогенных* процессов выделения/поглощения газов? Про стерилизацию образцов для динамического метода совершенно ничего не говорится. Они-то стерилизовались или нет?

Вообще, подобная неконкретность пронизывает почти весь раздел «Объекты и методы».

<sup>9</sup> Вообще говоря, вопрос о методике стерилизации не случаен. В статье совершенно не обсуждается может ли происходить в стерильной почве, например, окисление метана. Но, возможно, при шадящих способах стерилизации, скажем, типа тиндализации, фермент метанмонооксигеназа (катализирующий первичное окисление  $\text{CH}_4$  [Хмеленина и Троценко, 2006, с. 25]), все-таки, останется способен производить окисление  $\text{CH}_4$  даже после гибели клеток.

Тиндализация (дробная стерилизация) используется для обработки субстратов, не выдерживающих температуры выше  $100^\circ\text{C}$ . Дробную стерилизацию проводят текучим паром (без повышения давления) в несколько стадий продолжительностью 30 мин каждая и с интервалами в 24 часа между отдельными стадиями обработки. Если субстрат не выдерживает  $100^\circ\text{C}$ , то стерилизацию проводят, нагревая только до  $60\text{--}75^\circ\text{C}$  и повторяя обработку через каждые 24 часа в течение 5 сут. Стерилизуемые среды в интервале между отдельными стадиями целесообразно помещать в термостат, где прорастание спор ускоряется [Сэги, 1983, с. 28]. Среди метанотрофов встречаются термофилы, способные расти до  $62^\circ\text{C}$ , такие как, например, *Methylocaldum szegedienze* или даже до  $65^\circ\text{C}$ , как *Methylothermus thermalis* (более того был выделен штамм НВ, максимальная температура роста которого составила  $70^\circ\text{C}$ ) [Хмеленина и др, 2006, с. 149, 152]. «Метанмонооксигеназа связанная с мембранами» (рММО) найдена у всех изученных метанотрофов, за исключением представителей рода *Methylocella* [Хмеленина и Троценко, 2006, с. 25]. Следовательно, рММО может работать при температуре, как минимум,  $65^\circ\text{C}$ , а скорее всего и выше (поскольку маловероятно, что температурный предел роста *M. thermalis* определяется денатурацией именно рММО).

Например: «...техника эксперимента сводится к следующему — во флаконе с почвой (сорбция) или жидкой фазой (растворение) создается атмосфера с заданной концентрацией исследуемого газа ( $C_0^g$ ) и далее через определенные интервалы времени определяется оставшееся после поглощения содержание газа в атмосфере флакона ( $C_t^g$ )». Ну что же это такое?! Какую конкретно концентрацию  $C_0^g$  создавал проф. Смагин в своих экспериментах? Через какие конкретно «определенные» интервалы он определял  $C_t^g$ ? Ничего этого в «Объектах и методах» не сообщается.

Далее: «Если объем флакона невелик, в баланс необходимо ввести поправку на изъятие части массы газа с пробой для анализа...». И дается две формулы: одна — с вышеуказанной поправкой, а другая — без таковой<sup>10</sup>. Но не сообщается — при каком конкретно «невеликом» объеме флакона надо такую поправку вводить. И вводил ли ее проф. Смагин в выполненных им экспериментах?

Идем дальше: «Еще одна возможность оценки абиотического поглощения газов почвой возникает в экспериментах с термодесорбцией... Если известно, что к моменту времени  $t$  в свободном объеме флакона накопилось  $C_2^g$  газа, а после быстрой термодесорбции его содержание возросло до  $C_1^g$ , по разности концентраций с учетом объема флакона легко найти массу поглощаемого твердой и жидкой фазами почвы газа...». Как конкретно проводить эту термодесорбцию? Видимо, надо флакон нагреть. Но до какой температуры? Сколько времени? В общем, о *методе* термодесорбции нам раздел «Объекты и *методы*» не сообщает вообще ничего. Правда, непонятно, были ли проф. Смагиным какие-то результаты этой статьи получены при помощи пресловутой термодесорбции или нет. С одной стороны, в самом начале статьи заявляется, что «В настоящем сообщении приводятся разработанные на кафедре физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ методики оценки межфазных взаимодействий газообразных веществ в почвах и некоторые результаты исследований...», а чуть дальше уточняется — что же это за методики: «...1) адсорбционно-статический метод...; 2) динамический метод...». Т. е. термодесорбции, вроде бы, среди заявленных методов нет

<sup>10</sup> Рискнем дать совет. С нашей точки зрения, «Объекты и методы» местами можно было написать лаконичнее. В частности, здесь можно было дать одну формулу — ту, что с поправкой (как более общую, ибо другая получается из нее при стремлении изымаемой массы газа к нулю). Но обязательно надо было дополнить эту формулу расчетом ее погрешности.

(по крайней мере, нет среди тех, для которых было обещано привести «некоторые результаты исследований»); и можно подумать, что она просто упомянута для полноты. Но упомянута-то, ведь, в разд. «Объекты и методы», где, по идее, должны описываться объекты и методы, использованные автором. При необходимости сравнения этих методов с какими-то другими (используемыми другими исследователями или тем же автором, но не в этой статье) такое сравнение обычно делается либо в разд. «Введение» (для априорного обоснования авторского выбора идущих далее методов), либо в разд. «Обсуждение» (если априорный анализ был невозможен или неубедителен, а вот теперь — после получения конкретных результатов — стала очевидной правильность выбора именно таких методов; т. е. в этом случае проводится апостериорное обоснование). Кроме того, сразу после описания «термодесорбционного» метода в разд. «Объекты и методы» читаем следующее: «Рассмотренный выше адсорбционно-статический способ определения изотерм сорбции...». Это можно интерпретировать и так, что «термодесорбционный» метод — это разновидность адсорбционно-статического... В общем, мы можем еще много судить да рядить. А этого быть не должно! Автор все обязан описать максимально конкретно, особенно в разделе «Объекты и методы»!

Дальше в разд. «Объекты и методы» идет конкретный пример расчета для «термодесорбционного» метода: «...пусть после быстрой дегазации концентрация  $\text{CO}_2$  во флаконе с объемом  $V = 10 \text{ см}^3$  увеличилась с 11 до  $18 \text{ г/м}^3$ . Масса сухой почвы (твердой фазы) составила...». Да ведь это же результаты, а не методы! Или это просто условный пример расчета, а объем реальных флаконов у проф. Смагина был вовсе не  $10 \text{ см}^3$ , и концентрация  $\text{CO}_2$  увеличилась не с 11 и не до  $18 \text{ г/м}^3$ ? Кстати, в приводимой для «термодесорбционного» метода формуле, вроде бы, нет поправки «на изъятие части массы газа с пробой для анализа». Значит ли это, что объем флакона  $10 \text{ см}^3$  уже достаточно велик? В общем, опять вопросы, вопросы, вопросы... А разд. «Объекты и методы» должен быть написан так, чтобы никаких вопросов не возникало; чтобы мы вот прямо сейчас могли бы взять и все в точности воспроизвести<sup>11</sup>.

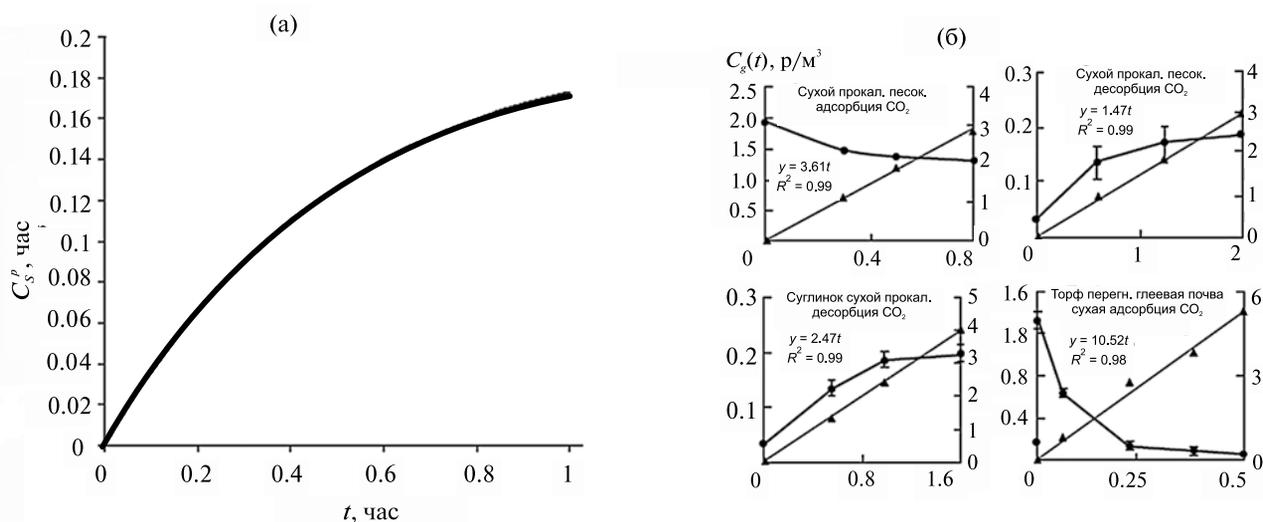
Двигаемся дальше и переходим теперь к динамическому методу определения изотерм

<sup>11</sup> Тем более, что пишем эти строки, находясь именно на том самом стационаре «Плотниково», на котором якобы отбирался торф «низинного и верхового типа заболачивания».

сорбции: «Принципиальное отличие метода от адсорбционно-статического заключается в том, что взаимодействие почвы с газообразным веществом осуществляется не в статичной атмосфере, а в потоке инертного газа-носителя ( $\text{He}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ , воздух), посредством которого адсорбированный газ удаляется из почвы». Это опять фраза не для стандартного раздела «Объекты и методы», а, может быть, для «Введения» или «Обсуждения». Но в «Объектах и методах» должно быть четко написано — какой инертный газ-носитель использовал проф. Смагин конкретно в тех опытах, результаты которых приведены в разбираемой статье.  $\text{He}$ ?  $\text{N}_2$ ?  $\text{Ar}$ ? А может быть воздух? Или в каких-то опытах — один газ, а в каких-то — другой? Нет ответа... Кроме того, даже если не придирается к тому, что с формально-химической точки зрения азот не является инертным газом, и в почве могут находиться азотфиксирующие бактерии, потребляющие азот (наверное, они мало его потребуют и Андрей Валентинович прав, что использовать его в качестве газа-носителя возможно; но все это необходимо обсудить в серьезной статье, а не просто перечислить азот в ряду инертных газов), так вот, даже если не придирается к азоту, то уж воздух-то... Уж хотя бы воздух надо было обсудить — не будет ли, например, кислород воздуха окислять метан (если изучается сорбция метана) или какую-то органику (если изучается  $\text{CO}_2$ ).

Пойдем далее: «...газ носитель с заданной концентрацией исследуемого адсорбата... проходит через образец почвы, адсорбирующей из потока исследуемое вещество. По окончании адсорбционного цикла (насыщении образца) производится десорбция газообразного вещества посредством его удаления (элюции) из почвы потоком чистого газа-носителя... Для определенного насыщения исследуемым газом образец почвы может быть экспонирован на воздухе ( $\text{O}_2$ ) или помещен в ток газа лабораторной горелки ( $\text{CH}_4$ ). Далее образец помещается в поток сухого газа-носителя с целью десорбции исследуемого газообразного вещества». Как конкретно насыщался адсорбатом образец почвы в опытах проф. А.В. Смагина: через него пропускался газ-носитель с заданной (кстати, какой?) концентрацией адсорбата или образец экспонировался на воздухе (или в токе лабораторной горелки)? Сколько времени пропускался? Сколько времени экспонировался? Да и вообще, что из себя представлял образец? Почвенный монолит? Или как-то специальным образом этот образец подготавливался, например, почва просеивалась через сита?

После этого разд. «Объекты и методы» сообщает нам множество подробностей о порта-



**Рис. 1.** Кривые сорбции: а) расчет по уравнению (11); б) часть рис. 2 из работы [Smagin, 2007], где утверждается, что эти экспериментальные данные хорошо описываются уравнением (11).

Примечания: на прямые в данном случае обращать внимание не следует; (б) взято из русскоязычного варианта статьи.

**Fig. 1.** Sorption curves: a) calculation according to equation (11); b) part of fig. 2 was taken from [Smagin, 2007], where it is stated that these experimental data are well described by equation (11).

Note: straight lines are not important for this case; (b) taken from the Russian version of the article. (in case of questions, contact Glagolev)

тивном газоанализаторе ПГА-7. И если выше мы все время сетовали на то, что нам в данной статье не хватает подробностей осуществления проф. А.В. Смагиным его экспериментов, то тут, напротив, мы считаем, что нет смысла превращать научную статью в подобие технической рекламы прибора (тем более, что он уже был описан ранее в [Smagin et al., 2003]). Обычно в статьях указывается название прибора, фирма и страна-изготовитель. Если прибор может работать во множестве режимов, то, конечно, обязательно описывается и конкретный режим работы (справедливости ради: это у Андрея Валентиновича есть — он дает очень полезные сведения по оптимальной скорости газа носителя, подобранной в специальных экспериментах именно с учетом времени отклика прибора). Но зачем указывать, что электропитание прибора осуществляется от встроенных аккумуляторов с максимальным ресурсом работы 16 часов? Ведь очевидно же, что если бы прибор, который планировалось использовать для измерения концентраций  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  при их десорбции из образца почвы, имел бы ресурс работы меньший, чем необходимо, то он бы в данной статье не упоминался, а использовался бы другой прибор, ресурс которого был бы достаточен. Зачем нужны габариты прибора и масса? Это все читатель может посмотреть на сайте изготовителя и продавцов. Или вот это: «В комплект поставки помимо прибора входят устройства для зарядки аккумулятора, а также для ручного ввода газовой пробы в прибор и его продувки с помощью резиновой груши». Ну

неужели кто-то в XXI в. будет производить и поставлять прибор с ресурсом работы 16 часов, не снабдив его устройством для подзарядки!? А эта самая груша? К чему она здесь? Ни до, ни после пресловутая груша больше не упоминается. Она использовалась как-то в экспериментах, описанных в статье? Тогда — как? Не использовалась? Тогда зачем вообще о ней говорить? Ну разве кто-нибудь в статьях, в которых описаны, например, измерения концентрации  $\text{CH}_4$  при помощи портативного хроматографа с пламенно-ионизационным детектором (ПИД) пишет, что хроматограф имел размеры  $40 \times 15 \times 30$  см, весил 10 кг, питался от сети 220 В и кроме ПИДа в его комплект входили не использовавшиеся в описываемой работе катарометр и термохимический детектор?

И вот еще несколько замечаний. **Первое.** В разбираемой статье рис. 1 называется так: «К расчету изотермы сорбции газа по выходной кривой (десорбция  $\text{O}_2$  из низинной торфяной почвы)». Из такого названия, вроде бы, следует, что на рис. нашел отражение лишь процесс десорбции. Да и в тексте сначала на этот рис. автор ссылается следующим образом: «Десорбция регистрируется прибором ПГА-7 в виде выходной кривой (рис. 1)...». Получается, другая часть кривой, отражающая адсорбцию, не регистрируется прибором ПГА-7? Но, похоже, что кривая на рис. 1 охватывает полный адсорбционно-десорбционный цикл (концентрация сначала возрастает до максимума; здесь, вероятно, происходила адсорбция; а потом падает практически до нуля к моменту времени  $t_{11}$  — тут,

безусловно, шла десорбция). И в дальнейшем проф. А.В. Смагин пишет об этой кривой уже иначе: «... $(t_{II} - t_0)$  — отрезок времени, от момента поступления адсорбата в колонку с почвой ( $t_0$ ) до выхода адсорбата из почвенной колонки при десорбции... (рис. 1)».

**Второе.** В самом начале разд. «Результаты и их обсуждение» читаем: «На рис. 2... Экспериментальные данные хорошо аппроксимируются линейной релаксационной моделью кинетики сорбции, аналитическим решением которой служит следующее уравнение...

$$C_S(t) = C_S^p(1 - \exp(-kt)), \quad (11)$$

где кинетическая константа скорости адсорбции (десорбции) газа почвой,  $C_S^p$  — равновесная концентрация газа, адсорбированного твердой фазой. Для определения константы  $k$  необходимо после деления на  $C_S^p$  и вычитания 1 прологарифмировать обе части уравнения... и по тангенсу угла наклона полученной прямой оценить  $k$ ...». Давайте попытаемся это проделать. Прежде всего велено разделить на  $C_S^p$ . Делим:

$$\begin{aligned} C_S(t)/C_S^p &= C_S^p \cdot (1 - \exp(-k \cdot t))/C_S^p \Rightarrow \\ \Rightarrow C_S(t)/C_S^p &= 1 - \exp(-k \cdot t). \end{aligned}$$

Теперь сказано вычесть 1. Вычитаем:

$$\begin{aligned} C_S(t)/C_S^p - 1 &= 1 - \exp(-k \cdot t) - 1 \Rightarrow \\ \Rightarrow C_S(t)/C_S^p - 1 &= -\exp(-k \cdot t). \end{aligned}$$

А теперь «необходимо... прологарифмировать обе части уравнения». Но это же невозможно — ведь предлагается логарифмировать отрицательные числа! Точнее говоря, возможно, конечно, но тогда мы получим мнимые числа<sup>12</sup>. Оставим мнимую адсорбцию для изучения мнимыми учеными, а сами пристальнее взглянемся в уравнение (11). При  $t = 0$  имеем

$$\begin{aligned} C_S(0) &= C_S^p(1 - \exp(-k \cdot 0)) = \\ &= C_S^p(1 - 1) = C_S^p \cdot 0 = 0. \end{aligned}$$

При  $t \rightarrow \infty$  имеем

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} C_S(t) &= \lim_{t \rightarrow \infty} C_S^p(1 - \exp(-kt)) = \\ C_S^p(1 - \exp(-k \cdot \infty)) &= C_S^p(1 - 0) = C_S^p. \end{aligned}$$

Теперь найдем производную:

$$\begin{aligned} dC_S/dt &= d[C_S(1 - \exp(-k \cdot t))]/dt = \\ &= C_S \cdot d[1 - \exp(-k \cdot t)]/dt = \\ &= -C_S \cdot d[\exp(-k \cdot t)]/dt = k \cdot C_S^p \cdot \exp(-k \cdot t) > 0 \end{aligned}$$

<sup>12</sup> Чтобы оставаться в области действительных чисел, нужно либо перед логарифмированием домножить обе части уравнения на -1 (т. е. поменять знак), либо после логарифмирования вычесть из каждого получившегося комплексного числа его мнимую часть (т. е.  $\pi \cdot i$ ).

при  $k > 0$  и  $C_S^p > 0$  (вроде бы, по физическому смыслу эти условия выполняются). Таким образом, математический анализ говорит нам, что  $C_S(t)$  представляет собой функцию, монотонно возрастающую от 0 и асимптотически стремящуюся к  $C_S^p$ . На рис. 1а дан пример такой функции. А на рис. 1б — фрагмент рис. 2 из работы [Smagin, 2007]. Как мы помним, именно экспериментальные данные рис. 2 аттестуются там как хорошо удовлетворяющие линейной релаксационной модели кинетики сорбции, аналитическим решением которой служит уравнение (11). Но, как говорится, «почувствуйте разницу!» (между рис. 1а и 1б). Здесь могут возразить: уравнение (11) дает зависимость  $C_S$  от  $t$ , а на рис. 2 (т. е. у нас это — рис. 1б) приведены кривые  $C_g(t)$ . Но ведь отсылка перед уравнением (11) идет именно к рис. 2. Это запутывает читателя. Раз утверждается, что экспериментальные данные, приведенные на рис. 2 — а это  $C_g(t)$  — хорошо описываются уравнением (11), то и по уравнению этому должна рассчитываться величина  $C_g(t)$ , а не какая-то другая (либо на рис. должна быть та же величина, что и в уравнении).

**Третье.** В конце предпоследней и в начале последней страницы статьи читаем: «...для поглощения... влажным торфом... метана (уравнение Б-4 на рис. 4) —  $KГ = 668 - 0.0124 = 8.3$ ». Очевидно, что  $668 - 0.0124 \approx 668$ , а не 8.3. Но по физическому смыслу, для оценки соответствующей константы Генри надо умножить параметр емкости монослоя на константу Ленгмюра. И действительно, в уравнении Б-4 на рис. 4 в [Smagin, 2007] мы видим знак умножения:  $1982 \times 0.0057$  и  $668 \times 0.0124$ .

Итак, с точки зрения отечественных журналов, статья плохой не является, она является вполне обычной. А вот с точки зрения читателей международных научных журналов, она написана в вопиющем несоответствии с общепринятым стандартом.

3) А.В. СМАГИН: «Но все же рискну привести один расчет из нее, показывающий, как мне кажется, всю важность учета означенных выше взаимодействий для болотного газа».

ОТВЕТ: Если Андрей Валентинович действительно хочет пропагандировать свои взгляды, если хочет, чтобы его идеи (относительно важности сорбции газов почвой) заметили как можно больше серьезных исследователей, то, боюсь, расчет, публикуемый в мало кем читаемом региональном журнале (при том, что ранее аналогичный расчет был опубликован в гораздо более известном журнале «Почвоведение») вряд ли этому поможет. А поможет этому вот что: надо переписать статью в строгом соот-

ветствии со стандартами международных научных журналов и послать в один из них. Почему не опубликовать в каком-либо отечественном? К сожалению, пока (из-за многолетнего несоблюдения общепризнанных в мире стандартов научных публикаций) импакт-факторы почти всех отечественных журналов (по крайней мере, всех тех, которые могли бы принять статью на обсуждаемую тему) оказались достаточно низкими (более того, даже эти низкие значения у некоторых журналов являются результатом искусственного завышения, ибо редакции требуют у части авторов дать в их статьях заранее оговоренное количество ссылок на статьи, опубликованные в этом журнале в последние, например, 5 лет, а это, разумеется, увеличит 5-летний IF журнала). И даже если в таком журнале публикуется статья, удовлетворяющая всем международным стандартам, то иностранные ученые относятся к ней с подозрением, рассуждая примерно так: «Странно — почему же такая (вроде бы, хорошая) статья, опубликована в журнале с таким низким импакт-фактором? Наверное, что-то тут нечисто. Возможно, автор не уверен в своих результатах, поэтому и побоялся послать в хороший журнал. Или еще хуже — знает, что некоторые результаты он подтасовал... Ну тогда и мы пока не будем верить этим результатам, подождем публикации в серьезном журнале». Т. е. иностранцы рассуждают со своей точки зрения. Они (да и наши «продвинутые» исследователи) обычно не посылают свои статьи изначально в плохие журналы, а идут обратным путем — посылают в самый хороший. Если переоценили свои силы и получили из такого журнала отказ в публикации, то спускаются немного вниз по «лестнице» IF журналов и посылают в чуть менее «крутой». И так до тех пор, пока не дойдут до журнала, который согласится статью опубликовать (возможно, после некоторой доработки). Из общения с иностранными авторами мы вынесли стойкое убеждение, что объяснить им нашу отечественную логику («подать в настолько плохой журнал, чтобы точно опубликовали») довольно трудно.

#### Нужен ли учет почвенных межфазных равновесий в климатических моделях?

4) А.В. СМАГИН: «Общая концентрация газа ( $C$ ) в элементарном объеме почвы, фигурирующая в моделях динамики типа [Stepanenko et al., 2011] с учетом межфазных равновесий в первом (линейном) приближении может быть рассчитана по концентрации в почвенном воздухе ( $C_g$ ), согласно уравнению баланса [Смагин, 2005]:

$$C = (P_g + a_{эф} \cdot \rho_b / \rho_l + K \cdot \rho_b / \rho_l) C_g$$

где  $P_g$  — порозность аэрации,  $W$  — весовая влажность почвы,  $\rho_b$ ,  $\rho_s$ ,  $\rho_l$  — плотности почвы, ее твердой и жидкой фаз, аэф,  $K$  — эффективная растворимость и константа Генри для сорбции газа. Нетрудно убедиться, что при низкой пористости аэрации ( $P_g = 0,05-0,1$ ) заболоченных торфяников и плохой растворимости таких газов как кислород и метан ( $a_{эф} = 0,03-0,05$ ) их основное количество будет сосредоточено именно на твердой фазе в адсорбированном виде. Так вклад «свободного» газа в порах аэрации не превысит 0,1, растворенного газа при плотностях торфа 0,2–0,4 г/см<sup>3</sup> —  $0,05 \cdot 0,3/1 = 0,015$ , а доля адсорбированного газа при  $K = 8-11$  и  $\rho_b / \rho_s = 0,1-0,3$  составит не менее 0,8–3, то есть доминирующее значение... У автора нет экспериментальных данных по сорбции метана илистыми донными отложениями, но, думаю, здесь картина будет похожей, исходя из близких удельных поверхностей торфа и ила порядка 300–500 м<sup>2</sup>/г и выше. Поэтому пространственные модели типа [Stepanenko et al., 2011], пренебрегающие фактором сорбции и оперирующие только растворенным и свободным газом, трудно признать обоснованными с физической точки зрения».

ОТВЕТ: Вот тут мы не очень поняли — откуда взялись значения  $K = 8-11$ . О константе Генри в [Smagin, 2007], где приводятся экспериментальные данные, читаем следующее: «...для метана она составила порядка 18 в случае сухого торфа и  $b^{13}$  при увлажнении образца до наименьшей влагоемкости». Следовательно, значения  $K = 8-11$  соответствуют некоторой влажности, меньшей чем наименьшая влагоемкость. Но Stepanenko et al. [2011] моделировали процессы на дне озера. Каким образом там могла обеспечиваться влажность меньше наименьшей влагоемкости? А если же она была существенно больше, то почему проф. Смагин для критики «модели типа [Stepanenko et al., 2011]» выбрал такое странное значение? Не будет ли более правильным выбрать в этом случае  $K < 6$ ? Но не рухнет ли тогда часть аргументации, направленной на критику модели Виктора Михайловича?

<sup>13</sup> Впрочем, в статье [Smagin, 2007] наблюдается некоторый разнобой. Кроме только что процитированного утверждения о значениях константы Генри от 6 (при увлажнении до наименьшей влагоемкости) до 18 (в сухом торфе), там есть еще 2 утверждения с иными значениями. Так, в предпоследней статье «Кратком содержании» о константах Генри органических почв читаем, что они «составляют 8–18 единиц для плохо сорбирующихся газов ( $O_2$ ,  $CH_4$ )». А в конце статьи внезапно появляется это самое значение  $K = 8-11$  без какого-либо обоснования.

Более того, пусть бы даже значительная часть метана была бы адсорбирована на илистых донных отложениях. Но посмотрим, какую цель ставили перед собой Stepanenko et al. [2011, p. 252–253]: «...the aim of this paper is to develop a one-dimensional water column methane transport model coupled to a model of heat and moisture transport and to a biochemical model of the methane cycle... in bottom sediments and in the under lying frozen ground, which would be suitable *for use in climate models*».

Климатические модели призваны рассчитывать динамику природных систем на 100–1000 лет модельного времени [Лыкосов и др., 2012, с. 348; Толстых и др., 2013, с. 10]. Поэтому, приводя результаты моделирования, Stepanenko et al. [2011, p. 258] указывают данные о годовой эмиссии метана (расчет по модели дал 22.59, а наблюдения — 22.69 г · м<sup>-2</sup> · год<sup>-1</sup>). Сильно ли изменится эта величина, если учесть возможную адсорбцию/десорбцию метана в донных отложениях? Нам кажется, что не слишком сильно. Как было показано в [Smagin, 2007], кинетическая константа сорбции во влажных почвах ~1 ч<sup>-1</sup>. Иначе говоря, в масштабе климатических моделей это — процесс сверхбыстрый. За интересующий климатологов расчетный интервал процессы адсорбции/десорбции успеют произойти многократно. Но общая годовая (или вековая) эмиссия будет определяться не этими быстрыми процессами, а гораздо более медленными — как раз теми (типа протаивания талика), которые и моделируются в [Stepanenko et al., 2011]. Таким образом, с нашей точки зрения, эти **авторы достигли именно той цели, которую перед собой ставили — создали модель цикла метана** в донных отложениях и нижележащем мерзлом грунте, сопряженную с моделью тепловлагопереноса и **пригодную для использования в климатических моделях**; учет сверхбыстрых процессов типа адсорбции/десорбции в такой модели не нужен. Конечно, мы можем ошибаться, и было бы лучше, чтобы здесь свое веское слово сказал бы сам Виктор Михайлович. С другой стороны, мы вообще не уверены, что нужно вступать в спор прежде, чем проф. Смагин ответит на такой вопрос: насколько сильно изменится по его оценкам эмиссия за год (10 лет, 100 лет), если учитывать адсорбцию/десорбцию молекул метана в донных отложениях и нижележащем мерзлом грунте.

### Об учете почвенных межфазных равновесий при определении метаногенной активности

5) А.В. СМАГИН: “Использующийся в расчетах «актуальной» метаногенной активности

метод интегрирования по глубине точечных источников, определяющихся по приросту концентрации метана в газовой фазе [Глаголев, 2010], также может существенно занижать реальную интенсивность, если в нем не учитывается сорбция газа твердой фазой...”

ОТВЕТ: Как сильно может занижать? Это важно. Метод измерения актуальной метаногенной активности требует для своей реализации от часов до первых десятков часов. То есть это пересекается с характерными временами сорбции, если верить [Smagin, 2007]. Таким образом, теоретически, здесь какой-то эффект от сорбции может обнаруживаться. Будет интересно, если Андрей Валентинович продемонстрирует величину этого эффекта.

С другой стороны, в [Глаголев, 2010] при измерении актуальной метаногенной активности для конкретных условий летней эмиссии на Бакчарском болоте было получено значение продукции СН<sub>4</sub> (в пересчете на единицы эмиссии) 14 мгС · м<sup>-2</sup> · час<sup>-1</sup>. Там же (а ранее в [Глаголев и др., 2000; Glagolev et al., 2001; Лебедев и др., 2005]) было показано, что в процессе переноса к поверхности почвы происходит потребление метанотрофными микроорганизмами значительной доли СН<sub>4</sub>, которая может составлять от 15–45% (под *Equisetum fluviatile* или *Carex rostrata*) до 55–80% (под *Menyanthes trifoliata* или *Eriophorum vaginatum*). То есть удельный поток метана в этих ассоциациях (если предполагать, что эмиссия — это просто продукция минус окисление метана без учета какой-либо сорбции/десорбции) должен был бы составить, соответственно, от 7.7–11.9 до 2.8–6.3 мгС · м<sup>-2</sup> · час<sup>-1</sup>. В диссертационной работе М.В. Глаголева в разд. «Эмиссия СН<sub>4</sub>: изменчивость в пространстве и влияние факторов среды» (с. 107–113), и в работах [Smagin et al., 2003; Glagolev and Shnyrev, 2007; Наумов, 2009, с. 149; Веретенникова и Дюкарев, 2014] приведены, среди прочих, и многочисленные данные по эмиссии метана с поверхности Бакчарского болота. Очевидно, что они довольно хорошо соответствуют этим интервалам, например, мы видим, что измерения удельного потока в 1997 г.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> В автореферате [Глаголев, 2010] (и в диссертационной работе) встречаются и гораздо большие величины (14–30 мгС · м<sup>-2</sup> · час<sup>-1</sup>), но они относятся только к «экстремальным» годам: с наивысшими уровнями стояния воды и температурами. За период 1995–2010 гг. наиболее «экстремальными» были 1995 и 2002 гг. (в частности, в отдельные периоды вода стояла не только выше поверхности болота, но и выше мостков, расположенных над поверхностью; эти мостки были специально проложены для удобной работы исследователей и в «обычные» годы находились над водой).

в кустарничково-пушицево-сфагновой ассоциации (в данном случае пушица — *Eriophorum vaginatum*) дали значение  $3.3 \pm 0.3$ , в кустарничково-осоково-сфагновой (осока — *Carex rostrata*) — значение  $9.9 \pm 0.4$ , в осоково-вахтово-сфагновой (вахта — *Menyanthes trifoliata*) —  $6.9 \pm 0.1 \text{ мГС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ .

### О метанотрофном окислении при определении метаногенной активности

6) А.В. СМАГИН: «Использующийся в расчетах «актуальной» метаногенной активности метод интегрирования по глубине точечных источников, определяющихся по приросту концентрации метана в газовой фазе [Глаголев, 2010], также может существенно занижать реальную интенсивность, если в нем не учитывается... вероятно еще — метанотрофное окисление».

ОТВЕТ: Насколько существенно? Опять голословное утверждение. Нет, конечно, если вести измерение метаногенной активности, не предприняв, никаких мер предосторожности против параллельно идущего в природе процесса метанотрофного окисления, то значение продукции будет существенно занижаться. Причем для Бакчарского болота мы даже можем указать на сколько: только что выше приводились эти значения для разных растительных ассоциаций, а в среднем — примерно на 50%. Но почему-то проф. Смагин все время обращается к автореферату диссертации М.В. Глаголева (в котором по причине крайней ограниченности объема детали исследования опускаются), а не к самой диссертации, где методика определения «актуальной» метаногенной активности описана подробно. Разумеется вопросу метаноокисления при определении продукции  $\text{CH}_4$  там уделено внимание. В частности, в гл. 3 «Методы исследований» на сс. 61–62 сказано следующее: «...находится распределение мощности источников —  $R_{\text{prod}}(t, z)$ ... при определенных легко реализуемых *in situ* условиях (удаление растений, изоляция исследуемого объема почвы от поступления кислорода из атмосферы и от обмена с окружающей почвой в латеральном направлении) имеем  $R_{\text{prod}}(t, z) \approx \partial [\text{CH}_4]/\partial t - D \cdot \partial^2 [\text{CH}_4]/\partial z^2$ , где  $[\text{CH}_4]$  — концентрация метана в момент времени  $t$  на глубине  $z$ ;  $D$  — эффективный коэффициент диффузии в почве [...; Смагин и Глаголев, 2004]». Таким образом, очевидно, что автор<sup>15</sup> метода прекрасно понимал важ-

ность изоляции системы от доступа кислорода (чтобы метанотрофам было бы просто нечем окислять метан) и предусмотрел в рамках этого метода специальные меры для обеспечения такой изоляции.

И, кстати, обратим внимание на ссылку [Смагин и Глаголев, 2004]. В этой статье дано то же самое описание метода, но кроме этого указано и то, как же технически достигалась в нем изоляция объема почвы от кислорода. Если Андрею Валентиновичу казалось, что предусмотренных в методе мер для прекращения доступа кислорода недостаточно, то почему же он не возражал, когда готовилась статья [Смагин и Глаголев, 2004]? Почему просто не высказал в ней свое отрицательное (или, хотя бы, настроженное) отношение к данному методу или не предложил более надежный метод? А если тогда ему казалось, что метод вполне удовлетворителен, то почему теперь он высказывает озабоченность в отношении занижения интенсивности метаногенеза в [Глаголев, 2010] (и, кстати, вот еще интересный вопрос: почему не высказывает ее в отношении [Смагин и Глаголев, 2004])?

Однако, углубившись в рассуждения о странностях критики проф. Смагина, мы забыли о главном — надо просто попытаться оценить — сколько же времени требуется на исчезновение кислорода из системы (и, следовательно — на прекращение аэробной метанотрофии). Согласно уравнению Трусдейла при, например,  $15^\circ\text{C}$  концентрация кислорода в воде в условиях насыщения составит  $9.76 \cdot 10^{-3} \text{ мг/см}^3$  [Pirt, 1978]. В болоте, однако, вода вряд ли будет насыщена кислородом (хотя для самого верхнего слоя условия насыщения, вероятно, можно принять). Почвенно-физические исследования, выявили наличие в толще торфа слоев с высоким содержанием газовой фазы (до 20% по объему) на тех глубинах, которые обычно относились к «метаногенному горизонту». Хроматографический анализ обнаружил необычно высокое содержание кислорода в этих слоях: 5–9% [Глаголев и др., 2000]<sup>16</sup>, для дальнейших расчетов мы будем использовать среднее значение 7%. Объем газовой фазы возрастал примерно линейно с глубиной, и в слое 0–30 см, охватываемом пробоотборниками метода измерения метаногенной активно-

<sup>16</sup> В дальнейшем более точные исследования показали, что кислорода там в разы меньше. Но мы специально используем эту предварительную публикацию (тезисы конференции), поскольку среди ее авторов как раз присутствует Андрей Валентинович, который в значительной мере и осуществлял эти почвенно-физические исследования (следовательно, уменьшается вероятность того, что он будет оспаривать их результаты).

<sup>15</sup> Точнее говоря, не «автор», а «авторы», поскольку описываемый метод (в его лабораторной версии) был разработан в соавторстве с С.В. Каспаровым и О.И. Минько [Орлов и др., 1987], а в полевой — с Н.С. Паниковым.

сти (ПроМИМА), в среднем составлял 2.5%. Точный подсчет количества кислорода требует рассмотрения равновесия концентраций  $O_2$  в жидкости и в газовой фазе, а также учет зависимости доли газовой фазы и содержания в ней кислорода от глубины. Но для нашей приближенной оценки мы ограничимся крайне упрощенным подходом: будем считать, что концентрация кислорода в воде падает от насыщения практически до 0, а средняя концентрация в слое, таким образом, составляет, половину от концентрации насыщения:  $4.88 \cdot 10^{-3}$  мг/см<sup>3</sup>. Поскольку объем, в который при измерениях прекращался доступ воздуха, составлял примерно 10 л =  $10^4$  см<sup>3</sup>, то, считая, что твердая фаза составляла в среднем 7.5%, получаем, что кислорода в жидкой фазе было  $10^4 \cdot (1 - 0.025 - 0.075) \cdot 4.88 \cdot 10^{-3} \approx 44$  мг. Нужно еще учесть количество кислорода в газовой фазе. Ее объем составляет  $10^4 \cdot 0.025 = 250$  см<sup>3</sup>. Учитывая, что в этом объеме только 7%  $O_2$ , получаем, массу кислорода 25 мг. Итак, при установке ПроМИМА в болото (начало эксперимента) в пробоотборнике имеется примерно 69 мг  $O_2$ . А какова скорость потребления кислорода почвой? В [Смагин, 2005, с. 109] находим данные для интенсивности выделения  $CO_2$  болотной низинной торфяно-глеевой почвой в полевом опыте (в слое 0–40 см): в среднем 5.3 мг/кг/час<sup>17</sup>. Такая интенсивность выделения  $CO_2$  должна обеспечиваться средним потреблением кислорода 3.9 мг/кг/час (если принять, что образование  $CO_2$  за счет потребления  $O_2$  происходит в эквимолярном количестве). Там же приводятся данные непосредственно для поглощения кислорода перегнойно-торфяной низинной освоенной почвой в лабораторном опыте: в слое 0–30 см в среднем 6.1 мг/кг/час. Таким образом, в качестве типичного значения можно принять 5 мг/кг/час. Конечно, эти данные, полученные для низинных болот, при точном расчете нельзя было бы напрямую переносить на почву переходного болота, где мы вели наши измерения «актуальной» метаногенной активности. Но поскольку речь идет лишь о порядке величины, то, думаем, такая экстраполяция, все же, допустима. Кстати, сразу оговорим еще одно приближение. Поскольку плотность почвы мезотрофного болота в период наших измерений можно было считать близкой к 1 г/см<sup>3</sup>, то в расчете на объем потребление кислорода составит  $5 \cdot 10^{-3}$  мг/см<sup>3</sup>/час. Если бы потребление кислорода шло с такой скоростью,

<sup>17</sup> Проф. Смагин дает размерность «мг/кг · час», но это, конечно, очевидная ошибка, учитывая, что в математике арифметические действия деления и умножения имеют одинаковый приоритет.

то из 10-литрового ПроМИМА кислород бы удален примерно за  $69 / (5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^4) \approx 1.4$  час. Однако обратим внимание на следующее обстоятельство. Смагин [2005, с. 111] указывает, что биогенное поглощение газов в значительной мере контролируется влажностью, причем соответствующая функция имеет максимум при оптимальных для биологической активности параметрах влажности. С этим нельзя не согласиться. Но вот конкретизация этой функции представляется нам не совсем верной. А.В. Смагин [2005, с. 112] предполагает, что в состоянии полного насыщения скорость деструкции должна обращаться в ноль (соответственно, в ноль будет обращаться потребление кислорода). Это, конечно, не так<sup>18</sup>. Впрочем, учитывая, что, как было сказано выше, почвенно-физические исследования, выявили в толще торфа наличие слоев с высоким содержанием газовой фазы, составной частью которой был кислород, говорить о полной остановке процесса деструкции органики и поглощения  $O_2$ , в любом случае, не приходится. Но, разумеется, скорость деструкции снижается (хотя и не до нуля!) по сравнению с аэробными условиями. Van der Linden et al. [1987] построили зависимость «rate reduction factor» от влажности, которая дает для условий полного насыщения коэффициент 0.4 (а при нулевой влажности, как и у Смагина, ноль). Из сказанного выше следует, что в рассматриваемом случае полного насыщения не достигается, поэтому коэффициент должен быть несколько больше, но для нашего приближенного расчета оставим значение 0.4. Следовательно, время, за которое будет поглощен кислород из ПроМИМА, составит  $1.4 / 0.4 = 3.5$  час. Но измерения и велись с учетом этого! После установки ПроМИМА первая проба отбиралась лишь через несколько часов (в дальнейшем пробы отбирались каждые 2 часа обычно в течение рабочего дня или суток). Честно говоря, при разработке метода мы предлагали оставлять этот «лаг-период» не столько исходя из вышеприведенной оценки времени исчерпания кислорода, сколько из представлений о неизбежных возмущениях, которые влечет за собой установка в болото ПроМИМА; и, следовательно, необходимо некоторое время для того, чтобы они нивелировались. Теория предсказывала, что если

<sup>18</sup> Если бы это было так, как предполагает проф. Смагин, то не нужны были бы никакие холодильники и прочие придуманные человечеством способы сохранения продуктов (типа соления, маринования и др.) — достаточно было бы залить продукт прокипяченной водой, после чего изолировать от доступа кислорода, и он бы не разлагался.

все предположения, лежащие в основе метода определения «актуальной» метаногенной активности выполняются, то концентрация метана будет нарастать со временем практически линейно (по крайней мере, в пределах точности пробоотбора и измерений). В реальности длительный линейный участок начинался как раз через несколько часов (обычно — через 2–3) после установки ПроМИМА в болото.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарны редакции ДОСигИК, согласившейся направить данную статью на рецензирование в обычном порядке, хотя она и была подана в раздел «Дискуссии», для которого рецензирование не предусмотрено.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Веретенникова ЕЭ, Дюкарев ЕА, 2014. Эмиссия метана торфяными залежами олиготрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири. В: Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее, Новосибирск. [Veretennikova E, Dyukarev E, 2014. Methan emission from peatlands of taiga zone of West Siberia. In: Torfyaniki Zapadnoy Sibiri i tsikl ugleroda: proshloe i nastoyashchee, Novosibirsk (In Russian)].
2. Глаголев МВ, 2010. Эмиссия CH<sub>4</sub> болотными почвами Западной Сибири: от почвенного профиля до региона [автореферат дис.] Москва: 24 с. [Glagolev MV, 2010. Emissiya CH<sub>4</sub> bolotnymi pochvami Zapadnoy Sibiri: ot pochvennogo profilya do regiona. [synopsis of a dissertation] Moscow: 24 pp. (In Russian)].
3. Глаголев МВ, Лебедев ВС, Смагин АВ, Ерохин ВЕ, Оленев ПВ, Большаков ЕА, Ножевникова АН, 2000. Окисление метана в болотах Западной Сибири (на примере Большого Васюганского Болота). В: Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии, Пушино. [Glagolev MV, Lebedev VS, Smagin AV, Erokhin VE, Olenev PV, Bol'shakov EA, Nozhevnikova AN, 2000. Methane Oxidation in Mires of West Siberia (on Example of Bolshoje Vasjuganskoe Mire). In: Emission and Sink of Greenhouse Gases on the Northern Eurasia Territory, Pushchino].
4. Глаголев МВ, Клепцова ИЕ, Казанцев ВС, Филиппов ИВ, Максютов СС. 2010. Эмиссия метана из болотных ландшафтов тундры Западной Сибири. Вестник ТГПУ. 3:78–86. [Glagolev MV, Kleptsova IE, Kazantsev VS, Filippov IV, Maksyutov SS, 2010. Methane emission from West Siberian tundra mires. Tomsk State Pedagogical University Bulletin 3:78–86 (In Russian)].
5. Глаголев МВ, Сабреков АФ, Терентьева ИЕ, 2017. Ответ А.В. Смагину: IV. Поверхностная диффузия или случайный шум? Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 1:55–65. [Glagolev MV, Sabrekov AF, Terentieva IE, 2017. Surface diffusion or random noise? Environmental dynamics and global climate change 1:55–65 (In Russian)].
6. Евдокимов ИВ, Ларионова АА, 2015. Соображения к дискуссии, предложенной А.В. Смагиным. Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата 1:36–38. [Evdokimov IV, Larionova AA, Soobrazheniya k diskussii, predlozhennoy A.V. Smaginyim. Environmental dynamics and global climate change 1:36–38.]
7. Козлов МВ, 2014. Планирование экологических исследований: теория и практические рекомендации. Товарищество научных изданий КМК, Москва, 171 с. [Kozlov MV, 2014. Planirovanie Ekologicheskikh Issledovaniy: Teoriya i Prakticheskie Rekomendatsii. Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, Moscow: 171 pp. (In Russian)].
8. Коровицкий СА, Тоцкая АА, 2017. Процессы сорбции и десорбции метана и углекислого газа почвами. В: Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки, Омск. [Korovitskiy SA, Totskaya AA, 2017. Protsessy sorbtsii i desorbtsii metana i uglekislogo gaza pochvami. In: Problemy, perspektivy i napravleniya innovatsionnogo razvitiya nauki, Omsk. (In Russian)].
9. Курганова ИН, Кудеяров ВН, 2015. Возможен ли значительный положительный дисбаланс круговорота углерода (сток) на территории России? Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 1:32–35. [Kurganova IN, Kudeyarov VN, 2015. Vozmozhen li znachitel'nyj polozhitel'nyj disbalans krugovorota ugleroda (stok) na territorii Rossii? Environmental dynamics and global climate change 1:32–35. (In Russian)].
10. Лапина ЛЭ, 2015. Ответ А.В. Смагину. Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 1:39–41. [Lapina LE, 2015. Otvet A.V. Smaginu. Environmental dynamics and global climate change 1:39–41. (In Russian)].
11. Лебедев ВС, Глаголев МВ, Ерохин ВЕ, Иванов ДВ, 2005. Изменение изотопных параметров болотных газов при транспорте из очагов генерации в атмосферу (на примере болота в Западной Сибири). Геоинформатика. 2:34–42. [Lebedev VS, Glagolev MV, Erokhin VE, Ivanov DV, 2005. Changes in the isotopic parameters of marsh gases during gas migration from generation centers to atmosphere (by the example of West Siberia). Geoinformatika. 2:34–42 (In Russian)].
12. Лыкосов ВН, Глазунов АВ, Кулямин ДВ, Мортиков ЕВ, Степаненко ВМ, 2012. Суперкомпьютерное моделирование в физике климатической системы. Изд-во МГУ, Москва: 408 с. [Lykosov VN, Glazunov AV, Kulyamin DV, Mortikov EV, Stepanenko VM, 2012. Supercomputer Modeling in Physics of the Climate System. Moscow State University Press, Moscow: 408 pp. (In Russian, English abstract)].
13. Молчанов АГ, 2017. Газообмен диоксида углерода с поверхности сфагнома в заболоченном сосняке южной тайги. Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 1:43–54. [Molchanov AG, 2017. Gas exchange of carbon dioxide from the surface of Sphagnum in boggy pine forests in southern taiga. Environmental dynamics and global climate change 1:43–54 (In Russian, English abstract)].
14. Наумов АВ, 2009. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Изд-во СО РАН, Новосибирск: 208 с. [Naumov AV, 2009.

- Soil Respiration: Constituents, Ecological Functions, Geographic Patterns. SB RAS Publishing House., Novosibirsk: 208 pp. (In Russian, English abstract)].
15. Орлов ДС, Минько ОИ, Аммосова ЯМ, Каспаров СВ, Глаголев МВ, 1987. Методы исследования газовой функции почвы, с. 118–156 В: А.Д. Воронин и Д.С. Орлов (ред.), Современные физические и химические методы исследования почв. Москва: Изд-во МГУ. [Orlov DS, Min'ko OI, Ammosova YaM, Kasparov SV, Glagolev MV, 1987. Metody issledovaniya gazovoi funktsii pochvy, p. 118–156 In: A.D. Voronin and D.S. Orlov (eds.), *Sovremennye Fizicheskie i Khimicheskie Metody Issledovaniya Pochv*, Moscow: Izd-vo MGU. (In Russian)].
  16. Пихоя РГ, 2007. Москва. Кремль. Власть. Сорок лет после войны, 1945–1985. Русь–Олимп: Астрель: АСТ, Москва: 715 с. [Pikhoya RG, 2007. Moskva. Kremli'. Vlast'. Sorok Let Posle Voiny, 1945–1985. Rus'-Olimp: Astrel': AST, Moscow: 715 pp. (In Russian)].
  17. Смагин АВ, Глаголев МВ, 2004. Современные полевые методы изучения газовой функции болотных почв. В: Болота и биосфера, Томск. [Smagin AV, Glagolev MV, 2004. Modern field methods for study of gas-function of wetland soils. In: *Mires and the Biosphere*, Tomsk (In Russian, English abstract)].
  18. Смагин АВ, 2005. Газовая фаза почв. Изд-во МГУ, Москва: 301 с. [Smagin A, 2005. The Gaseous Phase of Soils. Moscow St. Univ. Soil Sci. Dept., Moscow: 301 pp. (In Russian)].
  19. Смагин АВ, 2000. Значение процессов массопереноса и межфазных взаимодействий парниковых газов при определении их продуцирования в почвах. В: Эмиссия и сток парниковых газов на территории Северной Евразии, Пушино. [Smagin A, 2000. Significance of mass exchange and phase interactions of greenhouse gases in estimation of their production in soils. In: *Emission and Sink of Greenhouse Gases on the Northern Eurasia Territory*, Pushchino.]
  20. Смагин АВ, 2015. Дискуссионные вопросы теории парникового эффекта и газообмена почвы с атмосферой, с. 123–161 В: Шоба СА и Ковалева НО (ред.), Экологическое почвоведение: этапы развития, вызовы современности. К 100-летию Глеба Всеволодовича Добровольского, Москва: ГЕОС. [Smagin A, 2015. Discussion questions of greenhouse effect theory and soil gas exchange with the atmosphere, p. 123–161 In: Shoba SA and NO Kovaleva (eds.), *Ekologicheskoe Pochvovedenie: Etapy Razvitiya, Vyzovy Sovremennosti. K 100-Letiyyu Gleba Vsevolodovicha Dobrovol'skogo*, Moscow: GEOS (In Russian, English abstract)].
  21. Сэги Й, 1983. Методы почвенной микробиологии. Колос, Москва: 296 с. [Segi I, 1983. Metody Pochvennoy Mikrobiologii. Kolos, Moscow: 296 pp. (In Russian)].
  22. Толстых МА, Ибраев РА, Володин ЕМ, Ушаков КВ, Калмыков ВВ, Шляева АВ, Мизяк ВГ, Хабеев РН, 2013. Модели глобальной атмосферы и Мирового океана: алгоритмы и суперкомпьютерные технологии. Изд-во МГУ, Москва: 144 с. [Tolstykh M, Ibrayev R, Volodin E, Ushakov K, Kalmykov V, Shlyayeva A, Mizyak V, Khabeev R, 2013. *Global Atmosphere and World Ocean Models: Algorithms and Supercomputing Technologies*. Moscow State University Press, Moscow: 144 pp. (In Russian with English Abstract (In Russian))].
  23. Хмеленина ВН, Ешинимаев БЦ, Решетников АС, Сузина НЕ, Троценко ЮА, 2006. Аэробные метанотрофы экстремальных экосистем, с. 147–171 В: В.Ф. Гальченко (ред.) К 100-летию открытия метанотрофии. Москва: Наука. [Kmelena VN, Esinimaev BT, Suzina NE, Reshetnikov AS, Trotsenko YuA, 2006. Aerobic methanotrophs of extreme environments, p. 147–171 In: V.F. Galchenko (ed.), *To 100th Anniversary of Methanotrophy*, Moscow: Nauka (In Russian, English abstract)].
  24. Хмеленина ВН, Троценко ЮА, 2006. Особенности метаболизма облигатных метанотрофов, с. 24–44 В: В.Ф. Гальченко (ред.) К 100-летию открытия метанотрофии. Москва: Наука. [Kmelena VN, Trotsenko YuA, 2006. Metabolic peculiarities of obligate methanotrophs, p. 24–44 In: Galchenko VF (ed.), *To 100th Anniversary of Methanotrophy*, Moscow: Nauka (In Russian, English abstract)].
  25. Шевченко ЕМ, Смагин АВ, 2000. Кинетика сорбции углекислого газа поверхностью модельных пористых сред, с. 122–123 В: Эмиссия и сток парниковых газов на территории Северной Евразии, Пушино. [Shevchenko EM, Smagin AV, 2000. The kinetics of carbon dioxide sorption by model porous media's surface, p. 123 In: *Emission and Sink of Greenhouse Gases on the Northern Eurasia Territory*, Pushchino.]
  26. Ambus P, Robertson GP, The effect of increased N deposition on nitrous oxide, methane and carbon dioxide fluxes from unmanaged forest and grassland communities in Michigan. *Biogeochemistry*. 79:315–337. doi: 10.1007/s10533-005-5313-x
  27. Awasthi KD, Sitaula BK, Singh BR, Bajracharya RM, 2005. Fluxes of methane and carbon dioxide from soil under forest, grazing land, irrigated rice and rainfed field crops in a watershed of Nepal. *Biol Fertil Soils*. 41:163–172. doi: 10.1007/s00374-004-0825-4
  28. Field RJ, Burger M, editors, 1985. *Oscillations and Traveling Waves in Chemical Systems*. John Wiley and Sons, New York.
  29. Glagolev M.V., Smagin A.V., Lebedev V.S., Shnyrev N.A. 2001. Generation, mass-transfer and transformation of methane in a peatland (on example of Bakcharskoe wetland) // Васильев С.В., Титлянова А.А., Величко А.А. (ред.). Материалы международного полевого симпозиума "Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее" (г. Ноябрьск, 18–22 августа 2001 г.). Новосибирск: ООО «Агентство Сибпринт». С. 79–81. [Glagolev MV, Smagin AV, Lebedev VS, Shnyrev NA, 2001. Generation, mass-transfer and transformation of methane in a peatland (on example of Bakcharskoe wetland). In: *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present*, Noyabr'sk].
  30. Glagolev MV, Shnyrev NA, 2007. Dynamics of methane emission from natural wetlands in the summer and fall seasons (case study in the south of Tomsk oblast). *Moscow university soil science bulletin*. 62:7–14. doi: 10.3103/s0147687407010024

31. Liu J, Fa K, Zhang Y, Wu B, Qin S, Jia X, 2015. Abiotic CO<sub>2</sub> uptake from the atmosphere by semiarid desert soil and its partitioning into soil phases. *Geophys. Res. Lett.* 42:5779–5785. doi: 10.1002/2015gl064689
32. Liu J, Feng Y, Zhang Y, Jia X, Wu B, Qin S, Fa K, Lai Z, Abiotic CO<sub>2</sub> exchange between soil and atmosphere and its response to temperature. *Environ. Earth Sci.* 73:2463–2471. doi: 10.1007/s12665-014-3595-9
33. Panikov NS, Blagodatsky SA, Blagodatskaya JV, Glagolev MV, 1992. Determination of microbial mineralization activity in soil by modified Wright and Hobbie method. *Biology and Fertility of Soils.* 14:280–287. doi: 10.1007/bf00395464
34. Pirt SJ, 1975. *Principles of Microbe and Cell Cultivation.* Blackwell Scientific Publications, Oxford.
35. Schlesinger WH, 2016. An evaluation of abiotic carbon sinks in deserts. *Global Change Biology.* 23:25–27. doi: 10.1111/gcb.13336
36. Smagin AV, 2007. Abiotic uptake of gases by organic soils. *Eurasian Soil Science.* 40:1326–1331. doi: 10.1134/s1064229307120095
37. Smagin AV, Glagolev MV, Suvorov GG, Shnyrev NA, 2003. Methods for studying gas fluxes and the composition of soil air in field conditions using a portable PGA-7 gas analyzer. *Moscow University Soil Science Bulletin* 58:26–35.
38. Stepanenko VM, Machul'skaya EE, Glagolev MV, Lyksov VN, 2011. Numerical Modeling of Methane Emissions from Lakes in the Permafrost Zone. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics.* 47:252–264. doi: 10.1134/s0001433811020113
39. Van der Linden AMA, Van Veen JA, Frissel MJ, 1987. Modelling soil organic matter levels after long-term applications of crop residues, and farmyard and green manures. *Plant and Soil.* 101:21–28. doi: 10.1007/bf02371026

Received: 19.04.2018

Revised: 15.11.2018

Accepted: 20.06.2019

