

# БОЛОТА И БИОСФЕРА

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
ДЕСЯТОЙ ШКОЛЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ



17–21 сентября 2018 г.

УДК 551.0+556.56  
ББК 26.222.7+28.081.8  
Б79

Научный редактор:

доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, проф. **Л.И. Инишева**

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **Н.В. Гревцев**,  
кандидат технических наук **С.М. Новиков**

**Болота и биосфера:** материалы Всероссийской с международным участием X школы молодых ученых (17-21 сентября 2018 г., г. Тверь) / ФГБОУ ВО «Томский государственный педагогический университет»; ФГБОУ ВО «Тверской технический университет»; Докучаевское общество почвоведов. – Тверь, ООО «Научоемкие технологии», 2018, - 311 с.: ил.

**ISBN 978-5-89428-865-9**

Сборник включает в себя избранные лекции ведущих специалистов и материалы молодых ученых по исследованию современного заболачивания ландшафтов, физико-химическим и биологическим свойствам болотных образований и нанотехнологии переработки болотных ресурсов; антропогенному влиянию на болотные экосистемы, перспективам развития в России торфяной промышленности. Сборник может быть рекомендован для студентов, аспирантов, научных сотрудников, преподавателей естественнонаучных специальностей.

The collection includes the elected lectures of leading specialist and materials of the young scientists working in district research of the landscape peat formation, physic-chemical and biological productivity of peat formation, and the nanotechnology of conversion of peat resources, the antropogenic influence on mire ecosystems, the perspective development of peat industry. The collection could be recommend for the students, post-graduate students, researches, teachers of naturally – scientific specialities.

УДК 551.0+556.56  
ББК 26.222.7+28.081.8

**ISBN 978-5-89428-865-9**

© Авторский коллектив, 2018  
© ТГПУ, 2018

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ К ДИСКУССИОННЫМ ВОПРОСАМ ПО ГАЗООБМЕНУ БОЛОТ И АТМОСФЕРЫ

А. В. Смагин

МГУ им. М.В. Ломоносова, ИЛАН РАН, РУДН, г. Москва, Россия  
e-mail: [smagin@list.ru](mailto:smagin@list.ru)

*Обсуждаются дискуссионные вопросы по методологии оценки регионального углеродного баланса и газовой функции болот по отношению к атмосфере. Критически анализируется положение о большом углеродном дисбалансе на территории России. В связи с наличием в обводненной толще торфяников преимущественных газовых потоков конвективной природы подвергается сомнению адекватность методологии оценки газовой функции болот на базе камерно-статических (локальных) измерений газовых эмиссий по элементам болотного ландшафта с последующей экстраполяцией на большие площади с помощью ГИС-технологий. Анализируются роль сорбции газов в их депонировании и транспорте в торфяной залежи, а также вопросы математического моделирования в связи с оценкой газообмена с атмосферой.*

### Введение

Публикация автором работ [1, 2] по спорным вопросам газообмена почв и атмосферы, а также защищенная под его руководством в МГУ им. М.В. Ломоносова кандидатская диссертация Н.А. Шнырева «Режимные наблюдения и оценка газообмена на границе почвы и атмосферы (на примере потоков метана стационара среднетаежной зоны Западной Сибири «Мухрино»)» [3], отраженная в наших статьях [4-8] вызвали в научном сообществе оживленную дискуссию на страницах югорского журнала «Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата» (ДОСиГК) [9-18]. По не зависящим от него причинам автор не мог долгое время высказать публично ответное мнение по суждениям, замечаниям и критике, прозвучавшим в данных публикациях, и сейчас осуществляет это, пользуясь трибуной представительного научного форума в виде X Всероссийской школы «Болота и биосфера» с международным участием, надеясь, что круг обсуждаемых методологических проблем будет интересен и полезен не только для опытных специалистов, но и для молодых участников и слушателей школы. В рамках научной публикации неуместно комментировать вопросы этики и стиля полемики, затронутые в развернувшейся на страницах ДОСиГК дискуссии, но автор считал [1] и продолжает считать, что примеры эпотажного, выходящего за рамки корректности, недоброжелательного и зачастую бессодержательного *разглагольствования*, демонстрируемые в полемике главным редактором журнала и его молодыми коллегами [11-17], неприемлемы для научного издания и чужды понятию интеллигента. Переходя к существу дела, обозначим для новых читателей и скорректируем для участников дискуссии в связи с ее развитием перечень спорных вопросов и положений по газообмену почв и атмосферы.

### Дискуссионные методологические вопросы газообмена

1. Адекватно ли отражает поверхностная эмиссия углеродсодержащих газов их продуцирование в почве и соответствующую диссимилиационную компоненту С-цикла?
2. Значительный положительный дисбаланс круговорота углерода (сток) на территории России доказанный факт или методологический артефакт?
3. Значение и физические механизмы внутрпочвенной межфазной аккумуляции и преимущественных (локальных, сезонно-периодических) газовых потоков (выбросов газов) в формировании газовой функции болотных ландшафтов; надо ли и как их учитывать?
4. Адекватна ли для оценки газообмена болот с атмосферой методика камерно-статического замера потоков по элементам ландшафта с последующей ГИС-экстраполяцией и полученная на ее основе оценка вклада западносибирских болот РФ в глобальную эмиссию метана?
5. Качество простых распределенных моделей динамики газов в ветландах и методы оценки газообмена на их основе: результативность или дезинформация?

### Обсуждение результатов и мнений.

По первым двум вопросам приведенного выше списка откликнулось наибольшее количество специалистов [9,10,12-14,18]. В работе [10] содержится четкая формулировка по существу базового для оценки газообмена почв и атмосферы методологического положения: «для сезонного и годового временных интервалов кумулятивная эмиссия парниковых газов (с поверхности) приближается к их продуцированию (в объеме почвы)». Тем самым, изучая эмиссию С-газов с поверхности, мы в состоянии адекватно оценить диссимилиационную компоненту углеродного цикла на данной территории после разделения полученных данных по дыханию почв на микробную и корневую составляющие, как это принято в подавляющем большинстве современных работ. На наш взгляд, это весьма спорное утверждение. Ключевая проблема заключается в том, что динамическая почвенная система по большей части *функционирует в нестационарном режиме*, аккумулируя в своем объеме и выделяя в атмосферу С-газы, причем не только с верхней границы. Рассмотрим данные [19] по численному моделированию газового профиля (аккумуляции биогенного CO<sub>2</sub>) в автоморфной дерново-подзолистой суглинистой почве с типичной величиной эффективного коэффициента диффузии в 100 см<sup>2</sup>/ч, характерного для пористости аэрации порядка 40% (**рис. 1-А**). Как видно, после биологической паузы (зимний сезон) выход на стационарное состояние, при котором поверхностная эмиссия и гросс продуцирования газа всей почвенной толщей становятся равными, занимает срок не менее 1 месяца. Вероятные в весенний и ранне-летний период мощные ливневые осадки будут резко нарушать такое равновесие с фактически мгновенным вытеснением аккумулированного и адсорбированного газа в атмосферу [20], что большинством исследователей, по-видимому, необоснованно воспринимается лишь как однозначная стимуляция биологической активности почвы

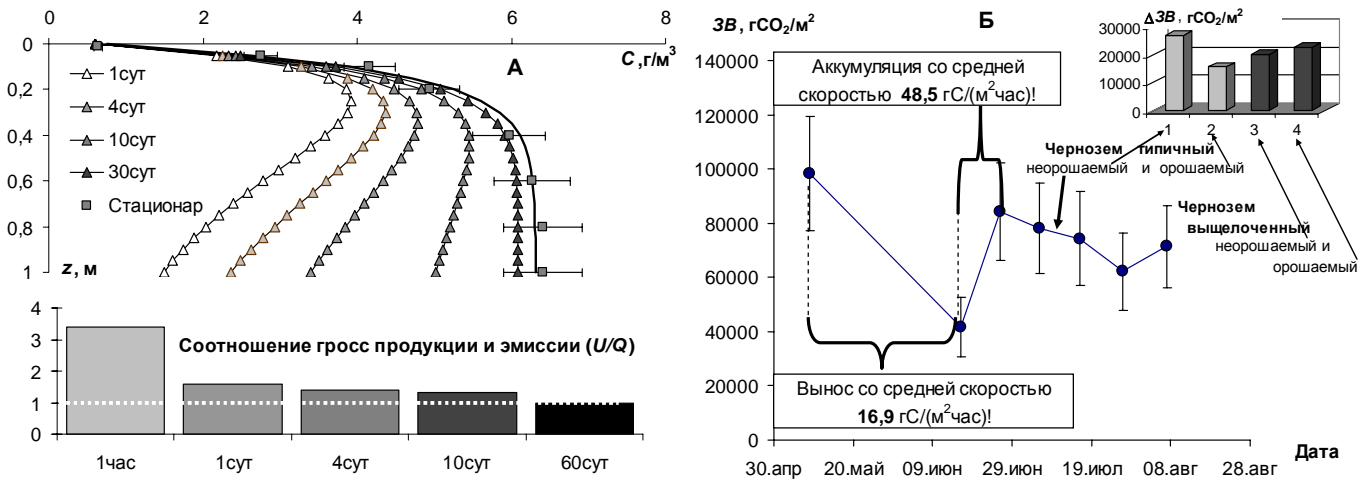


Рис.1. Нестационарные внутрипочвенные процессы газовой динамики: **А** – развитие газового профиля после зимы и аккумуляция  $\text{CO}_2$  в 1м толще дерново-подзолистой почвы [19]; **Б** – аккумуляция и вынос  $\text{CO}_2$  карбонатов из 1,5 м толщи черноземов по данным [23].

$C$ ,  $\text{г}/\text{м}^3$  – концентрация  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе,  $\text{ЗВ}$ ,  $\text{г}/\text{м}^2$  – запасы  $\text{CO}_2$  карбонатов.

(«эффект Берча» по [21]). Вслед за этим наступает новая релаксация к равновесию, растянутая во времени, и так может повторяться много раз за сезон. По аналогии и разгрузка газа, аккумулированного в почвенной толще, заметим, не только в почвенном воздухе, но и в находящихся с ним в равновесии двух других физических фазах почвы, при наступлении зимних холодов и подавлении биологической активности будет осуществляться также долго. Для автоморфных почв с глубоким залеганием уровня грунтовых вод и очень большим объемом, способным вмещать газ, вообще нет уверенности, что посезонный цикл аккумуляции (весна-лето) и разгрузки (осень-зима) обеспечивает выход за год всего накопленного газа, и что часть его, стекая в глубокие горизонты не депонируется там на более долгий чем 1 год время. В этой связи отдельного внимания заслуживает конвективный механизм гравитационного стекания  $\text{CO}_2$  в почвах (рыхлых отложениях), приводящий к стоку из атмосферы и из почвенного воздуха верхних, обогащенных источниками слоев, вглубь почвы. Данный механизм четко подтверждается опытами с вертикально и горизонтально расположенными почвенными колоннами [19], но до сих пор не имеет должного количественного описания и учета в почвенных моделях. По-видимому именно он, и в меньшей мере подземные биодеструкционные и хемосинтетические процессы, приводят к значительному (3-10 %) и выше, согласно [22]) содержанию  $\text{CO}_2$  в воздухе некоторых пещер, штолен и глубинных вертикальных колодцев. Важно, что гравитационный сток  $\text{CO}_2$  в газовой и жидкой фазах почвы продолжается и при нулевых градиентах концентрации, часто формирующихся в почве с глубиной и формально дающих в обычных моделях с диффузией нулевой перенос.

Наряду с периодической аккумуляцией биогенного  $\text{CO}_2$  в составе почвенного воздуха, жидкой и твердой фаз внутри большого объема автоморфных почв и подстилающих их

рыхлых отложений, вероятны механизмы периодического стока и выделения (выноса), связанные с сезонной трансформацией этого газа при растворении и последующих реакциях карбонатно-кальциевого равновесия. На **рис. 1-Б** приведены обработанные нами данные [23] по послойной (через 10 см) динамике  $\text{CO}_2$  карбонатов черноземов, демонстрирующие крайне высокие значения сезонных изменений запасов в 1,5 метровой толще до 30-60  $\text{кг}/\text{м}^2$  с расчетными скоростями выноса/аккумуляции в 20-50  $\text{гС}/(\text{м}^2\text{час})$ , что значительно выше регистрируемых в таких почвах эмиссионных потоков, обычно не больше 1  $\text{гС}/(\text{м}^2\text{час})$ . Поскольку меняются суммарные запасы во всем объеме, это не может быть внутренним перераспределением карбонатов, а характерная глубина промачивания в таких почвах при осадках порядка 600-650 мм, не превышающая 170-180 см [24], на наш взгляд, исключает значительное удаление углерода карбонатов в форме растворов с глубины 150 см в нижележащую толщу или возврат из нее с восходящими токами влаги. Итоговый дисбаланс за сезон (до 90 дней) получается отрицательным (удаление  $\text{CO}_2$  из 1,5 метровой толщи) и оценивается по приведенным в исследовании [23] данным для орошаемых и неорошаемых черноземов типичных и выщелоченных в 15-25  $\text{кг CO}_2/\text{м}^2$  за сезон (врезка на рис. 1-Б), что на порядки превышает все известные оценки эмиссионных потоков этого газа при дыхании почв!

В почвах гидроморфных ландшафтах, включая болота, с относительно малым объемом газовой фазы, сезонные циклы аккумуляции-разгрузки С-газов учащаются (до 10 смен в сезон [19]), причем доминирующее значение в газообмене с атмосферой здесь, по-видимому, приобретают преимущественные газовые потоки в виде локальных выбросов, к обсуждению которых мы вернемся позже. Для метана в ветландах существует мощный (20-80% от восходящего к атмосфере потока) внутренний сток вследствие метанотрофного фильтра [1, 2, 19]. Можно не соглашаться вслед за [14] с нашим [1] нарочито утрированным примером по потенциально высокому (до 50%) с учетом действия метанотрофного фильтра вкладу метана в общий поток газообразного углерода в атмосферу из болот, хотя и такие оценки встречаются в литературе [25], однако мои оппоненты [14], вероятно, не станут отрицать

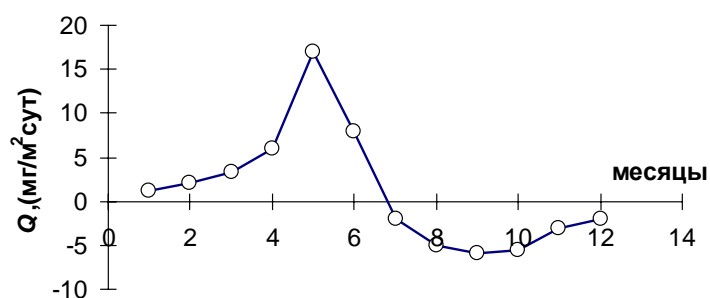


Рис. 2. Сезонная динамика выделения ( $Q+$ ) и поглощения ( $Q-$ ) метана на примере болота в Вирджинии (по [26])

главное – gross продуцирование метана толщей болота может существенно (до 5 раз по [1] или в среднем для болот в 2,7 раза по [14]) превышать эмиссию этого газа в атмосферу, а для болотных элементов с глубоким залеганием уровня вод, вообще полностью блокировать вынос в атмосферу. Очевидно, метанотрофное поглощение будет происходить и при обратных потоках  $\text{CH}_4$  из атмосферы в почву, причем как на обводненных участках с интенсивной генерацией и выбросами метана, если только это не мочажины и внутриболотные озера, так и на соседних дренированных территориях. На этот механизм будет накладываться нестационарность и сезонные изменения в интенсивностях выделения и поглощения метана. В результате ряд болотных экосистем в годовом цикле, по-видимому, вообще может быть близок к нулевому балансу по метану в отношении газообмена с атмосферой, как, например, в [26] (рис. 2).

Гравитационное перемещение С-газов в составе газовой и жидкой фаз, а также нисходящая диффузия, возникающая при наличии стационарных (гидроморфные почвы) или нестационарных газовых профилей с экстремумом, способствуют формированию противоположного эмиссии оттока с нижней границы почвы при контакте с подвижными грунтовыми водами. Для почв в целом такие контрпотоки, по-видимому, не превышают первых процентов от восходящей эмиссии в атмосферу [19]. К сходному выводу приходят мои оппоненты [13], анализируя причины углеродного дисбаланса в РФ и определяя суммарный гидрологический сток углерода в стране (7 Мт) на фоне эмиссионных потерь из почв в атмосферу в 5-6 Гт углерода. Вместе с тем для болотных ландшафтов, как показывают элементарные расчеты по концентрациям растворенных газов и модулю стока, гидрологический вынос может быть значительным [19, 27]. По оценке [28] перенос газов с болотными водами ( $10\text{--}30 \text{ г}/(\text{м}^2\text{год})$ ) может быть соизмерим с их эмиссией ( $20\text{--}60 \text{ г}/(\text{м}^2\text{год})$ ), а в отдельных случаях даже превышать таковую. Можно усомниться в правильности такой оценки, равно как и в гипертрофированных, на наш взгляд, по причине методических ошибок, оценках: 95% сток  $\text{CO}_2$  с болотными водами, 5% – дыхание по [29] или  $1000\text{--}2000 \text{ мгCH}_4/(\text{м}^2\text{сут})$  по [30]), однако, очевидно, что сток растворенных С-газов и их химических соединений в гидроморфных экосистемах будет существенно больше чем в автоморфных почвах. Резюмируя информацию по дискуссионному вопросу №1, выскажем следующие соображения. По-видимому только для хорошо аэрируемых легких почв при относительно неглубоком (первые метры) залегании грунтовых вод, малой адсорбции, небольшом количестве растворенного  $\text{CO}_2$  и малых суммарных запасах этого газа (первые граммы на  $\text{м}^2$  по [19]) gross продуцирование и эмиссия в годовом цикле близки друг к другу. В таком случае оценка почвенного биологического источника С-газов и его вклада в атмосферу по эмиссии с поверхности принципиально возможна при условии детализации сезонных

измерений (преодоление дисбаланса из-за нестационарности) и учета пространственного варьирования. В других почвах, включая болотные, *эмиссия с поверхности неадекватна gross продуцированию C-газов*, то есть их биологическому источнику, который требуется оценить при расчетах углеродного баланса территории, и главные причины такого несоответствия – нестационарность функционирования с фазами аккумуляции и разгрузки больших (десятки и сотни грамм на м<sup>2</sup>) внутрипочвенных запасов C-газов во всех физических фазах почвы, нисходящие вертикальные и латеральные потоки, удаляющие газообразный и растворенный углерод с других границ элементарного почвенного тела (ареала), а также стохастические преимущественные (локальные) эмиссионные потоки в гидроморфных ландшафтах, учет которых традиционными камерными методами фактически невозможен, а микрометеорологическими или расчетными (по полю концентраций в воздухе) представляется весьма затруднительным по причине их краткосрочности (мощные конвективные выбросы, часто на временных границах смен сезонов [19, 31]).

В связи с этим, по второму дискуссионному вопросу, касающемуся оценки углеродного дисбаланса России в 1 Гт автор, несмотря на многочисленные доводы оппонентов [9,10,13], продолжает оставаться при своем ранее высказанном [1, 2] мнении о том, что это скорее методологический артефакт, а не реальность. Он вызван принципиальной с точки зрения автора невозможностью на современном этапе развития науки и технических измерительных средств получить точную оценку подобных балансов в региональных масштабах. Для «политических» решений типа Киотского протокола проще и вернее использовать очевидную с экологической точки зрения идею о нулевом природном балансе углерода и рассматривать лишь негативные его нарушения человеком. Методологическую основу сильного расчетного дисбаланса или «безусловного стока углерода» в РФ по [32], на наш взгляд, составляют указанные выше причины несоответствия поверхностной эмиссии газов их внутрипочвенному биологическому источнику, сильное занижение доли микробного дыхания относительно корневого, использование данных камерного метода оценки газовых эмиссий, малое для регионального масштаба РФ вообще и крайне малое для Восточной Сибири и Дальнего Востока количество (12 точек), в базе данных [32] по дыханию почв и связанная с этими причинами неопределенность оценки диссимиляционной составляющей углеродного баланса. Ассимиляционная компонента оценивается с большей определенностью, хотя и здесь не исключена субъективность для тех же восточных территорий РФ [33]. Можно согласиться с мнением [10], что «при строгом статистическом подходе дисбаланс в 1 Гт достоверно не отличается от нулевого значения». Аргументы [9, 13] о независимых данных регионального и глобального моделирования углеродного баланса и его составляющих, якобы подтверждающих значительный «неучтенный сток» и



локализирующих его в бореальной зоне Северного полушария, на наш взгляд, далеко не безупречны, и вряд ли могут в реальности что либо «подтверждать», и дело здесь не только в большой неопределенности подобных оценок, но и в их методологии. Балансовые калькуляции Глобального Углеродного Проекта или моделей атмосферно-биосферного обмена в наземных экосистемах [9] имеют все перечисленные методологические проблемы и связанную с ними неопределенность оценок, плюс сложности с расчетом глобального океанического стока углерода, такие как периодическое до сих пор не объясненное ослабление и усиление поглощения  $\text{CO}_2$  в океанах Южного полушария, неопределенность (источник или сток) с газообменом в Северном ледовитом океане с учетом значительной аккумуляции  $\text{CO}_2$  в ледяном покрове и мощных локальных выбросов этого газа при таянии и деформации льда, наблюдаемая в последние десятилетия масштабная динамика локальных океанических течений и глобального океанического конвейера в целом, изменения условий перемешивания водных масс и поглощения газа на границе с атмосферой, конвективный вынос  $\text{CO}_2$  из атмосферы с осадками, неучтенный материковый сток и многие иные процессы, вполне способные дать сток или источник в 1-3 Гт и более [34-37].

Более сложное глобальное или региональное процессное моделирование, основанное на физических законах массопереноса в атмосфере и газообмена с подстилающей поверхностью, также вряд ли может дать более определенную оценку для углеродного бюджета больших территорий, как на то надеются [14]. Гидродинамическое моделирование динамики атмосферы во взаимодействии с гидросферой и сушей, тепловым и гравитационным полями планеты крайне сложная задача, в чем легко убедиться на примерах частого несоответствия прогнозов погоды реальности. По-видимому, главная причина – нелинейность глобальной климатической системы и ее способность функционировать в сложных динамических режимах («странный аттрактор» Лоренца), исключающих возможность точного детерминистского прогноза и реконструкции динамики из-за проблемы неопределенности начальных условий. Использование упрощенных вариантов моделей динамики воздушной примеси эйлерова, лагранжева и смешанного типов и их доступных софтов (FLEXPART, NIES TM, GELCA и др.), с целью решения прямых и инверсионных задач региональной газовой динамики, включая восстановление наземных источников по данным о концентрационных полях примеси в атмосфере, ограничено как недостатком точных данных, особенно для территории РФ, так и принципиальной невозможностью получения однозначных решений без предварительной верификации подобных моделей, априорных оценок газовых потоков тестовых участков на границе с атмосферой с разделением на источники и стоки, а также наземной априорной информации иного рода, в частности, закономерностей пространственного распределения оцениваемых

источников и стоков. К тому же и диоксид углерода, и метан, наряду с латеральным воздушным транспортом и вертикальным перемешиванием в атмосфере способны *одновременно выделяться и поглощаться на данном элементе территории*, поэтому без детального изучения закономерностей пространственно-временной динамики этих процессов в экосистемах и их компартментах, включая почвы, невозможно дать определенную оценку источников/стоков газообразного углерода только по концентрационному полю и законам массопереноса в атмосфере, как невозможно по динамике уровня воды в проточном бассейне определить скорость ее стока, не зная интенсивности поступления. На это накладываются проблемы качества обработки данных дистанционного зондирования концентрационных полей в атмосфере и их комбинации с непосредственными измерениями на станциях атмосферного мониторинга типа NOAA. Результаты оценки углеродного баланса (среднегодового потока углерода) России с использованием такой методологии в диссертации [38] дали разброс величин от +0,2 ГтС/год (априорный источник) до -1,4 ГтС/год (комбинация станционных измерений и спутниковых данных со стандартной обработкой). Авторы [39], в вводной части работы со ссылкой на зарубежные источники, также указывают на большую неопределенность подобной оценки углеродного баланса РФ и, в частности, ее варьирования для сибирских лесов от слабого источника (0,035 Гт/год) до достаточно интенсивного стока (0,42 Гт/год). Из экспериментальной части [39] по непосредственным измерениям профильных распределений концентраций С-газов в атмосфере самолетом-лабораторией АН-30 «Оптик-Э» над Западной Сибирью следует, что с 1997 по 2007 гг во-первых существует четкий тренд прироста концентрации CO<sub>2</sub>, что, на наш взгляд, не согласуется с идеей мощного «безусловного стока» посредством фотосинтетической ассимиляции на относительно не нарушенных человеком территориях РФ, а во-вторых – то, что ассимиляция этого газа (сток) наблюдается лишь в течение четырех месяцев вегетационного сезона – с мая по август, а в остальное время территория служит столь же сильным источником CO<sub>2</sub>. При этом максимум содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере приходится на апрель, что по-видимому, связано с выбросами аккумулированного ранее газа из почвенной и снеговой толщи при их прогреве и таянии снега. И лишь для метана по данным [39] наблюдается постоянное круглогодичное превышение концентрации в пограничном слое (0,5-2 км) над фоновым содержанием в более высокой атмосфере, что авторы расценивают как квазистационарный наземный источник этого газа из болот с периодическими всплесками концентраций (атмосферными выбросами) в январе-феврале, июне-июле и октябре-ноябре. С нашей точки зрения фиксируемое в [39] с помощью детальной самолетной съемки сезонное чередование эмиссии и стока CO<sub>2</sub>, как главного в углеродном балансе газообразного компонента, на уровне Западносибирского региона, явно

не дающее доминирования стока над эмиссией, вполне соответствует классическим представлениям о сбалансированности биологического круговорота углерода для сложившихся (зрелых) экосистем в виде приближенного равенства чистой первичной продуктивности и дыхания гетеротрофных организмов, согласно [40]. И тем непонятнее для пишущего эти строки современные результаты по широко рекламируемому в последние годы дорогостоящему методу микровихревых пульсаций [41], на который, как на панацею в измерительных средствах газообмена ссылаются мои оппоненты [13-15], но он почему-то дает для зрелой (200 лет) сосновой экосистемы высокий среднегодовой сток (1,8 тС/га), фактически равный годовому опадку для таких сообществ.

С экологической точки зрения очевидна невозможность длительного стационарного дисбаланса круговорота углерода РФ в 1 Гт, а именно эту цифру мы берем за основу, возражая нашим оппонентам [13], искусственно занижающими ее вдвое, их же словами из следующей за [13] критической работы [14]: для достижения результатов «следует оперировать в расчетах средними значениями». Попытки [13] обнаружить новые элементы «неучтенного стока» сколь либо более первых процентов от данной цифры, то есть, исключая хорошо известный небольшой дисбаланс по причинам сопряженности биологического круговорота с геологическим и вывода углерода в литосферу и гидросферу, прироста голоценовых болот и зарастания пашен РФ, учета эмиссии метана, на наш взгляд не убедительны, строятся на ошибочных расчетах (смешивание детрита, лабильного и стабильного гумуса, гумификация, не компенсируемая биодеструкцией) или на фантастических гипотезах и высказываниях типа «лесные пожары – еще один сток (!!!) углерода», приводящих авторов к столь же фантастическим выводам о сплошных пиролизных пожарах русских лесов с аккумуляцией угля в почвах в 120 Мт/год, что 2-3 раза превышает известные оценки гумификации. Остается гипотеза нестационарности (временного явления дисбаланса), но тогда надо попытаться ее объяснить и ограничить какими-то временными рамками. Идея, высказанная со ссылкой на зарубежные работы в [9], о стимуляции биологической продуктивности глобальным потеплением с повышением содержания атмосферной углекислоты и последующим долговременным стоком углерода в как в древесине, так и в почве не совсем понятна в связи с односторонним рассмотрением лишь ассимиляционной составляющей круговорота. Согласно [21] современные данные указывают на недавние 30-40-летние тренды повышения не только чистой первичной продукции, но и дыхания почв. Наиболее вероятна причина нестационарности в связи с некоторой синхронностью омоложения значительной части лесов России в естественных циклах роста и распада древостоя и под воздействием лесозаготовок [33]. Но ее надо доказывать, причем на большой площади в относительно нетронутых человеком лесных

экосистемах Сибири и Дальнего Востока. Так что пока проблема оценки углеродного баланса РФ содержит больше вопросов, чем ответов.

Можно ли при подобных исследованиях отказаться от детального изучения внутрипочвенных процессов и оценивать лишь газовые потоки на границе почвы с атмосферой, совершенствуя методику их инструментальной оценки с переходом на ландшафтные микрометеорологические методы и дистанционное исследование атмосферы для информационного обеспечения восстановления таких потоков с помощью процессных моделей динамики атмосферы методом обратной задачи, как предлагают [14]? На наш взгляд – нет. В единой методической Программе исследований газовой функции почв и их газообмена с атмосферой, идею создания которой поддержали мои оппоненты [10], такая «поверхностная» методология с организацией равномерной сети станций типа NOAA должна быть необходимой, но не достаточной частью. Хотя бы из-за того, что главная задача современности – не свести углеродный баланс, а дать научно-обоснованный прогноз его динамики при различных сценариях глобальных климатических изменений и научиться им управлять. А сделать это без исследования внутрипочвенных процессов и механизмов генерации, поглощения, транспорта, биогенной и абиотической трансформации С-газов на основе одних лишь корреляций поверхностных потоков с контролирующими гидротермическими факторами, уверен, невозможно.

В этой связи вкратце остановимся на третьем дискуссионном вопросе. С нашей точки зрения [1,2, 19, 42] для болот, а также ряда других гидроморфных экосистем, урбаногенных и техногенных ландшафтов, например полигонов ТБО, в газовой динамике ключевая роль принадлежит двум малоисследованным на данный момент физическим механизмам (**рис.3**):

- а) внутрипочвенной межфазной аккумуляции С-газов с запасами в десятки гС/м<sup>2</sup> в болотах и сотнен в ландфиллах, причем при низкой пористости аэрации (порядка 10%) основное количество газов (80-90% и более) будет сосредоточено на твердой, преимущественно органической фазе в адсорбированном состоянии с неизбежным феноменом поверхностной диффузии в их последующем перераспределении;
- б) преимущественным газовым потокам конвективной природы, периодически выносящим накопленные внутри гидроморфного объекта С-газы в атмосферу и по мощности значительно (на порядок и более) превышающим суммарный за фазу разгрузки вынос С-газов фоновой эмиссией, определяемой стандартным методом камер.

Критика этих важнейших с нашей точки зрения для понимания специфики функционирования болот и формирования их газообмена с атмосферой методологических положений в [12,14,18] представляется не обоснованной. Авторы не комментируют исходный тезис, экспериментально подтвержденный исследованиями кафедры физики и

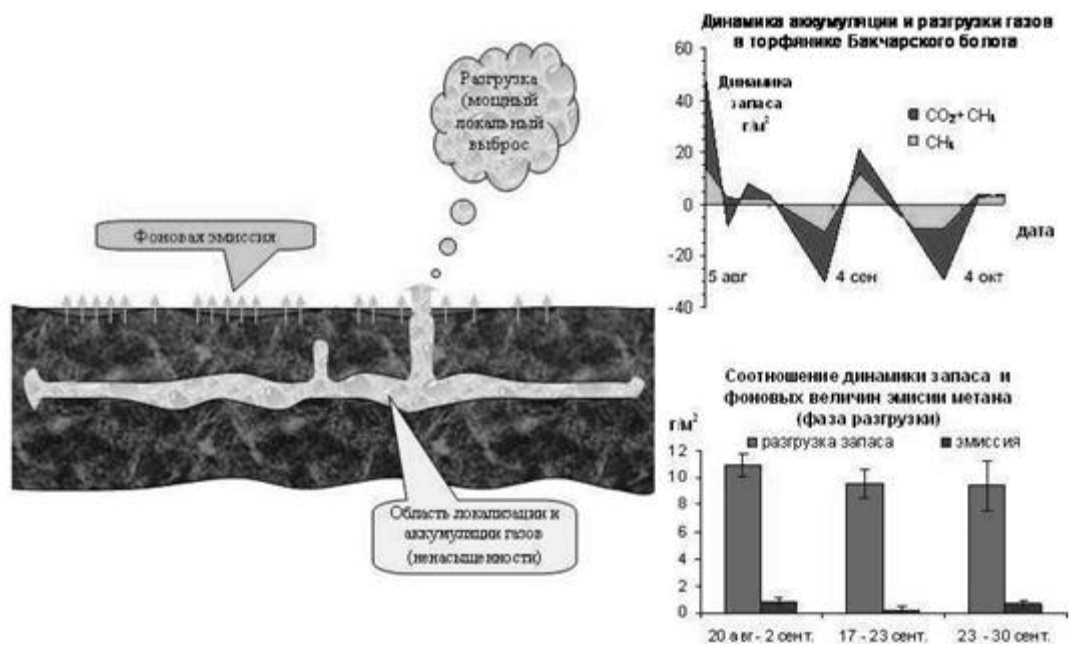


Рис.3. Схема формирования преимущественных потоков (выбросов) газов в болотах и количественная оценка этого явления в сравнении с фоновой эмиссией по [2,19]

мелиорации почв МГУ на Бакчарском болоте в 1998-99 гг [19, 27, 43, 44] – наличие внутри торфяников протяженных (десятки метров) зон локальной ненасыщенности с аккумуляцией значительных запасов С-газов и кислорода и доминирующей роли адсорбции на торфе в формировании этих запасов. Равно как и ошибки [45], неизбежно возникающие при оценках «актуальной» метаногенной и метанотрофной активности, при игнорировании этого «сверхбыстрого» по терминологии [18] явления на временном отрезке порядка суток, пока устанавливаются межфазные равновесия. Последнее критическое «исследование» при поддержке РНФ [18] в виде математических расчетов погрешностей обработки экспериментальных данных функции диффузивности полиномом можно было вообще не выполнять, если бы авторы обратили внимание, что критикуемые ими феномен поверхностной диффузии и величина ее коэффициентов в 3-20 раз больших чем в чистой воде, это не статистически не значимый остаточный член экстраполирующего полинома, а реальные экспериментальные данные, полученные при изоляции проницаемыми для газов пленками полностью насыщенными под вакуумом водой образцов почвы в диффузиметрах, как в наших работах [19], так и у наших коллег по МГУ [46], взявших на вооружение эту методику и получивших сходные результаты для торфов, но близкие к диффузии метана в чистой воде для не сорбирующих образцов легкого гранулометрического состава. Столь же несостоятельна критика второго положения – физического механизма преимущественных газовых потоков, быстро разгружающих С-газы в атмосферу через обводненную вышележащую толщу торфа и их определяющего значения в газообмене болот, предпринятая в [14]. Даже запоздалые откровенные признания [14] в халатности выполнения научных исследований на Бакчарском болоте по оценке динамики профильных

распределений газов с использованием предоставленных ему автором мембранных пробоотборников, по результатам которых у нас была, кстати, исходно совместная публикация [44], не являются здесь решающим аргументом. Ведь технически вынужденная замена инертного газа на атмосферный воздух с минимальным на фоне внутрипочвенного воздуха содержанием метана не могла повлиять на концентрацию аккумулируемого через мембраны окружающего болотного газа, равно как и ничтожно малая (порядка 2 мл) порция кислорода, которая закачивалась в пробоотборник при такой замене, не могла стимулировать метанотрофное окисление в окружающем торфянике. Очевидны наиболее важные факты, выявленные в ходе этих измерений и позволившие автору предложить пульсационный механизм газовой динамики болотных экосистем с периодическими сменами фаз аккумуляции и разгрузки С-газов (рис. 3). *Это большие концентрации и запасы С-газов внутри болот и периодичность их изменений.* Если конечно, мой постоянный оппонент не признается только в следующей «критической» статье в ДОСиГК, что он нарочито закачивал в пробоотборники в больших количествах метан и  $\text{CO}_2$  с периодичностью раз в две недели (рис. 3). Но главное – другое. Сам оппонент позже провел и опубликовал лабораторную работу, блестяще подтверждающую тот же самый механизм конвективного выброса в атмосферу газовой фазы в обводненном торфяном образце [47]. Правда, почему-то позабыв при этом сослаться на обсуждаемые выше данные по Бакчарскому болоту и аналогичные наши совместные исследования по профильным распределениям концентраций С-газов, измерению их пневматического (избыточного) давления, коэффициентов воздухопроводности и моделированию преимущественных потоков в ТБО Хметьево во время учебных полевых практик по физике почв, возглавляемых автором. Это описанный в [19] и иллюстрированный примерами для разных почв механизм *вынужденной конвекции* или переноса газа под действием градиента (перепада) пневматического давления, максимальное значение которого в газовой фазе ненасыщенной области торфяника (рис. 3) равно лапласовому давлению барботирования наиболее крупных каналов вышележащей обводненной толщи или эквивалентной механической энергии, а при отсутствии подобных каналов (что, маловероятно для торфа) – эквивалентно более сложно вычисляемой в [47] работе разрыва (раздвижения) сопротивляющейся массопереносу среды. Но данное явление не надо отождествлять со свободным «пузырьковым» транспортом – *естественной конвекцией* в поле силы тяжести по причине разности плотностей вмещающей среды (воды) и легких газовых пузырьков с атмосферным давлением внутри, фактически мгновенно поднимающихся в столбе жидкости, но не способных перемещаться через извилистую пористую среду с сопротивлением, как ни хотелось бы моим оппонентом [12, 14] убедить в обратном автора и научную общественность.

В связи с четвертым дискуссионным вопросом, отметим, что наличие мощных преимущественных потоков (выбросах) С- газов, в частности, метана в болотах (вполне вероятно они воспринимаются наблюдателями, не просвещенными критикой «дифосфиновой» гипотезы самовозгорания болот [48], как мистические болотные огни) на наш взгляд, девальвирует научную и практическую ценность данных о газообмене болот с атмосферой, получаемых традиционными камерными методами и экстраполируемых потом с помощью ГИС-технологий на большие регионы с целью оценки их вклада в глобальную эмиссию [45, 49]. Вероятность установки камеры на участок, где произойдет конвективный газовый выброс и, соответственно, фиксации его на данном участке при мониторинговых измерениях, крайне низка. Лишь в одной работе [31], известной автору, это удалось сделать, используя фактически непрерывный мониторинг эмиссии шестью автоматическими камерами с частотой измерений раз в 1 час с июня по октябрь. Величины же потоков при этом (8-20 до 100 мгСН<sub>4</sub>/(м<sup>2</sup>час) по [31]) на 1-2 порядка могут превышать фоновые значения эмиссии. Они также могут возникать за пределами вегетационного сезона что, на наш взгляд хорошо объясняет обсуждаемые выше данные [39] о всплесках атмосферных концентраций метана над Западносибирскими болотами на границах смен времен года. По данным [49] максимальные потоки метана наблюдаются в наиболее обводненных ландшафтных элементах болот, включая внутриболотные озера, что, в общем-то, очевидно. Но как можно оценить их реальную интенсивность разовыми замерами «пловучей камерой», которая практически никогда не «поймает» спорадические и локальные конвективные выбросы газа? Казалось бы «спасительные» в этом случае микрометеорологические методы – дороги, требуют стационарной установки, не лишены серьезных проблем в получении и последующей интерпретации данных для расчета потоков, а главное – они осредняют потоки по болотному ландшафту, не позволяя исследовать специфику газообмена его отдельных элементов (мочажин, гряд, рямов и тд), что ставит под угрозу предложенную японскими исследователями [50] и взятую на вооружение нашими оппонентами [45, 49] методологию оценки характерных величин газовых потоков по таким элементам с известной долей площади с последующей экстраполяцией на ландшафтный и более высокие уровни, вплоть до региона, посредством ГИС-технологий. Исследовать и моделировать преимущественные газовые потоки в болотах можно, лишь изучая процессы, формирующие их внутри почвы [19], но для «поверхностной» оценки, вероятно, самой простой будет методика, логически вытекающая из утрированного примера в [17], эпотажно критикующего идею [3] о микрокамерах, кстати успешно использованную ранее в нашей совместной работе по адаптации ПГА-7 к газовому анализу почв [51] и в собственной диссертации нашего главного оппонента при исследовании преимущественного «растительного» и

«пузырькового» транспорта [45]. Наши критики не учитывают, что объем камеры, это не всегда произведение площади ее основания на высоту (например, для конической или пирамидальной формы типа «воронки Люндегорда» или «домика Макарова» это не так), но главное – уменьшение высоты до нескольких миллиметров, это не столь уж абсурдная идея, как им кажется. Она давно реализована в планшетных системах оценки дыхания и мультсубстратного тестирования роста микрофлоры, а применительно к исследованию преимущественных потоков в болотах, включая их водные элементы, это вообще может быть наиболее дешевый и эффективный способ. Микрокамеры большой площади, например, в виде двух параллельных листов проницаемой для газов пленки с известной диффузивностью, между которыми нанесено реагирующее на газ данного типа вещество, меняющее при этом цвет. И дистанционные замеры таких измерений с квадрокоптера с последующей оцифровкой по ареалам и плотности окраски. Более трудоемкий «ручной» вариант – стандартные упаковочные пленки с воздушными пузырьками, в которых после экспозиции на поверхности болота (озера) надо определять концентрацию С-газов.

В результате пока, несмотря на большой объем полевых и камеральных работ по камерно-статическому анализу потоков по элементам болотных ландшафтов в природных зонах Западной Сибири, а также труда по детальному ГИС-картографированию их площадей, региональные оценки вклада сибирских бореальных болот в глобальное выделение метана ветландами в несколько первых процентов, представляются нам не вполне обоснованными и заниженными [45, 47, 52, 53]. В этом убеждает и справедливо критикуемый в [3] почти двукратный скачок этих оценок за 1 год (от 5,4 до 2,9 Тг С/год [45, 52]), вследствие смен «стандартных» моделей, при непонятно малой доле (20%) от, якобы четко зафиксированной авторами общей эмиссии ветландами России в 13,1-13,5 ТгС/год [54] (а где остальные болота, дающие 80%?), и крайне малой (2,4%) доле от глобальной эмиссии ветландами. А, главное – это использование некорректной, на наш взгляд, методологии оценки газообмена для ветландов, не учитывающей преимущественные потоки, как в пространственном, так и во временном аспектах (выбросы на границах сезонов, отчетливо регистрируемые по Западной Сибири данными [39]). То, что результаты оценок опубликованы в рейтинговых зарубежных изданиях [52, 53], не является гарантией их качества и не может быть, с точки зрения автора, доказательством их достоверности.

И здесь, переходя к заключительному дискуссионному вопросу, приведу следующий пример. Замечания автора [1, 2] о серьезных ошибках в формулировании распределенных процессных моделей газовой динамики для почв, а именно об отсутствии учета пористости или фактора межфазных равновесий вместе с пористостью, несмотря на признание главным оппонентом этой, с его слов, «детской болезни» [18], по факту не возымели никакого



действия ни на него, ни на участников его группы. Убеждаемся в этом, анализируя публикацию [55] в рейтинговом зарубежном издании, где повторилась та же ошибка, и в последний момент, когда работа уже была принята в печать, авторы, после критических замечаний по отчетам аспирантов на кафедры физики и мелиорации почв МГУ попросту заменили исходную модель на ее стационарный вариант, приравняв к нулю левую часть, где первоначально был компонент  $\partial C/\partial t$ , забыв в спешке подкорректировать дальнейший текст, где так и остались ненужные в этом случае координата времени ( $t$ ) и обозначения ( $\partial$ ) для уравнений в частных производных (см. стр. 15 в [55]). И как они теперь смогут сотрудничать с еще одним моим неожиданным оппонентом [11], у которого подобное «математическое бескультурье» напрочь отбивает «интерес к рассуждениям автора»? По существу же дела, такая замена вряд ли оправдана, так как почвенная физическая система по большей мере функционирует в нестационарном режиме (см ранее) с периодическими изменениями температуры и влажности, от которых в свою очередь зависят используемые в [55] функции биологической трансформации и диффузивности метана и кислорода. По аналогичной причине нельзя для стратифицированных по температуре, влажности и плотности (пористости аэрации) отложений ввести замену переменных с элиминированием пористости, с чем, очевидно соглашаются мои оппоненты [18].

Вместе с тем простые стационарные процессные модели распределения С-газов в профиле болота или снеговом покрове, конечно же, в правильной форме с учетом пористости, могут быть вполне пригодными для определения газовых потоков на границе с атмосферой методом обратной задачи, в том числе и в зимнее время, составляя альтернативу камерно-статическим измерениям [3. 4-6]. И здесь яростная, зачастую оскорбительная критика [15-17] диссертации [3], где приведены примеры таких исследований, представляется нам также несостоятельной. Авторы [15-17] в трех публикациях на страницах ДОСиГИК, не имеющего четких правил по объему критических статей, кстати, как и импакт фактора РИНЦ, согласно <https://elibrary.ru>, несмотря на убежденность его главного редактора в обратном, с алогичной ссылкой на недостаток места в подобном журнале на описание достоинств работы, разбирают одни лишь ее недостатки. Забывая, что это фактически единственное в РФ стационарное количественное исследование внутрпочвенных факторов динамики газообмена болот с атмосферой, включающее круглогодичные режимные наблюдения, и впервые установившее для Югры факты отсутствия или неглубокого промерзания торфяника под слоем снега при снижении его влажности и возникновении температурной инверсии с неустойчивой стратификацией, как физических условий внесезонной биологической активности и формирования восходящих конвективных потоков С-газов. Именно эти вопросы, и обработка богатейшего эмпирического материала с

использованием оригинальных процессных моделей профильного распределения газов были здесь по выражению [15] «ключевыми» а, вовсе не анализ недостатков микрометеорологических методов или региональных оценок эмиссии метана из работ [45, 49, 52, 54]. То, что математическая задача оценки потоков по процессным моделям распределения газов в толще снега или торфа относится к классу некорректных [16], очевидно не может быть аргументом против [3], в противном случае надо оказаться от всех методов обратных задач, включая обсуждаемые выше оценки по моделям динамики атмосферы, содержащим много больше параметров и, соответственно, возможных погрешностей в оценке при их изменениях, согласно доводам [16]. Но в [16] для убеждения непросвещенных читателей в непригодности «метода Шнырева» используют следующий, поистине «некорректный» ход: вместо варьирования параметров модели или входных данных по газовым профилям, чтобы оценить погрешности, [16] подменяют саму модель и заложенную в ней физически понятную идею о линейном снижении метанотрофной функции с глубиной в аэрированной толще на некую сложную кусочно-непрерывную функцию с 4 изгибами, возрастанием и убыванием на отрезках, якобы более реалистичную для всей (а не аэрированной как в [3]) торфяной толщи. Конечно, не удивительно, что при этом получается для исходного профильного распределения метана, совершенно иное значение восстановленного потока, даже с противоположным знаком. Окончательный «аргумент» такого же рода – две точки профильного распределения, расчет по которым с использованием первого закона Фика случайно совпадает с оцененной величиной потока (попробуйте взять другие точки из распределения и убедитесь, какова реальная точность подобных расчетов для нелинейного распределения), и безапелляционный вердикт о непригодности метода и некомпетентности диссертанта с его научным руководителем.

Не понимая истинных причин нападков такого рода в наш адрес, научный руководитель, завершает эту статью, а вместе с ней и участие в дискуссии по вопросам газообмена с атмосферой, полемизировать по которым с к.б.н. М.В. Глаголевым считает непозволительной для себя тратой времени. Обращаясь к его молодым соавторам, которых относил и отношу к наиболее талантливым и перспективным ученым из выпускников нашей кафедры последних лет, хочу напомнить непреложную, в отличие от наших научных знаний и наукометрических систем, евангельскую ИСТИНУ о чужих соринках и своих бревнах в органах зрения. И на правах, вероятно, теперь постоянного пациента офтальмологической клиники Глаголев и К<sup>о</sup>, открытой за государственный счет на базе ж. ДОСиГИК, прошу ее медперсонал вначале пройти курсы повышения квалификации от топорного лесоруба до трелевщика собственных бревен, приступая к очередной операции по просвещению научного и профессорско-преподавательского состава ведущих институтов и вузов страны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смагин А.В. Спорные вопросы количественной оценки газовых потоков между почвой и атмосферой (к дискуссии М.В. Глаголева и А.В. Наумова) // ДОСиГИК. 2014. Т. 5. № 2(10). С. 10-25.
2. Смагин А.В. Дискуссионные вопросы теории парникового эффекта и газообмена почвы с атмосферой с. 123-161. / Экологическое почвоведение: этапы развития, вызовы современности. К 100-летию Глеба Всеволодовича Добровольского / Под ред. С.А. Шобы, Н.О. Ковалевой. М.: ГЕОС. 2015. 448 с.
3. Шнырев Н.А. Режимные наблюдения и оценка газообмена на границе почвы и атмосферы (на примере потоков метана болотного стационара средне-таежной зоны Западной Сибири «Мухрино»). Дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ. 2016. URL: <https://istina.msu.ru/dissertations/18838290/>.
4. Смагин А.В., Шнырев Н.А., Витязев В.Г. К теории профильно-градиентного метода оценки эмиссии метана из болот в зимнее время // Экологический вестник Северного Кавказа. 2011. Т.7. №2, с. 23-30.
5. Шнырев Н.А., Смагин А.В. Модель динамики метана в профиле и методика оценки потока метана на поверхности по данным о профильном распределении концентраций в торфе // Материалы 18-ой Международной Пущинской школы-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века», 21-25 апреля 2014 г. Пущино. С. 310-311.
6. Смагин А.В., Шнырев Н.А. Потоки метана в холодное время года: распределение и массоперенос в снежном покрове болот // Почвоведение. 2015. № 8. С. 943–951.
7. Смагин А.В. Кинетическая оценка газообмена между почвой и атмосферой камерно-статическим методом // Почвоведение. 2015. № 7. С. 824–831.
8. Смагин А.В., Шнырев Н.А., Садовникова Н.Б. Потоки метана в холодное время года: оценка методом закрытых камер // Почвоведение. 2016. №2. С. 227-234.
9. Курганова И.Н., Кудяров В.Н. Возможен ли значительный положительный дисбаланс круговорота углерода (сток) на территории России? // ДОСиГИК. 2015. Т. 6. № 1. С. 32-35.
10. Евдокимов И.В., Ларионова А.А. Соображения к дискуссии, предложенной А.В. Смагиным // ДОСиГИК. 2015. Т. 6. № 1. С. 36-38.
11. Лапина Л.Э. 2015. Ответ А.В. Смагину // ДОСиГИК. Т. 6. № 1. С. 39-41.
12. Глаголев М.В. Ответ А.В. Смагину: I. Об этике дискуссий и немного о науке // ДОСиГИК. 2014. Т. 5. № 2. С. 26-49.
13. Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. Ответ А.В. Смагину: II. Углеродный баланс России // ДОСиГИК. 2014. Т. 5. № 2. С. 50-69.
14. Глаголев М.В., Филиппов И.В. Ответ А.В. Смагину: III. О метанотрофном фильтре и конвективной разгрузке в атмосферу // ДОСиГИК. 2015. Т. 6. № 1. С. 42-54.
15. Сабреков А.Ф., Глаголев М.В. О диссертации Н.А. Шнырева: I. Микрометеорология и другие замечания // ДОСиГИК. 2016. Т. 7. № 2 . С. 26-37.
16. Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. О диссертации Н.А. Шнырева: II. Главные замечания // ДОСиГИК. 2016. Т. 7. № 2 . С. 38-55.
17. Глаголев М.В., Терентьева И.Е. О диссертации Н.А. Шнырева: III. Работы «группы Глаголева» и другие замечания // ДОСиГИК. 2016. Т. 7. № 2 . С. 56-65.
18. Глаголев М.В., Сабреков А.Ф., Терентьева И.Е. Ответ А.В. Смагину: IV. Поверхностная диффузия или случайный шум? // ДОСиГИК. 2017. Т. 8. № 1. С. 55-65.
19. Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во Моск. Ун-та. 2005. 301 с.
20. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Щерба Т.Э., Шнырев Н.А. Абиотические факторы дыхания почв // Экологический вестник Северного Кавказа. 2010. Т.6. №1. С. 5-13.
21. Карелин Д.В., Замолодчиков Д.Г., Исаев А.С. Малоизвестные импульсные составляющие почвенной эмиссии диоксида углерода в таежных лесах // ДАН. 2017. Т. 475. № 4. С. 473-476.

22. Андрейчук, В., Телешман І., Купріч П. Просторово-динамічні особливості розподілу  $\text{CO}_2$  у повітрі печери Попелюшка // Спелеологія і карстологія. 2011. № 7. С. 15-25.
23. Парфенова О. А., Бутова Л. С. Влияние орошения на миграцию карбонатов в профиле лесостепных черноземов // Молодой ученый. 2015. №7(3). С. 53-58.
24. Морозов И. В., Безуглова О. С., Минаева Е. Н., О формировании карбонатного горизонта черноземов обыкновенных карбонатных Нижнего Дона // Живые и биокосные системы. 2017. № 22. 14с.
25. Svensson B.H., Rosswall T.. In situ methane production from acid peat in plant communities with different moisture regimes in a subarctic mire // OIKOS. 1984.V. 43. P. 341-350.
26. Toop E., Pattey E. Soils as sources and sinks for atmospheric methane // Can. J. Soil Sci. 1997. V.77. P.167-178.
27. Смагин А.В., Смагина М.В., Вомперский С.Э., Глухова Т.В. Особенности генерирования и выделения парниковых газов в болотах. // Почвоведение. 2000. №9. С. 1097-1105.
28. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Автореферат дис. ... докт. биол. наук. Томск: ТГУ. 2004. 37 с.
29. Зайдельман Ф.Р, Кожевин П.А., Шваров А.П, Павлова Е.Б., Горленко М.В. Влияние разных способов пескования на биологическую активность и элементы газового режима осушенных торфяных почв // Почвоведение. 2001. №2. С. 234-244.
30. Сирин А.А. Водообмен и структурно-функциональные особенности лесных болот Автореферат дис. ... докт. биол. наук. М.: ИЛАН. 1999. 44 с.
31. Mastepanov M., Sigsgaard Ch., Dlugokencky E.J. et al. Large tundra methane burst during onset of freezing // Nature. 2008. V. 456(4). P. 628-631.
32. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в экосистемах России. Автореферат дис. ... докт. биол. наук. М.:МГУ. 2010. 36 с.
33. Федоров Б.Г., Моисеев Б.Н., Сияк Ю.В. Поглощающая способность лесов России и выбросы углекислого газа энергетическими объектами // Проблемы прогнозирования. 2011. № 3. С. 127-142.
34. Нагурный А.П. О роли льда северного ледовитого океана в сезонной изменчивости концентрации двуокиси углерода в северных широтах //Метеорология и гидрология. 2008. № 1. С. 65-71.
35. Савенко В.С. О нерямом поглощении океаном атмосферного  $\text{CO}_2$  // ДАН. 2011. Т. 438. № 6. С. 803-805.
36. Карлин Л.Н., Малинин В.Н., Образцова А.А. Пространственно-временные изменения потока  $\text{CO}_2$  в системе «океан-атмосфера» // Известия Русского географического общества. 2012. Т. 144. № 5. С. 27-36.
37. Landschützer P., Gruber N., Naumann F.A. et al. The reinvigoration of the Southern Ocean carbon sink // Science. 2015.V. 349(6253). P. 1221-1224.
38. Журавлев Р. В. Восстановление пространственно-временной структуры источников и стоков диоксида углерода по данным глобальных наблюдений. Автореферат дис. ... канд. ф/м. наук. Долгопрудный: ФГБУ «Центральная Аэрологическая Обсерватория». 2012. 26 с.
39. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К. и др. Пространственная и временная изменчивость концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в приземном слое воздуха на территории Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 2. С. 183-192.
40. Кобак К.И. 1988. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат. 248 с.
41. Шибистова О.Б., Ллойд Д., Колле О. и др. Оценка аккумуляции  $\text{CO}_2$  сосновым древостоем методом микровихревых пульсаций // ДАН. Т. 383. № 3. С. 425-429.

42. Смагин А.В., Долгих А.В., Карелин Д.В. Экспериментальные исследования и физически обоснованная модель эмиссии диоксида углерода из вскрытого культурного слоя в Великом Новгороде // Почвоведение. 2016. № 4. С. 489–495.
43. Поздняков А.И., Шеин Е.В., Паников Н.С. и др. Локализация парниковых газов в торфяной толще болот Западной Сибири // Почвоведение. 2003. № 6. С. 697-700.
44. Глаголев М.В., Смагин А.В. Количественная оценка эмиссии метана болотами: от почвенного профиля – до региона (к 15-летию исследований в Томской области) // Доклады по экологическому почвоведению. 2006. Вып. 3. №3. С. 75-114.
45. Глаголев М.В. Эмиссия  $\text{CH}_4$  болотными почвами Западной Сибири: от почвенного профиля до региона. Автореферат дис. ...канд. биол. наук. М.: МГУ. 2010. 24 с.
46. Можарова Н.В., Ушаков С.И. Роль диффузионной проницаемости почв в регулировании эмиссии метана на газоносных территориях // ДАН. 2004. Т. 399. № 3. С. 425-429.
47. Глаголев М.В., Клепцова И.Е. К вопросу о механизме выхода пузырьков метана из торфяника // ДОСиГИК. 2012. Т. 3. № 3. С. 54-63.
48. Глаголев М.В., Клепцова И.Е. «Дифосфиновая» гипотеза самовозгорания болот сомнительна // ДОСиГИК. 2013.Т.4. № 1. С. 1-25.
49. Терентьева (Клепцова) И.Е. Региональная оценка эмиссии метана из болот тайги Западной Сибири методом дистанционного зондирования Автореферат дис. ...канд. биол. наук. М.: МГУ. 2017. 24 с.
50. Tamura M., Yasuoka Y. Observation of West Siberian wetlands using remote sensing techniques for estimating methane emission // IV Symposium on the join Siberian permafrost studies between Japan and Russia in 1995. Sapporo. Kohsoku Print. Cent. 1999. P. 133-138
51. Смагин А.В., Глаголев М.В., Суворов Г.Г., Шнырев Н.А. Методы исследования потоков газов и состава почвенного воздуха в полевых условиях с использованием портативного газоанализатора ПГА-7 // Вестн. Моск. ун-та, сер. 17 Почвоведение. 2003. № 3. С. 29–36
52. Glagolev M., Kleptsova I., Filippov I., Maksyutov S., Machida T. Regional methane emission from West Siberia mire landscapes // Environ. Res. Lett. 2011. V.6 (4). 20 p.
53. Bohn T.J., Melton J.R., Ito A., et al. WETCHIMP-WSL: intercomparison of wetland methane emissions models over West Siberia // Biogeosciences, 2015. V.12(11).P.3321-3349.
54. Dias V.N., Glagolev M.V., Filippov I.V., et al. Methane emissions from russian wetlands: the state of the problem. // WETPOL 2013: 5th International Symposium on Wetland Pollutant Dynamics and Control (October 13-17, 2013, Nantes - France). MINES Nantes. 2013.P. 280–281.
55. Sabrekov A.F., Glagolev M.V., Alekseychik P.K., et al. A process-based model of methane consumption by upland soils // Environ. Res. Lett. 2016. V.11 (7). 22p.

## FINAL COMMENTS TO DISCUSSION ISSUES ON GAS EXCHANGE OF WETLANDS AND ATMOSPHERE

### A.V. Smagin

*Disputed questions on the methodology for estimating the regional carbon balance and gas function of wetlands in relation to the atmosphere are discussed. The situation of a large carbon imbalance in the territory of Russia is critically analyzed. Due to the presence of preferential convective gas flows in the watered thickness of peat bogs, the adequacy of the methodology for estimating the gaseous function of wetlands on the basis of chamber-static (local) measurements of gas emissions from elements of the bogs landscape and subsequent extrapolation to large scales using GIS technologies is questioned. The role of sorption of gases in their deposition and transport inside the peat strata is analyzed, as well as the problems of mathematical modeling in connection with the assessment of gas exchange with the atmosphere.*