

УДК 631.41

## О ДИССЕРТАЦИИ Н.А. ШНЫРЕВА: II. ГЛАВНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Глаголев М.В.<sup>1,2,3,4)</sup>, Сабреков А.Ф.<sup>2,3,4)</sup>

<sup>1)</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Россия)

<sup>2)</sup>Институт лесоведения РАН, с. Успенское Московской обл. (Россия)

<sup>3)</sup>Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск (Россия)

<sup>4)</sup>Томский государственный университет (Россия)

m\_glagolev@mail.ru, sabrekovaf@gmail.com

*Настоящая работа посвящена разбору на наш взгляд ошибочного метода определения удельного потока метана из болот, предложенному в диссертации Николая Андреевича Шнырева «Режимные наблюдения и оценка газообмена на границе почвы и атмосферы (на примере потоков метана болотного стационара среднетаежной зоны Западной Сибири “Мухрино”)». Ошибочность предложенного метода заключается в первую очередь в том, что он является некорректным с математической точки зрения. Некорректность является достаточно часто встречающимся свойством решаемых в естественных науках задач. Основной характеристикой таких задач является то, что неизбежно возникающие при измерениях параметров задачи погрешности приводят к существенно отличающимся от реальных результатам. Для иллюстрации этого проводится численный эксперимент, показывающий, что вычисленный с помощью предложенного Н.А. Шнырёвым метода удельный поток имеет противоположный знак и оказывается в три раза больше по модулю, чем удельный поток, исходно заданный в модельном эксперименте. Кроме того, предложенный метод не учитывает нелинейный характер коэффициента диффузии газа по профилю почвы. Аналогичный метод определения потоков в холодное время года по профилю концентрации метана в снеге также страдает рядом недостатков и приводит к разным результатам в зависимости от вида использованной модели переноса газа в снежной толще. Помимо анализа работы профильного метода, обращено внимание на некоторые не соответствующие критериям научной этики заимствования, ошибочную трактовку процесса фотоокисления метана в камере при измерениях, а также ряд других вопросов.*

**Ключевые слова:** эмиссия метана, болота, некорректные обратные задачи, профильный метод.

**Цитирование:** Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. 2016. О диссертации Н.А. Шнырева: II. Главные замечания // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 7. № 2. С. 38-55.

Феномен... С-а<sup>1</sup> лишний раз убеждает в том, что при соответствующей математической культуре любую, даже бредовую, идею можно подать как конфетку..

Ю.С. Владимиров [2011, с. 177]

## ВВЕДЕНИЕ

### Обработка экспериментальных данных и некорректные обратные задачи

Решение обратных задач является ключевой проблемой во многих естественных науках. Эти задачи образуют основу нашего понимания окружающего мира. Всякое научное исследование различных физических законов основано на сборе и анализе экспериментальных данных и извлечении требуемой информации из этих данных. Фактически это и есть решение обратной задачи. [Жданов, 2007, с. 19]. Если говорить конкретно о проблеме парниковых газов, то обратные задачи для получения информации об удельных потоках на поверхности Земли и о мощности источников в почве решаются в течение, как минимум, последних трех десятилетий довольно часто – см., например, [Орлов и др., 1987; Enting, 1993; Глаголев и Филиппов, 2011; Houweling et al., 2016].

Но инверсия геофизических данных затрудняется тем, что они обычно осложнены шумом и зарегистрированы в ограниченном числе точек наблюдения. Более того, при инверсии используются

<sup>1</sup> Юрий Сергеевич не побоялся назвать фамилию полностью. Мы же из этических соображений посчитали необходимым частично скрыть ее (кроме того, мы считаем, что у С., все-таки, имеются некоторые достижения в некоторых областях науки).

сложные математические модели, которые в то же время являются лишь упрощениями реальных процессов. В результате всего этого решения, как правило, неоднозначны и могут содержать значительные ошибки, связанные с погрешностью исходных данных. Принципиальные вопросы, встающие при изучении геофизических обратных задач, касаются существования, единственности и устойчивости решения [Жданов, 2007, с. 19].

Задача называется корректно поставленной по Ж. Адамару (*корректность в классическом смысле*), если [Самарский и Вабищевич, 2004, с. 15-16]:

- 1) решение задачи существует,
- 2) это решение единственно,
- 3) оно зависит непрерывно от входных данных.

Особое значение имеет именно 3-е условие корректности, которое обеспечивает малость изменений решения при малом изменении входных данных. Входные данные берутся из эксперимента и всегда известны с некоторой погрешностью. Устойчивость решения по отношению к малым возмущениям фактически оправдывает саму постановку задачи, ее познавательную сущность, ценность всего исследования [Самарский и Вабищевич, 2004, с. 16].

Задачи, в которых какое-либо из трех условий корректной постановки (существование, единственность, устойчивость) не выполнено, относятся к классу *некорректных задач* [Самарский и Вабищевич, 2004, с. 21]. К сожалению, с точки зрения классической математической теории практически все геофизические обратные задачи являются некорректно поставленными [Жданов, 2007, с. 20] (и даже шире – обратные задачи вообще математической физики часто относятся к классу некорректных в классическом смысле [Самарский и Вабищевич, 2004, с. 21]). Поскольку краевая задача характеризуется заданием определяющего уравнения, расчетной области, граничных условий<sup>2</sup>, то среди обратных задач можно выделить коэффициентные, геометрические, граничные [Самарский и Вабищевич, 2004, с. 24]. Строгую теоретическую основу для построения эффективных алгоритмов инверсии в различных приложениях дает подход, предполагающий применение различных типов алгоритмов регуляризации [Жданов, 2007, с. 20]. К сожалению, теория некорректных обратных задач и регуляризации еще не вошла повсеместно в курс математики для естественнонаучных факультетов. Поэтому когда биологи и экологи разрабатывают методы оценивания каких-то параметров своих систем, основанные на решении обратной задачи, они часто сталкиваются с некорректностью, но пытаются использовать методы классической математики. В результате, получаемые оценки параметров содержат столь большие погрешности (из-за нарушения 3-го свойства корректности), что искомые оценки оказываются никуда не годными, независимо от качества экспериментальных данных, которое может быть очень высоким (что вдвойне обидно!).

*Целью данной работы, в основном, был анализ некоторых как будет показано далее ошибочных математических построений Н.А. Шнырева, используемых им при описании методов определения удельного потока газа по профилю его концентрации.* Тем самым (и это, конечно, тоже – цель нашей статьи) мы хотели предостеречь широкие круги почвоведов от использования этих негодных методов.

### Используемые сокращения

КаМ – камерный метод;  
УП – удельный поток.

### ВАЖНЕЙШИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

#### Дословное совпадение существенных разделов диссертации с публикациями А.В. Смагина

1) В разд. «*Научная новизна*» (в конце с. 4 – начале с. 5) Н.А. Шнырев [2016] заявляет: «Выявлена зависимость результатов оценки газовых потоков на границе почвы и атмосферы камерно-статическим методом от способов (моделей), использующихся для расчета потоков по трендам динамики концентраций газов в камере-изоляторе».

<sup>2</sup> В общем случае задачи для уравнения с частными производными к этому списку надо добавить еще и начальные условия. Поэтому среди обратных задач можно выделить еще и эволюционные [Самарский и Вабищевич, 2004, с. 24]. Но в нашем случае это не важно, поскольку ниже мы будем обсуждать конкретные модели Н.А. Шнырева, а они представляют собой стационарные одномерные диффузионные уравнения – не зависящие от времени и потому не нуждающиеся в начальных условиях.

Научной новизны в этом нет, т.к. зависимость результатов оценки газовых потоков на границе почва/атмосфера от моделей, используемых для расчета по динамическим концентрационным кривым в камере-изоляторе была неоднократно показана ранее<sup>3</sup> – см., например, [Орлов и др., 1987; Nakano et al., 2004; Kutzbach et al., 2007; Глаголев и др., 2010, с. 31-37]. Более того, этот факт настолько хорошо известен, что уже успел войти в учебные пособия (в частности, таковым является последняя из только что перечисленных публикаций). И Н.А. Шнырев не мог об этой особенности обработки данных не знать, поскольку сам же ссылается в диссертации, по крайней мере, на работу [Орлов и др., 1987], где на сс. 126-128 приведены общие формулы для расчетов УП по линейной и экспоненциальной моделям, а также численный пример (на с. 128), показывающий разницу (в результатах оценки посредством КаМ газовых потоков на границе почвы и атмосферы) при расчетах по этим моделям для конкретного случая перегнойно-глеевой почвы.

Во-вторых, если речь идет о сс. 130-133<sup>4</sup> диссертации, то это не может быть новизной еще и потому, что это все было опубликовано А.В. Смагиным [2014] двумя годами ранее и совпадает в большинстве абзацев дословно. Для иллюстрации этого мы поместили на рис. 1 копии части нескольких страниц из диссертации Н.А. Шнырева и статьи [Смагин, 2014] – читатель сам сможет найти, как говорится, «10 отличий»<sup>5</sup>. Поскольку в своем заключительном выступлении на защите диссертант сказал, что вполне допустимо использовать чужие материалы при согласии их автора, то мы должны подчеркнуть следующее. Главный посыл этого нашего замечания не в том, что нельзя без ссылки использовать чужой текст (хотя мы действительно считаем, что нельзя, даже если автор этого текста и не против, но этому будет посвящено следующее замечание), а в том, что *не может быть научной новизной диссертации Н.А. Шнырева текст, опубликованный единолично другим автором за два года до того*. «Камерная теория» Андрея Валентиновича была по крайней мере дважды<sup>6</sup> без каких-либо соавторов им опубликована на протяжении 2014-2015 гг., она прочно вошла в корпус знаний физики почв и потому не несет теперь в себе какой-либо научной новизны. Следовательно, научная новизна чьей-либо диссертации не может состоять в изложении этой теории, независимо от того, списал ли диссертант ее у А.В. Смагина или разработал сам, да так, что мистическим образом совпали (со статьей А.В. Смагина) слова, их порядок, знаки препинания и обозначения переменных.

2) В конце с. 134 – начале с. 135 в диссертации читаем: «...по-видимому, нельзя исключать и химические реакции, способствующие стоку метана в атмосфере камеры-изолятора, хотя автор, не являясь специалистом в данном вопросе, может и ошибаться в последующем изложении. Так можно предположить... фотохимическое окисление метана. Известно, что основной глобальный сток атмосферного метана – это фотолиз в атмосфере, который составляет величину порядка 490 Тг/год при размахе оценок от 375 до 835 Тг/год [Бажин, 2000; Глаголев, 2010; Смагин, 2005]. Разделив эту величину на площадь поверхности земного шара ( $5.1 \cdot 10^{14}$  м<sup>2</sup>), можно получить ориентировочную оценку соответствующего потока, которая дает в пересчете на календарную продолжительность года 0.11 мг/(м<sup>2</sup>ч), а на световое время (грубо – половина суток) вдвое большую величину. Это довольно

<sup>3</sup> Для примера приведем выдержку из Abstract статьи [Nakano et al., 2004]: «Continuous changes in methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentrations inside a closed chamber were measured... at three sites... in West Siberia, Russian Federation. Flux estimations by three types of regression methods, exponential, nonlinear, and linear, were examined... However, the flux values estimated by linear regression were significantly different from those estimated by the other two methods for both CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>... Our results suggest that linear regression is not a good model of the change in headspace concentration with time».

<sup>4</sup> На защите такой вопрос был Н.А. Шныреву задан («Является ли то, что написано на с. 130-133 диссертации подробным раскрытием следующего пункта научной новизны: “Выявлена зависимость результатов оценки газовых потоков на границе почвы и атмосферы камерно-статическим методом от способов (моделей), используемых для расчета потоков по трендам динамики концентраций газов в камере-изоляторе”»). Диссертант дал на это утвердительный ответ.

<sup>5</sup> Справедливости ради отметим, что кроме других номеров формул и использования знака «d» при записи производной функции одной переменной (что более правильно, чем «d» – у Смагина), было и еще одно отличие. В диссертации Шнырева после формулы 29 (мы на рисунке отметили данное место тремя большими черными точками) шли 5 строк, которых не было на этом месте в статье Смагина. Вот эти строки: «В работе [Орлов и др., 1987] предполагается, что  $S_2 = S$ , хотя это не очевидно. Ведь если газ выходит из камеры в атмосферу вдоль врезки по боковым стенкам, вряд ли для него доступна вся площадь сечения камеры. По основной части этой площади идет восходящий поток из почвы, а значит противоположный поток, исходя из существующего градиента, просто невозможен, иначе нарушается закон Фика».

<sup>6</sup> Ссылку на ту работу Смагина 2014 г., которую заинтересованный читатель сможет найти в открытом доступе в сети Интернет, мы привели выше. Второй раз обсуждаемый здесь материал был опубликован им в [Смагин, 2015].

малые потоки, поэтому выявить их на фоне высоких значений эмиссии в теплое время года сложно. По данным [Глаголев, 2010], медиана значений разности эмиссионных потоков метана в темной и прозрачной камерах составила 0.11 мгС/(м<sup>2</sup>ч) для 38 пар измерений, то есть пренебрежимо малую величину на фоне наблюдаемого характерного значения эмиссии в 6.1 мгС/(м<sup>2</sup>ч). Но по сравнению с полученной выше оценкой фотолитического стока в атмосфере это весьма близкие величины».

Ну и что, – что близкие? Не говоря уже о том, что в [Глаголев, 2010, с. 18-19] четко сказано о статистической необоснованности<sup>7</sup> этих 0.11 мгС/(м<sup>2</sup>ч), логика диссертанта совершенно не ясна. Зачем надо делить глобальный фотолитический сток на площадь поверхности земного шара? Ведь фотолитиз осуществляется не на поверхности, а в некоторой части столба тропосферы. И вот в этом столбе, вознесемся далеко ввысь над поверхностью почвы, в сумме окисляется над каждым метром поверхности 0.11 мг·час<sup>-1</sup>. Если из этого гигантского столба мы вырежем герметичной камерой малюсенький объемчик воздуха (в наших камерах он составлял до 64 литров), то в таком объемчике, разумеется, будет **фотолитически** окисляться не 0.11 мг·час<sup>-1</sup>, а пропорционально меньшее (микроскопическое!) количество метана. Даже нет – не **пропорционально** меньшее, а непропорционально существенно меньшее, поскольку по высоте столба атмосферы условия для фотолитического окисления метана сильно различаются и как раз у поверхности почвы они не так уж благоприятны для этого процесса. Впрочем, об этом пишет сам Н.А. Шнырев (в последнем абзаце на с. 135 диссертации): «Для метана фотолитиз представлен цепью многочисленных реакций с начальной стадией в виде взаимодействия с ОН-радикалами. ...в приземный слой почти не должен поступать коротковолновый ультрафиолет (<310 нм), вызывающий распад озона на О<sub>2</sub> и активный атомарный кислород, под действием которого из молекул воды образуются ОН-радикалы». Более того, об этом ранее писал и Андрей Валентинович Смагин [2014, с. 22]: «Для метана фотолитиз представлен цепью многочисленных реакций с начальной стадией в виде взаимодействия с ОН-радикалами ...в приземный слой почти не должен поступать коротковолновый ультрафиолет (<310 нм), вызывающий распад озона на О<sub>2</sub> и активный атомарный кислород, под действием которого из молекул воды образуются ОН-радикалы».

Столкнувшись с подобным парадоксом, А.В. Смагин формулирует новую сногшибательную гипотезу (см. [Смагин, 2014, с. 22]): «...в этом слое, по-видимому, могут происходить более быстрые процессы фотодиссоциации двуокиси азота под действием более длинноволнового излучения (<420 нм), усиленного к тому же отражением от снега, с формированием атомарного кислорода, а далее – ОН-радикалов». И Н.А. Шнырев, столкнувшись с тем же парадоксом, формулирует ту же сногшибательную гипотезу (в конце с. 135 – начале с. 136 диссертации), правда без какой-либо ссылки на А.В. Смагина: «...в этом слое, по-видимому, могут происходить более быстрые процессы фотодиссоциации двуокиси азота под действием более длинноволнового излучения (<420 нм), усиленного отражением от снега<sup>8</sup>, с формированием атомарного кислорода, а далее – ОН-радикалов».

Правда, Андрей Валентинович честно предупреждал читателя (см. [Смагин, 2014, с. 22]): «...автор, не являясь специалистом в данном вопросе, безусловно, может ошибаться в последующем изложении». Но и Н.А. Шнырев предупреждает (в последнем абзаце на с. 143 диссертации): «...автор, не являясь специалистом в данном вопросе, может и ошибаться в последующем изложении».

Удивительно: дословное совпадение! Если читателю трудно поверить, что такое совпадение возможно, то он может обратиться к рис. 2, где мы поместили копии части нескольких страниц из диссертации Н.А. Шнырева и статьи [Смагин, 2014]. Но это только незначительная часть совпадений, а вообще **по одним только рассмотренным пока нами 2 вопросам (1 – научная новизна и 2 – мифический фотолитиз в камере) в диссертации Н.А. Шнырева практически полностью совпадает со статьями [Смагин, 2014, 2015] тринадцать абзацев, занимающих в диссертации шесть страниц – со 131 по 136**. Поэтому даже не хочется спорить с этими (как они сами признают) неспециалистами, к тому же дословно повторяющими один другого без ссылок.

<sup>7</sup> Вот что говорится в [Глаголев, 2010, с. 18-19]: «Мы также сравнивали эмиссию метана на свету (использовались прозрачные камеры) и в темноте (те же камеры закрывались светонепроницаемым материалом) при измерениях на Бакчарском болоте... Для 38 пар измерений (свет/темнота) характерное значение эмиссии составило 6.1 мгС·м<sup>-2</sup>·час<sup>-1</sup>, а медиана разности между эмиссией на свету и в темноте оказалась равной -0.1 мгС·м<sup>-2</sup>·час<sup>-1</sup>. Такая незначительная разница не была статистически значимой и можно принять равенство эмиссии на свету и в темноте». И так, ссылка Н.А. Шнырева на [Глаголев, 2010] оказывается совершенно неуместной.

<sup>8</sup> Не понятно, какая конкретно физическая характеристика длинноволнового излучения (<420 нм) усиливается при отражении от снега? И почему она усиливается – каков физический механизм этого усиления?

В связи с этим – с тем, что это все списано из [Смагин, 2014, 2015], мы не будем здесь подробно отвечать на эти нелепости, а планируем в будущем в специальной статье ответить непосредственному автору данной гипотезы.

А вообще-то, если отбросить так называемую политкорректность, то мы считаем, что **дословное повторение ранее опубликованного чужого материала без ссылок – это форменное безобразие, совершенно недопустимое в научной работе**. Безусловно, можно случайно ошибиться, случайно забыть поставить ссылку после какой-то чужой мысли. К этому никто бы и не стал придирается. Но 13 подряд идущих абзацев на 6-ти подряд идущих страницах... На наш взгляд это переходит уже всякие допустимые пределы возможных случайных ошибок.

**Диссертантом предложены некорректные (в математическом смысле) методы**

3) Последним пунктом в разд. «Научная новизна» (с. 5) является: «Предложены новые методики... оценки эмиссии метана с учетом его внутрисочвенного окисления (метанотрофного фильтра) в условиях глубокого залегания уровня болотных вод». Методика эта изложена в разд. 3.4 диссертации (с. 150-156) и состоит в следующем. Прежде всего, диссертант принимает следующие предпосылки:

(а) в аэрированной толще метан поглощается метанотрофами, однако на удалении от поверхности поглощение начинает уступать производству газа метаногенами, причем **суммарная функция «сток-источник» является линейно меняющейся с глубиной** (т.е. сразу под поверхностью очень велико поглощение метана, с глубиной оно линейно убывает до нуля, а далее по точно тому же линейному закону происходит увеличение продукции метана);

(б) **коэффициент диффузии метана в толще торфяника может быть принят постоянным;**

(в) УП метана на поверхности постоянен, кроме того, на нижней границе активного торфяного слоя постоянна концентрация или УП.

При сформулированных предположениях профиль концентрации метана в торфянике будет стационарным и он описывается краевой задачей для дифференциального уравнения 2-ого порядка. Диссертант пытается найти решение этой краевой задачи. В случае постоянства УП на нижней границе решение им найдено неправильное (подробнее мы это рассмотрим ниже), а в случае постоянства концентрации – правильное, представляющее собой полином 3-ей степени. В коэффициенты этого полинома входят: коэффициент диффузии, УП на верхней границе и параметры функции источника/стока. Н.А. Шнырев предлагает аппроксимировать наблюдаемые в природе профили концентрации полиномами 3-ей степени, что даст нам численные значения коэффициентов полинома, а далее можно через них выразить вышеперечисленные физические параметры модели, в частности, УП на верхней границе. Такова суть предлагаемой методики. Теперь же мы рассмотрим ошибки, которые диссертант допустил при ее реализации, а так же главную методологическую ошибку, которая делает эту методику непригодной в принципе.

Во-первых, на с. 152 диссертант ставит краевую задачу, описывающую, по его мнению, профиль концентрации газа в активном слое торфа:

$$\text{уравнение внутри слоя: } D \cdot \partial^2 C / \partial z^2 = U - k \cdot z, \quad (\text{ур. 66 в диссертации})$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{верхнее граничное условие: } \partial C / \partial z|_{z=0} = Q/D \\ \text{нижнее граничное условие: } C|_{z=L} = C_0 \text{ или } \partial C / \partial z|_{z=L} = q/D \end{array} \right\} (\text{ур. 65 в диссертации})$$

где  $C_0$ ,  $C$  – концентрации метана в газовой фазе торфа ( $\text{г}/\text{м}^3$ ), соответственно, на глубинах  $L$  и  $z$ ;  $D$  – эффективный коэффициент диффузии метана ( $\text{м}^2/\text{час}$ );  $(U - k \cdot z)$  – функция «сток-источник» для метана в верхнем слое торфяной залежи ( $\text{г} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{час}^{-1}$ );  $L$  – мощность этого слоя (м);  $Q$ ,  $q$  – «поток»<sup>9</sup> метана, соответственно, на поверхности и на нижней границе активного торфяного слоя ( $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ )<sup>10</sup>;  $z$  – глубина (м).

<sup>9</sup> Диссертант путает понятие «поток», и «удельный поток».

<sup>10</sup> Формулируя краевую задачу, Н.А. Шнырев не приводит размерности  $Q$  и  $q$ , а в дальнейшем выражает эти удельные потоки в  $\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ , как это чаще всего делается в работах по данной тематике.

<p>Для врезанной в почву (снег) на глубину <math>\Delta z</math> камеры объемом <math>V=SH</math>, где <math>S = L^2</math> – площадь основания с ребром <math>L</math>; <math>H</math> – высота над поверхностью, будет справедливо следующее выражение баланса массы (<math>m</math>) газа:</p> $\frac{dm}{dt} = QS_1 - qS_2 \pm UV, \quad (28)$	<p>Для врезанной в почву на глубину <math>\Delta z</math> камеры объемом <math>V=S'H</math>, где <math>S=L^2</math> – площадь основания с ребром <math>L</math>, <math>H</math> – высота над поверхностью, будет справедливо следующее выражение баланса массы (<math>m</math>) газа:</p> $\frac{dm}{dt} = QS_1 - qS_2 \pm UV, \quad (5)$
<p style="text-align: center;">131</p> <p>где <math>Q, q</math> – входящий и выходящий в камеру потоки газа, <math>г(м^3 ч)</math>; <math>S_1, S_2</math> – соответствующие площади сечения для этих потоков, <math>м^2</math>; <math>U</math> – функция источник-сток для газа внутри камеры, <math>г(м^3 ч)</math>. Пусть <math>C = m/V</math> – концентрация газа в камере (<math>г/м^3</math>), зависящая от времени <math>t</math>, ч. В окружающей атмосфере будем считать концентрацию постоянной и равной <math>C_0</math>. Полагая, что газ выделяется в камеру из почвы (снега) через все сечение камеры (<math>S_1 = S</math>) с потоком <math>Q</math>, диффундирует в обратную сторону с постоянным коэффициентом диффузии (<math>D, м^2/ч</math>), проходя путь <math>\Delta z</math> через почву (снег) в атмосферу с боковыми потоками интенсивностью <math>q = D(C-C_0)/\Delta z</math>, а также способен поглощаться внутри камеры с кинетикой первого порядка (<math>U = -kC</math>), где <math>k</math> – кинетическая константа, <math>1/ч</math>, получаем из уравнения (28):</p>	<p>где <math>Q, q</math> – входящий и выходящий в камеру потоки газа [<math>гм^3 час^{-1}</math>], <math>S_1, S_2</math> – соответствующие площади сечения для этих потоков, [<math>м^2</math>], <math>U</math> – функция «источник-сток» для газа внутри камеры, [<math>гм^3 час^{-1}</math>]. Пусть <math>C = m/V</math> – концентрация газа в камере, [<math>г/м^3</math>], зависящая от времени <math>t</math>, [час]. В окружающей атмосфере будем считать концентрацию постоянной и равной <math>C_0</math>. Полагая, что газ выделяется в камеру из почвы через все сечение камеры (<math>S_1 = S</math>) с потоком <math>Q</math>, диффундирует в обратную сторону с постоянным коэффициентом диффузии (<math>D, м^2/час</math>), проходя путь <math>\Delta z</math> через почву в атмосферу с боковыми потоками интенсивностью <math>q = D(C-C_0)/\Delta z</math>, а также способен поглощаться внутри камеры с кинетикой первого порядка (<math>U = -kC</math>), где <math>k</math> – кинетическая константа, [<math>час^{-1}</math>], получаем из (5):</p> $\frac{dC}{dt} = \frac{Q}{H} - \frac{DCS_2}{\Delta zHL^2} + \frac{DC_0S_2}{\Delta zHL^2} - kC, \quad (6)$ <p>Теоретически оценить величину <math>S_2</math> весьма непросто. Поэтому мы рассмотрим два крайних случая. Первый <math>S_2=S</math> сохраним из работы [Орлов и др., 1987], а во втором примем, что <math>S_2</math> равна «тени» от глубины врезки камеры и пути диффузионного переноса <math>\Delta z</math>, то есть <math>S_2 = 4 \cdot L \cdot \Delta z</math>. Тогда после</p>
<p style="text-align: center;">● ● ●</p> <p>Теоретически оценить величину <math>S_2</math> весьма непросто. Поэтому рассмотрим два крайних случая. Первый: сохраним <math>S_2 = S</math> как в работе [Орлов и др., 1987], а во втором примем, что <math>S_2</math> равна «тени» от глубины врезки камеры и пути диффузионного переноса <math>\Delta z</math>, то есть <math>S_2 = 4L\Delta z</math>. Тогда после соответствующей группировки компонентов уравнения (29): <math>A=Q/H+DC_0/(\Delta zH)</math> или <math>A=Q/H+DC_0/(4LH)</math> и <math>b = D(\Delta zH)+k</math> или <math>b = 4D(LH)+k</math>, имеем:</p> $\frac{dC}{dt} = A - bC, \quad (30)$ <p>Решением уравнения (29) при условии равенства концентрации в камере в начальный момент времени <math>t = 0</math> величине <math>C_0</math> служит экспоненциальная функция вида:</p>	<p>соответствующей группировки компонентов (6): <math>A=Q/H+DC_0/(\Delta zH)</math> или <math>A=Q/H+DC_0/(4LH)</math> и <math>b=D(\Delta zH)+k</math> или <math>b=4D(LH)+k</math>, имеем:</p> $\frac{dC}{dt} = A - bC, \quad (7)$ <p>Решением (7) при условии равенства концентрации в камере в начальный момент времени <math>t=0</math> величине <math>C_0</math> служит экспоненциальная функция вида:</p> $C(t) = \frac{A}{b} + \left( C_0 - \frac{A}{b} \right) \exp(-bt). \quad (8)$ <p>Производя замену обозначений <math>y_0=A/b, a=(C_0-A/b)</math> и аппроксимируя тренды нелинейной монотонной динамики концентраций в камере-изоляторе полученным из (8) уравнением <math>C(t)=y_0+a \exp(-bt)</math>, что неспожно сделать, используя стандартный перечень функций из приложения для нелинейной регрессии Regression Wizard программы S-Plot 9, можно оценить параметры <math>y_0, a, b</math>, а по ним константу <math>k</math> и искомый поток <math>Q</math>, согласно формулам:</p>
<p style="text-align: center;">132</p> $C(t) = \frac{A}{b} + \left( C_0 - \frac{A}{b} \right) \exp(-bt). \quad (31)$ <p>Делая замену <math>y_0=A/b, a=(C_0-A/b)</math> и аппроксимируя тренды нелинейной монотонной динамики концентраций в камере-изоляторе уравнением:</p> $C(t) = y_0 + a \exp(-bt) \quad (32)$ <p>из стандартного перечня функций приложения нелинейной регрессии «Regression Wizard» программы SigmaPlot 9, получаем следующие выражения для расчета физических параметров модели (29), включая исследуемые потоки <math>Q</math>:</p> $C_0 = y_0 + a, \quad (33)$ $k = b - \frac{D}{\Delta zH} \quad \text{или} \quad k = b - \frac{4D}{LH}, \quad (34)$	$C_0 = y_0 + a, \quad (9)$ $k = b - \frac{D}{\Delta zH} \quad \text{или} \quad k = b - \frac{4D}{LH}, \quad (10)$

**Рис. 1.** И это научная новизна?

Слева – конец с. 130, с. 131 и начало с. 132 из диссертации Н.А. Шнырева [2016]; справа – конец с. 19 и начало с. 20 из статьи Смагина [2014]. В диссертации после формулы (29) мы поставили три черные точки – пояснение см. в тексте.

<p>Возникает резонный вопрос о природе дополнительного стока метана из камеры, установленной на снежный покров большой (40-60 см и более) мощности. Биологический фактор, по-видимому, следует исключить из-за отрицательных температур и малой вероятности заселения поверхности снега метанотрофными организмами. Спорадические данные об активности микроорганизмов при температурах ниже <math>-10...-15^{\circ}\text{C}</math> относятся к почвам, причем есть основания считать их спекулятивными [Смагин и др., 2004]. Кроме того, если в снежном покрове возможны подобные процессы, это ставит под сомнение всю палеореконструкцию состояния атмосферы и климата по газовому составу ледниковых кернов. Предположение о сорбции метана поверхностью снега также кажется маловероятным, поскольку по мере продвижения газа из почвенного источника соответствующее межфазное равновесие должно быть уже реализовано. Однако если речь идет о быстром конвективном массопереносе, формирующем в камере повышенную по сравнению с атмосферной концентрацию, здесь может происходить последующая дополнительная адсорбция газа, а кинетика этого процесса как раз соответствует первому порядку [Смагин, 2005].</p>	<p>Возникает резонный вопрос о природе дополнительного стока метана. Биологический фактор, по-видимому, следует исключить из-за отрицательных температур и малой вероятности заселения поверхности снега метанотрофными организмами. Предположение о сорбции метана поверхностью снега также кажется маловероятным, поскольку по мере продвижения газа из почвенного источника соответствующее межфазное равновесие должно быть уже реализовано. Однако, если речь идет о быстром конвективном массопереносе, формирующем в камере повышенную по сравнению с атмосферной концентрацию, здесь может происходить последующая дополнительная адсорбция, а кинетика этого процесса как раз соответствует первому порядку [Смагин, 2005]. Вместе с тем нельзя исключать и химические реакции, способствующие стоку метана в атмосфере камер-изолятора, и в частности – фотоллиз метана, хотя автор, не являясь специалистом в данном вопросе, безусловно, может ошибаться в последующем изложении.</p>
<p>Вместе с тем, по-видимому, нельзя исключать и химические реакции, способствующие стоку метана в атмосфере камеры-изолятора, хотя автор, не являясь специалистом в данном вопросе, может и ошибаться в последующем изложении. Так можно предположить, что метан вступает во взаимодействие с органическим материалом камеры-изолятора. Но более вероятен другой механизм, а именно – фотохимическое окисление метана. Известно, что основной глобальный сток атмосферного метана – это фотоллиз в атмосфере, который составляет величину порядка 490 Тг/год при размахе оценок от 375 до 835 Тг/год [Бажин, 2000; Глаголев, 2010; Смагин, 2005]. Разделив эту величину на площадь поверхности земного шара (<math>5.1 \cdot 10^{14} \text{ м}^2</math>), можно получить ориентировочную оценку соответствующего потока, которая дает в пересчете на календарную</p>	<p>Известно, что основной глобальный сток атмосферного метана – это фотоллиз в атмосфере, который составляет величину порядка 490 Тг/год при размахе оценок от 375 до 835 Тг/год [Бажин, 2000, Смагин, 2005]. Разделив эту величину на площадь поверхности земного шара, можно получить ориентировочную оценку соответствующего потока, которая даст в пересчете на календарную продолжительность года <math>0,11 \text{ мг/м}^2/\text{час}</math>, а на световое время (грубо – половина суток) вдвое большую величину. Как видно, это довольно малые потоки, поэтому вызвать их на фоне высоких значений эмиссии в теплое время года проблематично. По данным [Глаголев, 2010] медиана значений разности эмиссионных потоков метана в темной и прозрачной камерах составила <math>0,11 \text{ мгС/м}^2/\text{час}</math> для 38 пар измерений, то есть пренебрежимо малую величину на фоне наблюдаемого характерного значения эмиссии в <math>6,1 \text{ мгС}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{час}^{-1}</math>. Но в сравнении с полученной выше оценкой фотоллиза в атмосфере это весьма похожая величина (разницей в единицах измерения можно пренебречь, поскольку молярная масса метана близка к таковой для углерода). Интересно, что в работе А.В. Наумова [2004], который, по-видимому, впервые обратил внимание на различия оценок эмиссии метана в темноте и на свету, исследуемые характерные потоки были низкими, и на их фоне, вероятно, мог проявляться механизм фотоллиза, хотя автор выдвинул для объяснения гипотезу поглощения метана фотохемотрофными организмами.</p>
<p>135 продолжительность года <math>0,11 \text{ мг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})</math>, а на световое время (грубо – половина суток) вдвое большую величину. Это довольно малые потоки, поэтому вызвать их на фоне высоких значений эмиссии в теплое время года сложно. По данным [Глаголев, 2010], медиана значений разности эмиссионных потоков метана в темной и прозрачной камерах составила <math>0,11 \text{ мгС}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})</math> для 38 пар измерений, то есть пренебрежимо малую величину на фоне наблюдаемого характерного значения эмиссии в <math>6,1 \text{ мгС}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})</math>. Но по сравнению с полученной выше оценкой фотоллиза в атмосфере это весьма близкие величины (разницей в единицах измерения можно пренебречь, поскольку молярная масса метана близка к таковой для углерода). Интересно, что в работе Наумова [2004], который обратил внимание на различия оценок эмиссии метана в темноте и на свету, исследуемые характерные потоки были низкими, и на их фоне, по-видимому, мог проявляться механизм фотоллиза, хотя автор выдвинул для объяснения гипотезу поглощения метана фотохемотрофными организмами.</p>	<p>Для метана фотоллиз представлен цепью многочисленных реакций с начальной стадией в виде взаимодействия с ОН-радикалами [Бажин, 2000]. Поэтому в общем случае константа фотоллиза связана близкой к линейной зависимостью с концентрацией ОН-радикалов и в характерном для тропосферы диапазоне (заметим, ничтожно малых концентраций) <math>0,5 \cdot 10^4 &lt; \text{ОН}^* &lt; 6 \cdot 10^4 \text{ молекул}/\text{см}^3</math> меняется от <math>1 \cdot 10^{-3}</math> до <math>2,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}</math> [Jackson et al., 2009]. Очевидно, что даже верхняя граница этого диапазона, представленная значением <math>k=0,09 \text{ час}^{-1}</math>, все-таки почти вдвое ниже полученной нами экспериментальной оценки для тренда стока метана на рис. 2. К тому же в приземный слой почти не должен поступать коротковолновый ультрафиолет (<math>&lt;310 \text{ нм}</math>), вызывающий распад озона на <math>\text{O}_2</math> и активный атомарный кислород, под действием которого из молекул воды образуются ОН-радикалы. Однако в этом слое, по-видимому, могут происходить более быстрые процессы фотодиссоциации двуокиси азота под действием более длинноволнового излучения (<math>&lt;420 \text{ нм}</math>), усиленного к тому же отражением от снега, с формированием атомарного кислорода, а далее – ОН-радикалов. Для фотохимических реакций азотного цикла характерное время составляет даже не час, а минуту, то есть это весьма быстрые процессы, приуроченные, по-видимому, к поверхностному слою вблизи потенциальных источников окиси и двуокиси азота [Маркова и др., 2014]. Производство же немного более высоких, чем <math>6 \cdot 10^4 \text{ молекул}/\text{см}^3</math> концентраций ОН-радикалов вполне может увеличить, согласно количественной зависимости [Jackson et al., 2009] константу фотоллиза, доведя ее значения до полученной нами экспериментальной оценки в <math>0,245 \text{ час}^{-1}</math>.</p>
<p>В общих чертах фотоллиз можно характеризовать кинетикой первого порядка с соответствующей константой <math>k</math> [Jacob, 1999]. Для метана фотоллиз представлен цепью многочисленных реакций с начальной стадией в виде взаимодействия с ОН-радикалами. Поэтому в общем случае константа фотоллиза связана близкой к линейной зависимостью с концентрацией ОН-радикалов и в характерном для тропосферы диапазоне (заметим, ничтожно малых концентраций) <math>0,5 \cdot 10^6 &lt; \text{ОН}^* &lt; 6 \cdot 10^6 \text{ молекул}/\text{см}^3</math> меняется от <math>1 \cdot 10^{-5}</math> до <math>2,5 \cdot 10^{-5} \text{ л}/\text{с}</math> [Jackson et al., 2009]. Очевидно, что даже верхняя граница этого диапазона, представленная значением <math>k=0,09 \text{ л}/\text{ч}</math>, почти вдвое меньше полученной экспериментальной оценки для тренда стока метана на рис. 49–Б. Расчет по известной величине глобального фотоллиза (490 Тг/год) при массе атмосферного</p>	<p>В целом, нам пока не представляется возможным принять или отвергнуть гипотезу о</p>

**Рис. 2.** И это гипотеза Н.А. Шнырева? А разве не А.В. Смагина?

Слева – конец сс. 134, 135 из диссертации Шнырева [2016]; справа – конец с. 21 и начало с. 22 из статьи Смагина [2014].

Далее Н.А. Шнырев приводит решение этой задачи

$$C(z) = -k \cdot z^3 / (6 \cdot D) + U \cdot z^2 / (2 \cdot D) + Q \cdot z / D + A, \quad (\text{ур. 67 в диссертации})$$

в которое, как видим, входит некий параметр  $A$ . Относительно него диссертант (на с. 152) замечает лишь, что « $A$  – константа интегрирования, определяемая из второго граничного условия постоянства концентрации или потока ( $q$ )». Но почему-то не дает никакой формулы, конкретно показывающей, как определить  $A$  из второго граничного условия. Возможную причину того, почему это не делается для условия постоянной концентрации, мы обсудим ниже. А сейчас рассмотрим условие постоянства потока  $q$ . Очевидно, что, **вопреки утверждению диссертанта, константа  $A$  не может быть определена из второго граничного условия постоянства  $q$** . Действительно, чтобы  $C(z)$  удовлетворяло этому условию, необходимо продифференцировать решение и в точке  $z = L$  приравнять его  $q/D$ . Но посмотрите, при дифференцировании константа  $A$  исчезает:

$$\partial C / \partial z|_{z=L} = \partial [-k \cdot z^3 / (6 \cdot D) + U \cdot z^2 / (2 \cdot D) + Q \cdot z / D + A] / \partial z|_{z=L} = -k \cdot L^2 / (2 \cdot D) + U \cdot L / D + Q / D.$$

Так что если теперь мы приравняем полученное выражение  $q/D$ , то  $q$  окажется никак не связано с  $A$ :

$$-k \cdot L^2 / (2 \cdot D) + U \cdot L / D + Q / D = q / D.$$

Теперь видно, что в случае второго граничного условия постоянства  $q$ , для стационарности профиля должна соблюдаться строгая связь между «потоками» на нижней и верхней границах:

$$q = Q - k \cdot L^2 / 2 + U \cdot L,$$

а константа  $A$  может быть... любой<sup>11</sup>! Физический смысл этого почти очевиден. Чтобы он стал совсем очевидным, рассмотрим простейший случай: пусть в рассматриваемом слое торфа нет источников и стоков метана, т.е.  $k = U = 0$ . Тогда полученное условие дает нам:  $q = Q$ . Так и должно быть! Если никто не потребляет и никто не производит метан в слое торфа, то его количество, которое за единицу времени сверху выходит из данного слоя в стационарных условиях, должно быть в точности равно тому количеству метана, которое за ту же единицу времени входит в этот слой снизу. И не важно, сколько метана находится в этом слое (а это как раз определяется константой  $A$ ). Вот, наверное, неплохая аналогия. Представим себе бассейн, в который одна труба подает воду, а через другую вода откачивается. Если система находится в стационарном состоянии, то интенсивность поступления воды (поток) должна в точности равняться интенсивности ее откачивания. При этом если в бассейне был слой воды 1 м, то так и останется – 1 м, даже если мы увеличим интенсивность подачи и (одновременно с этим!) интенсивность откачивания воды в 10 раз. А если был слой воды в 2 м, то останется 2 м. Толщина слоя воды (задаваемая константой, аналогичной  $A$ ) в стационарном состоянии (и только в нем!) никак не будет связана с интенсивностью подачи воды. Иными словами, в стационарном состоянии  $A$  никак не связана с  $q$ ! Итак, с одной ошибкой Н.А. Шнырева мы разобрались.

Во-вторых, как уже было сказано выше, **Н.А. Шнырев ставит (и решает) краевую задачу для уравнения с постоянным коэффициентом диффузии**. Но тут возникает противоречие с реальными данными, которые он сам же приводит в диссертации на рис. 55: **коэффициент диффузии оказывается весьма сильно изменяющимся с глубиной** (он уменьшается примерно в 4 раза при переходе от 0.1 до 0.4 м). Как известно из курса математической физики (см., например, [Арсенин, 1984, с. 28; Владимиров, 1988, с. 51] и др.), в этой ситуации правильным будет не то уравнение, которое дал диссертант, а вот такое (обратите внимание на левую часть):

$$\partial [D(z) \cdot \partial C / \partial z] / \partial z = U - k \cdot z. \quad (*)$$

<sup>11</sup> Если говорить более строго, то, все-таки, не совсем любой. Поскольку по физическому смыслу  $C$  – это концентрация, а концентрация всегда неотрицательна, то  $A$  может принимать лишь такие значения, при которых  $C(z) \geq 0 \forall z \in [0, L]$ . Кроме того, концентрация не может быть бесконечно большой, так что и сверху  $C(z)$  очевидным образом ограничена.

Столкнувшись с переменным коэффициентом диффузии, Н.А. Шнырев не меняет своей методики и все равно кладет в ее основу уравнение с постоянным коэффициентом, однако предлагает (на с. 155-156) в качестве этой константы брать некий «средневзвешенный» коэффициент диффузии. Таким образом, очевидно, что предлагаемый алгоритм базируется на приближенном решении (полученном путем аппроксимации уравнения с переменным коэффициентом уравнением со специальным образом выбранным – «средневзвешенным» – постоянным коэффициентом).

Хорошо известно<sup>12</sup>, что при решении задачи с использованием компьютера на одном из первых этапов<sup>13</sup> проводят исследование свойств вычислительной задачи, в процессе которого большое внимание уделяют анализу корректности ее постановки, т.е. выяснению вопросов существования и единственности решения, а также исследованию устойчивости решения задачи к погрешностям входных данных [Амосов и др., 2008, с. 19]. Более того, *перед реализацией алгоритма* на ЭВМ *необходимо* теоретически *оценить его качество и провести исследования на: устойчивость алгоритма; сходимост ь алгоритма; точност ь вычислений*<sup>14</sup> [Маликов, 2010, с. 26]. Это – отдельное исследование, поскольку решение задачи самой по себе может существовать, быть единственным и устойчивым к погрешностям входных данных, но для решения такой «хорошей» корректной задачи мог быть выбран «плохой» алгоритм – неустойчивый и/или неточный и/или вообще не сходящийся к решению данной задачи. **Ни одно из этих исследований в диссертации не отражено и, судя по всему, они вообще диссертантом не проводились**, хотя, учитывая то, что речь идет об аппроксимации довольно простого линейного уравнения, исследования устойчивости, сходимости и точности не должны были вызвать никаких проблем. Мы не будем проводить за диссертанта его работу<sup>15</sup> (раз уж он предлагает алгоритм, то должен был либо провести исследование вышеперечисленных свойств по всей форме, либо привести ссылки на литературу, если это было кем-то сделано ранее), а просто на численном примере продемонстрируем его феерическую неточность.

Будем решать краевую задачу, содержащую дифференциальное уравнение (\*) и краевые условия (65), причем условие на нижней границе возьмем, разумеется, 1-го рода. Численные значения:  $U = 0.7 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{час}^{-1}$ ,  $k = 7.9 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-4} \cdot \text{час}^{-1}$ ,  $Q = 0.08 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$  (поскольку именно такие значения получились у Н.А. Шнырева на с. 156 диссертации – после решения обратной задачи идентификации  $U$ ,  $k$  и  $Q$ ),  $C_0 = 0.663 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$  (поскольку такова концентрация  $\text{CH}_4$  на самой большой<sup>16</sup> исследованной диссертантом глубине  $L = 0.45 \text{ м}$ ).

В диссертации (на рис. 55) Н.А. Шнырев приводит зависимость коэффициента диффузии от глубины в явном виде:

$$D(z) = -0.641 \cdot z^3 + 0.0247 \cdot z^2 + 0.0109 \cdot z + 0.0471. \quad (**)$$

Из рис. 55 диссертации видно, что в диапазоне глубин  $0.1 \leq z \leq 0.4 \text{ м}$  эта формула хорошо описывает все 4 экспериментальные точки<sup>17</sup>. К сожалению такая чисто эмпирическая, физически

<sup>12</sup> См. какие-либо курсы вычислительных методов или математического моделирования, например, [Амосов и др., 2008, с. 19; Маликов, 2010, с. 26].

<sup>13</sup> Согласно А.А. Амосову и др. [2008, с. 19], на 4-ом этапе – после постановки проблемы, построения математической модели и постановки вычислительной задачи.

<sup>14</sup> К этому списку еще добавляется исследование на экономичность вычислений [Маликов, 2010, с. 26], однако понятно, что по сравнению с только что перечисленными оно не столь критично (особенно если речь идет о разовых расчетах) и не является жизненно необходимым. Одно дело – если алгоритм неустойчив (т.е. небольшие погрешности в исходных данных порождают большие погрешности в результатах), не сходится к решению поставленной задачи или не обеспечивает необходимую точность ее решения. И совсем другое – если он устойчив, сходится к решению с необходимой точностью, но тратит на это, скажем, в 2 раза больше операций (и/или машинного времени), чем некий «идеальный алгоритм».

<sup>15</sup> Честно говоря, главным образом потому, что предполагаем: если кто и будет читать нашу статью, то в подавляющем большинстве это будут не математики, а биологи (экологи). Математику тут и так все ясно с первого взгляда, а если не ясно, то он самостоятельно минут за 15 выведет формулу погрешности. Эколога же строгое доказательство неточности данного метода может разве что усыпить, но вряд ли – убедить. Поэтому лучше приведем конкретный численный пример, снабженный графической иллюстрацией.

<sup>16</sup> Из тех глубин, что представлены на рис. 53 диссертации.

<sup>17</sup> Видимо, чтобы подчеркнуть это, Шнырев приводит значение  $R^2 = 1$ , что в данном случае воспринимается не иначе как милая шутка. Кто же не знает, что при проведении полинома 3-ей степени (с 4 идентифицируемыми коэффициентами) через любые 4 несовпадающие точки  $R^2$  будет равен 1 по определению?

никак не обоснованная формула не позволяет провести экстраполяцию на большие глубины, поскольку при  $z \geq 0.446$  м  $D$  становится отрицательным. В наших расчетах на отрезке  $0.1 \leq z \leq 0.4$  м мы использовали вышеприведенную формулу, а при  $z > 0.4$  м принимали  $D(z) = D(0.4)$ . Численное интегрирование сформулированной выше краевой задачи осуществляли при помощи функции `bvp4c`, входящей в ядро системы MATLAB R14. Полученное решение представлено у нас на рис. 3, на котором для сравнения приведено и приближенное «решение», полученное Н.А. Шныревым путем осреднения коэффициента диффузии. Как видно из рисунка, эти два решения очень сильно различаются. Поэтому, когда «решение» Н.А. Шнырева проходит через экспериментальные данные, то это вовсе не хорошо, а очень плохо! Если бы метан вырабатывался/поглощался в соответствии с функцией «сток-источник», задаваемой в том виде, который предполагает диссертант:  $0.7-7.9 \cdot z$ , то профиль его концентрации, формирующийся в среде с коэффициентом диффузии, задаваемым формулой (\*\*\*) и проходящий на глубине 0.45 м через значение  $0.663 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , а на поверхности обеспечивающий диффузионный поток в атмосферу  $0.08 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ , проходил бы существенно выше чем наблюдавшиеся диссертантом экспериментальные значения. А конкретно – там, где на рис. 3 проходит непрерывная линия. Соответственно, экспериментальные данные, которые получил Н.А. Шнырев, соответствуют иной ситуации: возможно, другой была функция источника и/или поток на границе почва/атмосфера (коэффициент диффузии и концентрация на глубине 0.45 м другими быть не могли, потому что это – экспериментальные данные). Итак, мы разобрались с 3-ей ошибкой Н.А. Шнырева – неправомерной заменой уравнения с существенно меняющимся коэффициентом диффузии (\*\*\*) примитивным уравнением с постоянным «средневзвешенным» коэффициентом диффузии.

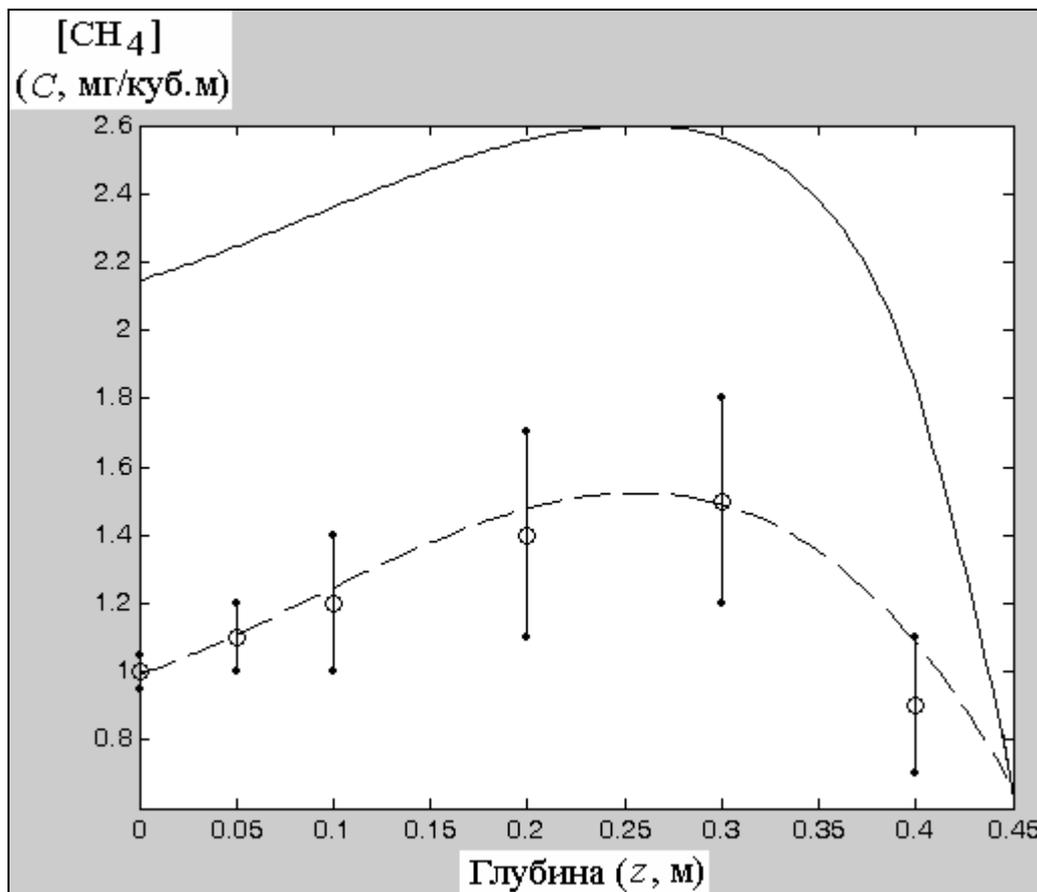
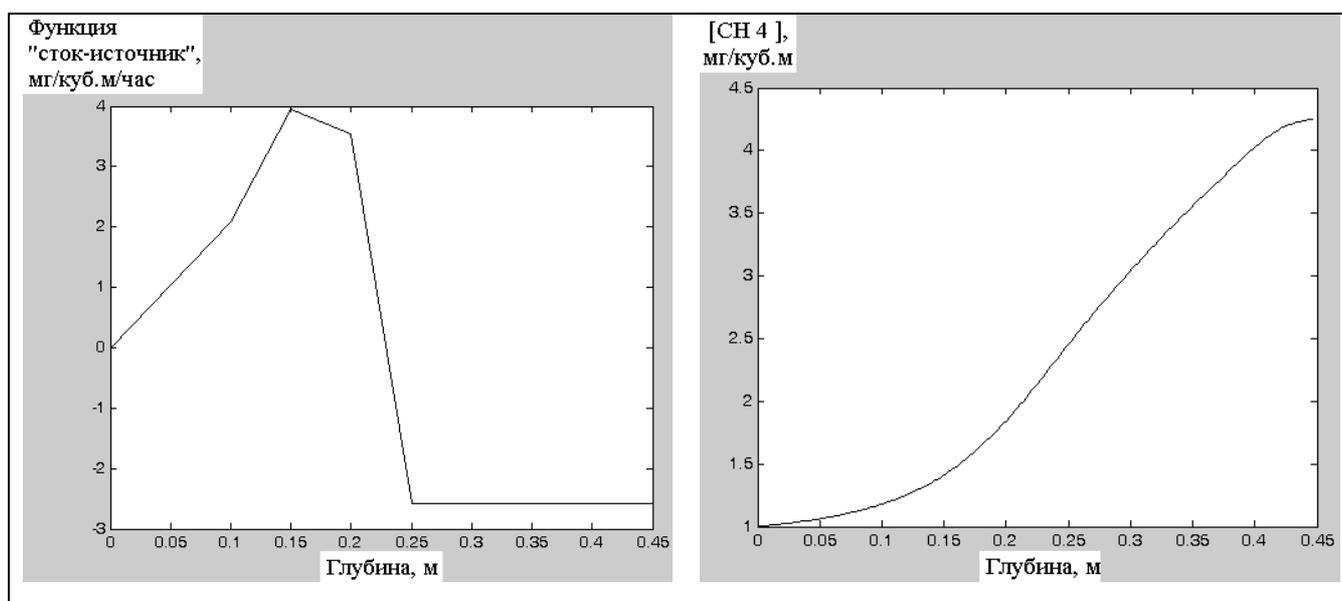


Рис. 3. К погрешности «метода Шнырева».

О – экспериментальные данные, взятые из рис. 53 диссертации Н.А. Шнырева;

--- – «решение» краевой задачи, данное диссертантом при помощи его «метода осреднения» коэффициента диффузии;

— – решение краевой задачи, полученное общепринятым методом (именно такой профиль метана сформировался бы в торфянике, если бы диффузия шла в соответствии с краевой задачей, поставленной Н.А. Шныревым). Как видим, оно «не лезет ни в какие ворота», если под таковыми понимать «усики», которыми диссертант снабдил экспериментальные значения.



**Рис. 4.** Краевая задача с функцией «сток-источник», нелинейно зависящей от глубины. Слева – вид использованной нами в расчетах функции «сток-источник»; справа – решение краевой задачи

В-третьих – самое главное. Все приведенные выше ошибки можно достаточно просто исправить. Первая ошибка вообще не сказывается в диссертационной работе, поскольку Н.А. Шнырев решает задачу с нижним граничным условием только 1-го, а не 2-го рода. Вторая ошибка может быть исправлена, если он освоит методы решения краевых задач для одномерного стационарного уравнения диффузии с переменным коэффициентом. Но предлагаемому диссертантом методу свойственна гораздо более глубокая порочность. И заключается она в постулировании функции «сток-источник», линейно зависящей от глубины. Уверены ли мы, что эта функция всегда именно такова? А если она отличается от линейной, то какую погрешность в искомом УП на границе раздела почва/атмосфера ( $Q$ ) породит разница между истинной (имеющей место в природе) и бесосновательно принятой в методе линейной функцией? Опять-таки, мы не будем делать за диссертанта его работу – не будем проводить необходимое в таких случаях полное исследование зависимости погрешности от нормы разности соответствующих функций. А, как и выше, просто продемонстрируем, к каким катастрофическим последствиям это приводит (забегая вперед скажем, что даже знак УП определяется неверно).

Методология такой проверки состоит в следующем. Пусть тестируется какой-то метод, предназначенный для определения некоего параметра  $p$  по экспериментальным данным. Представляется достаточно очевидным, что для проверки качества этого метода использовать какие-либо реальные экспериментальные данные невозможно. Действительно, пусть метод, примененный к таким данным, дал какой-то разумный результат – какую-то разумную величину  $p$ . Но откуда мы можем знать, что этот результат – правильный!? Ведь и на 30% большее значение, и на 30% меньшее – тоже будут вполне разумными. Более того, обычно «разумное» значение – это значит, что порядок его совпадает с истинным, так что какие уж тут 30% – речь вполне может идти и о 300%, и о 500%... Следовательно, вместо реальных экспериментальных данных надлежит использовать некие «идеальные» данные, параметры которых нам абсолютно точно известны, поскольку мы же сами их и задали. Однако следует учитывать, что в реальном эксперименте исследователь может получить данные только с некоторой погрешностью. Поэтому нам следует на рассчитанные «идеальные» величины некоторый шум. Это можно сделать с помощью датчика случайных чисел. Именно такие зашумленные данные следует обрабатывать тестируемым алгоритмом<sup>18</sup> с целью

<sup>18</sup> Для полной чистоты эксперимента по тестированию метода лучше будет, если «идеальные экспериментальные данные» получает один человек (и только он знает истинные значения параметра  $p$ , при котором эти данные были получены), а обратную задачу по определению  $p$  из этих данных при помощи тестируемого метода решает другой человек. В нашем случае это удобно было сделать в связи с тем, что, во-первых, у данной статьи более одного автора и, во-вторых, научным руководителем диссертации Н.А. Шнырева являлся такой любознательный исследователь, как проф. Смагин. Работа по тестированию метода Шнырева была осуществлена следующим образом: Глаголев сгенерировал «идеальные экспериментальные данные» при некотором (одному ему ведомом) значении  $Q$  и передал эти данные Александру Фаритовичу и Андрею Валентиновичу, а те, в совершенстве освоив метод Шнырева, безуспешно попытались при помощи него вычислить – каково же было значение  $Q$  (безуспешно – в том смысле, что вычислить заложенное Глаголевым значение

определения его качества. Показатель качества очевиден: это будет разница между тем, что выдаст данный алгоритм и тем, что было нами заложено в расчет для получения исходных «идеальных экспериментальных данных». В облегченном варианте изложенной методологии случайный шум можно не накладывать – для особо плохих (очень плохо обусловленных или вообще некорректных) методов достаточно будет той мизерной погрешности, которая вносится ошибками округления. Поскольку некорректность метода Н.А. Шнырева априори интуитивно очевидна<sup>19</sup>, то мы не стали усложнять задачу и использовать генератор псевдослучайных чисел. Как вскоре увидит читатель, метод Н.А. Шнырева «разваливается» и безо всякого такого генератора.

Итак, предположим, что функция «источник-сток» имеет в какой-то реальной природной ситуации несколько иной вид, чем это постулируется в методе Н.А. Шнырева. Например, в [Паников, 1995] показано (для конкретного объекта), что в поверхностном слое почвы скорость потребления метана – практически нулевая<sup>20</sup>. Потом она возрастает (почти линейно) до глубины 20 см, а глубже – падает. Метаногенная активность на этом же объекте была нулевой до глубины 15 см, а потом резко возросла, достигнув максимума на глубине 25 см, и потом уже почти не менялась вплоть до очень больших глубин (110 см). Таким образом, в природе возможны (по крайней мере) не только линейно меняющиеся с глубиной функции «сток-источник» (кстати, может ли диссертант привести какие-либо свидетельства того, что кто-то где-то такую линейную функцию экспериментально наблюдал?).

Будем решать краевую задачу с переменным коэффициентом диффузии (\*\*\*) для уравнения (\*), но в правую часть этого уравнения вместо линейной функции «сток-источник», подставим ту, что изображена слева на рис. 4. Теперь – краевые условия. Пусть измерения на глубине 0.45 м дали значение концентрации  $4.2494 \text{ мг/м}^3$ . И вот – самое главное: будем искать такой профиль концентраций, который обеспечит диффузионный поток на границе почва/атмосфера (т.е. верхнее краевое условие) равным  $0.05 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{час}^{-1}$ . Решение, полученное численным интегрированием при помощи функции `bvp4c`, показано в правой части рис. 4. Из решения следует, что для глубин 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 и 0.45 м имеем примерно такие значения концентраций метана: 1, 1.06, 1.17, 1.85, 3.03, 4.03 и  $4.25 \text{ мг/м}^3$ , соответственно. Применим к ним «метод Шнырева», чтобы посмотреть – какую величину УП он даст (а мы-то знаем, что на самом деле она составляет  $0.05 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{час}^{-1}$ ). На рис. 5 мы приводим распечатку графика полинома 3-ей степени, построенной стандартными средствами Excel по точкам с вышеприведенными координатами. Как видим, полином очень хорошо описал «экспериментальные данные». Если сравнить с рис. 53 диссертации (у нас экспериментальные данные с этого рисунка и проведенный по ним Николаем Андреевичем полином приведены на рис. 2, соответственно, в виде кружочков и прерывистой линии), то очевидно, что полученное сейчас качество аппроксимации – не хуже (даже лучше!). И коэффициент детерминации подтверждает это. Для экспериментальных данных Николая Андреевича, как это отображено на его рис. 53,  $R^2 = 0.9385$ . А для наших «идеальных экспериментальных данных»  $R^2 = 0.9883$ . Но если читатель попытается применить «метод Шнырева» к этим данным (умножит  $D = 0.04 \text{ м}^2/\text{час}$  на коэффициент при первой степени аргумента, т.е. на  $-3.8271 \text{ мг/м}^4$  – см. полином, приведенный на нашем рис. 5), то он получит  $Q = -0.15 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{час}^{-1}$ . Вот! Даже знак не совпал!!! Такова цена этого «метода» - даже не «копейка в базарный день», а, так сказать, минус 15 копеек...

Конечно, те из читателей, которые не разобрались глубоко в сути разбираемого вопроса, могут воскликнуть: «Подождите! Но ведь Николай Андреевич решал задачу, в которой функция “сток-источник” была линейной, а вы задачу подменили – у вас теперь она нелинейно зависит от глубины; разумеется для другой функции мы получим другие результаты, в частности, другой УП». Однако мы

---

они не смогли, но, разумеется, они смогли получить некоторое число; впрочем, даже знак его не совпадал с истинным). М.В. Глаголев пытался привлечь к проверке и формального автора метода – Н.А. Шнырева, для чего письменно обратился к нему. К сожалению, пообещав осуществить это простейшее вычисление позднее, Николай Андреевич не нашел времени это сделать до момента принятия статьи в печать (т.е. в течение нескольких месяцев).

<sup>19</sup> Конечно, если разобраться в источнике этой интуиции, то он имеет вполне объяснимую природу. Дело в том, что решаемая Шныревым обратная задача определения УП на границе по заданному профилю концентраций хорошо известна в математике и изучена вдоль и поперек даже в более общей постановке – когда уравнение диффузии нестационарно, да и идентифицируемый граничный режим также может быть нестационарным. В такой общей постановке она была исследована более полувека назад, а около 30 лет назад уже вошла в учебники – см., например, [Бек и др., 1989].

<sup>20</sup> Тот факт, что метанотрофам почему-то не всегда нравится поверхностный слой почвы (где, казалось бы, для них имеются прекрасные условия: много кислорода и высокая температура летом; впрочем, может быть большие перепады температур им как раз и не нравятся) хорошо известен. Поэтому в математических моделях потребления  $\text{CH}_4$  почвами иногда вводится характерная глубина слоя метанотрофии. Например, в известной модели Ridgwell et al. [1999] она равна 6 см (обосновывая такой выбор, авторы модели ссылаются на 5 экспериментальных исследований других ученых).

воскликнем еще громче: «Так ведь в этом-то вся суть!!! Зачем он решал задачу с линейной функцией!? Откуда он мог знать, что она именно такова? А если в природе она какая-нибудь другая? Вот, мы взяли другую функцию и получили совсем другой удельный поток».

Поскольку в рамках краткой статьи, тем более рассчитанной на биологов, мы не можем глубоко вдаваться в математические вопросы, то лишь заметим две вещи. Во-первых, вся проблема в том, что **разные функции «сток-источник» вкпе с разными зависимостями коэффициента диффузии от глубины и разными краевыми условиями могут давать практически одинаковые профили концентрации.** В данном случае, уравнение с постулируемой в «методе Шнырева» линейной функцией «сток-источник», постоянным коэффициентом диффузии и  $Q = -0.15 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$  дало практически такое же (по крайней мере, если говорить с точки зрения реально достижимой точности экспериментальных измерений) решение, как и уравнение с совершенно иной – нелинейной функцией «сток-источник», переменным коэффициентом диффузии и  $Q = 0.05 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ . Именно поэтому обратная задача (задача вычисления  $Q$  по профилю концентрации) в математическом смысле некорректна. Именно поэтому нельзя определить УП, измеряя профиль концентрации. Во-вторых, если разумно выбрать класс функций, которому может принадлежать «сток-источник», мы не будем получать для  $Q$  слишком больших отклонений от истинного значения. Собственно говоря, разница между  $-0.15$  и  $0.05 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$  – не такая уж и большая. Но ведь Н.А. Шнырев позиционировал свой метод именно как позволяющий определять малые потоки. Вот Вывод 8 из его диссертации (с. 158): «Новая методика определения потоков метана на базе физически-обоснованных моделей профильного распределения газа в аэрированной торфяной толще выше УБВ позволила оценивать потоки малой интенсивности (порядка  $0.01-0.1 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ ) с учетом действия метанотрофного фильтра на количественном уровне». Так вот, как раз потоки малой интенсивности его методика не позволяет оценивать. Недаром он не приводит исследование реальной погрешности своих оценок.

Однако мы предвидим еще одно возражение. Ведь Н.А. Шнырев четко пишет о применимости его «метода» к «аэрированной торфяной толще выше УБВ», а мы осуществляли проверку, взяв функцию «сток-источник», скорее характерную для болота с достаточно высоким стоянием УБВ. Но дело в том, что при обосновании метода диссертантом нигде никак не использовалось это ограничение. Фактически, он должен был обосновать, что всегда в аэрированной торфяной толще выше УБВ функция «сток-источник» линейно изменяется с глубиной. Такого обоснования в диссертации нет. Впрочем, даже если произойдет чудо, и дальнейшие исследования покажут, что это именно так, метод пока все равно останется неработоспособным – не будем забывать о том, что нельзя было так грубо аппроксимировать меняющийся коэффициент диффузии его «средневзвешенным» значением. Более того, существуют и другие источники некорректности обратной задачи, составляющей основу данного «метода», которые мы здесь не рассматривали. Например, при образовании метана возможно повышение давления и возникновение конвективных потоков (тогда в уравнении должен появиться еще один член). Кстати, сам же диссертант в другой части своей работы показывает, как наличие таких конвективных потоков может изменять профили и УП на поверхности в случае зимних измерений.

Более того, вспомним (см. выше наше замечание №1), что диссертант особое значение придавал своему наблюдению о том, что использование разных моделей для интерпретации динамических кривых КаМ приводит к различным значениям УП. Почему же теперь он об этом забывает? Почему в случае почвенно-градиентного метода использование разных моделей не будет приводить к различным значениям УП? В чем состоит врожденная ущербность камерных кривых (зависимостей концентрации от времени) по сравнению с кривыми, отражающими профильное распределение в почве (зависимости концентрации от глубины)? В общем, очевидно, что логика диссертанту здесь изменяет.

В заключение данного замечания выскажем еще одно, которое не относится к числу важнейших, но примыкает по смыслу и тематике к тому, что было высказано выше. В главе «Обзор литературы» Николай Андреевич перечисляет недостатки существующих почвенно-градиентных методов. Конечно, это очень правильно и необходимо в свете того, что далее им предлагается новый метод. Логика могла бы быть такой: существующие методы обладают такими-то и такими-то серьезными недостатками; очевидно, что данные методы – плохие; новый метод лишен этих недостатков. Но что же мы видим? Вот, согласно Н.А. Шныреву, недостатки существующих методов (на с. 44 диссертации): «В большинстве случаев происходит нарушение почвенного покрова при закладке стационарных пробоотборников газовой фазы для исследования профильных распределений газов. Необходима отдельная оценка феноменологических коэффициентов массопереноса (эффективной диффузии) как функции от пористости; причем нет полной уверенности, что на

диффузионный перенос не накладывается конвекция, количественный учет которой весьма сложен. Более трудоемкие и требующие большего времени на анализ методы по сравнению с камерной оценкой». А теперь посмотрим на предлагаемый метод. На с. 77, описывая экспериментальные методы пробоотбора, Н.А. Шнырев указывает, что использовались трубки очень малого диаметра 0.15 см. Он считает, что впервые использовал такие трубки для отбора почвенных газов? Ну, пусть бы и так. Не будем сейчас обсуждать то, что аналогичные трубки для отбора проб газа (и воды – в болотах) использовались уже давно – специалисты это и так прекрасно знают. А вот дальше. Разве для предлагаемого им метода не является необходимой отдельная оценка феноменологических коэффициентов массопереноса (эффективной диффузии) как функции от пористости? Является. И Н.А. Шнырев пытается оценить расчетным путем коэффициент диффузии, посвящая этому конец с. 153, а также сс. 154-155 диссертации. Констатируем: различия с общепринятыми методами в этом нет. Далее, разве есть полная уверенность, что на диффузионный перенос не накладывается конвекция? Вроде бы, нет такой уверенности... Или эту уверенность вселяет в диссертанта то, что он предлагает свой метод лишь для «азрированной торфяной толщи выше УБВ»? Но тогда и общепринятые методы, будучи применены к объектам такого типа, вполне могут исходить из той же самой (честно говоря, пока диссертантом не обоснованной) уверенности. Констатируем: и в этом различия с общепринятыми методами нет. Последнее: «более трудоемкие и требующие большего времени на анализ методы по сравнению с камерной оценкой». Одно измерение потока статической ручной камерой минимально требует всего 2 измерения концентрации. А вот полином 3-й степени через 2 точки не проведешь – нужно, как минимум, 4 измерения концентрации. Впрочем, камерные измерения, базирующиеся на 2 точках будут очень неточными, поэтому на практике<sup>21</sup> используют, как раз, 4 точки – т.е. именно столько, сколько в минимальном варианте «метода Шнырева». Но заметим, что Николай Андреевич для проведения своего полинома 3-ей степени справедливо использовал не 4 точки (что в смысле точности аналогично проведению прямой в КаМ по 2 точкам), а 7 (см. рис. 53 диссертации). И все эти концентрации надо было проанализировать так же на хроматографе... Так что и здесь оказывается, что предлагаемый метод требует большего времени на анализ по сравнению с камерной оценкой. Констатируем: и в этом тоже нет различия с общепринятыми методами.

И самое последнее: а давайте посмотрим, что дал бы традиционный почвенно-градиентный метод для наших «идеальных экспериментальных данных». Напомним, концентрации на глубинах 0 и 0.05 м были, соответственно, 1 и 1.06 мг/м<sup>3</sup>. Конечно, все зависит от правильного определения коэффициента диффузии в слое 0-0.05 м. Поскольку выше мы не подвергали сомнению правильность определения Николаем Андреевичем коэффициента диффузии (хотя следовало бы! но тогда наша статья станет совсем уж безразмерной), то и здесь будем считать, что коэффициент диффузии определен правильно и составляет 0.047 м<sup>2</sup>/час. Тогда, умножая коэффициент диффузии на градиент концентрации, получим:  $0.047 \cdot (1.06 - 1) / 0.05 \approx 0.06$  мгС·м<sup>-2</sup>·час<sup>-1</sup>. Всего лишь на сотую больше, чем истинный!!! Ну, так понятно, ведь – «идеальные экспериментальные данные»; в реальности так хорошо вряд ли получится... Но вот бы и «метод Шнырева» давал бы такую же точность хотя и на «идеальных» данных. Ан, нет же...

4) Аналогично, предлагаемый диссертантом «снежно-градиентный» метод определения зимних УП из болот также основан на решении некорректной обратной задачи, свойства которой, как и в вышеописанном случае, в диссертации не исследуются и анализ точности получаемых значений УП не проводится. Мы не будем останавливаться на ней так подробно, как это было сделано выше, но, все же, дадим несколько комментариев.

Диссертант дает по одному объяснению для выпуклого и для вогнутого профиля концентрации метана в снеге, после чего на основании этих единственных объяснений выводит формулы для расчета УП. Но вот в цитируемой им статье [Mast et al., 1998] подробно обсуждается вопрос о том, почему концентрационные профили иногда существенно отклоняются от линейных. При этом дается несколько принципиально разных объяснений, что существенно подтачивает позицию Н.А. Шнырева, ибо если верно иное объяснение, то и формула будет другой, и величина потока, рассчитанная по иной формуле, может быть другой (см. конец предыдущего замечания: методы обработки экспериментальных данных, основанные на разных моделях приводят к разным значениям УП). В этом-то и заключен источник некорректности в данной задаче, который, повторим, диссертантом совершенно не анализируется.

<sup>21</sup> Различные реализации камерного метода см., например, в [Nakano et al., 2004; Глаголев и Шнырев, 2007; Kutzbach et al., 2007; Sabrekov et al., 2011].

Тем не менее, мы бы не сказали, что это совсем фатально для его работы. Просто надо было оценить, какую погрешность могут внести в авторский расчет УП иные объяснения нелинейности профиля; или, может быть, удастся обнаружить в объяснениях Mast et al. [1998] какие-нибудь ошибки... Но просто делать вид, что других объяснений не существует, нельзя.

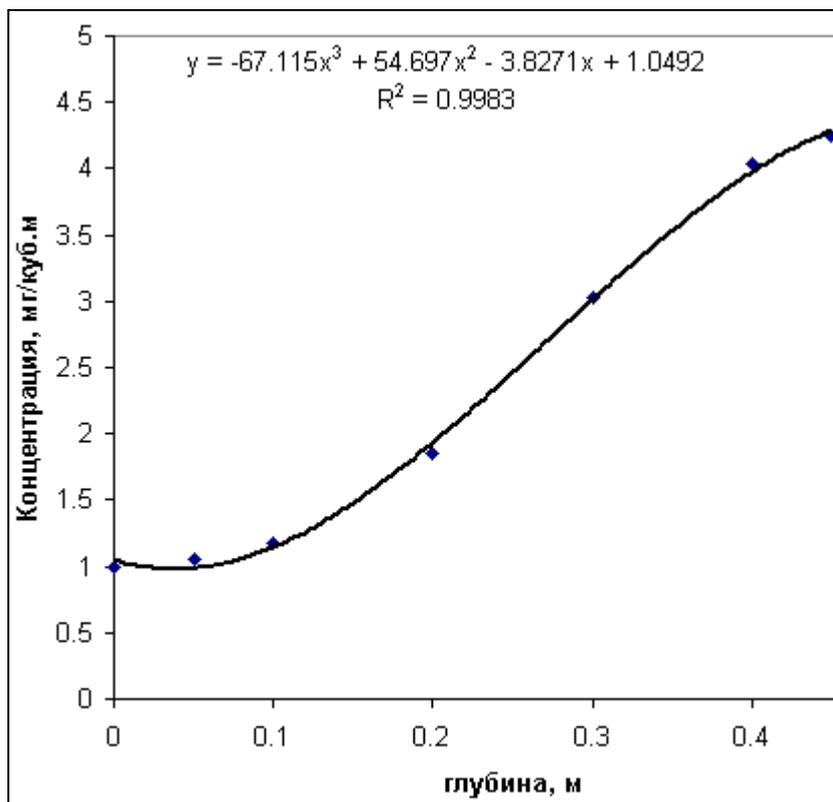


Рис. 5. Применение «метода Шнырева» к «идеальным экспериментальным данным», полученным при решении краевой задачи для одномерного стационарного уравнения с переменным коэффициентом диффузии и функцией «сток-источник», нелинейно зависящей от глубины.

5) Впрочем, логика интерпретации Н.А. Шныревым формы профилей вообще непонятна (подчеркнем: именно логика). Сначала диссертант описывает часто встречавшиеся ему *линейные* профили концентраций метана в снеге (рис. 50А в диссертации). И объясняет такие профили при помощи простейшей диффузионной модели, содержащей *постоянный коэффициент диффузии в снеге*. После этого он говорит о существовании профилей иной формы (рис. 50Б и 50В в диссертации). Тут же оказывается, что плотность снега вовсе не постоянна, а потому *не постоянен* и *коэффициент диффузии* (он линейно уменьшается с глубиной, диссертант дает соответствующее уравнение). И учет реального изменения плотности снега с глубиной приводит как раз к наблюдающимся вогнутым профилям концентраций... Постойте, *но как тогда быть с рассматривавшимися выше линейными профилями?* Или там плотность снега была постоянна? Диссертант об этом ничего не говорит. Это дает право сказать, что *расчет линейных профилей из стационарной модели с постоянной плотностью снега данными не подкреплён. Н.А. Шнырев в своей работе приводит лишь один экспериментально определенный профиль плотности снега, и при этом оказывается, что плотность линейно увеличивается с глубиной*, причем таким образом, что при данном профиле должен наблюдаться вогнутый, а не линейный профиль концентрации. При публикации аналогичных материалов в мировой научной литературе было принято параллельно давать профили плотности снега и концентрации – см., например, [Mast et al., 1998, Figure 6] (диссертанту эта работа известна – он ее цитирует). Итак, встает вопрос: как объяснить то, что Н.А. Шнырев часто наблюдал линейные концентрационные профили (ведь он объяснял такие профили моделью с постоянным коэффициентом диффузии, но экспериментально установил, что этот коэффициент постоянным не является, а существенно изменяется с глубиной по линейному закону)? И это еще не все! Кое-как справившись с объяснением вогнутости, диссертант вдруг обнаруживает еще один тип профилей – выпуклый. Как же теперь быть? Он немедленно забывает об увеличении плотности с глубиной, и привлекает новую модель, в которой плотность (и

коэффициент диффузии) опять постоянны, но, кроме диффузионного, появляется еще и конвективный поток из почвы через снег в атмосферу. Мы опять задаем вопрос: как быть с предыдущим объяснением (ведь только что Н.А. Шнырев убеждал читателя: плотность снега существенно меняется с глубиной)?

Наш ответ состоит в том, что *все типы концентрационных профилей (линейный, вогнутый, выпуклый) описывает общая диффузионно-конвективная модель, учитывающая линейное изменение плотности снега с глубиной*. В простейшем случае, если рассматривать модель с постоянным коэффициентом  $q$  (см. уравнение 57 в диссертации на с. 145) и коэффициентом диффузии, линейно возрастающим с глубиной, стационарное дифференциальное уравнение «диффузии-конвекции», как известно, имеет даже аналитическое решение (в случае непостоянства  $q$  для подавляющего большинства зависимостей  $q(z)$  уравнение «диффузии-конвекции» не интегрируется в элементарных функциях, но в этом случае решение может быть найдено численными методами). В указанном простейшем случае выпуклость/вогнутость будет определяться тем, больше или меньше единицы окажется число  $q/(m \cdot D_0)$ . Итак, все результаты Н.А. Шнырева вполне объясняются в рамках единой наиболее общей модели, всегда учитывающей увеличение плотности снега с глубиной: если  $q$  настолько мало, что  $q/(m \cdot D_0) < 1$ , то концентрационный профиль будет вогнутым; если  $q$  настолько велико, что  $q/(m \cdot D_0) > 1$ , то концентрационный профиль будет выпуклым, а если  $q/(m \cdot D_0)$  лишь немного отличается от 1 (не важно – больше или меньше 1), то кривизна профиля окажется настолько малой, что, с учетом всегда существующей погрешности экспериментальных данных, концентрационный профиль покажется линейным. Более того, при достаточно больших  $q$  концентрационный профиль будет представлять собой почти прямую вертикальную линию, объясняя и вскользь упомянутые диссертантом вертикальные профили, которые должны наблюдаться в случае конвекции без диффузии (понятно, что диффузия будет всегда, но она может быть настолько меньше конвекции, что ею можно пренебречь).

6) Хотелось бы обратить внимание на известную диссертанту публикацию [Zimov et al., 1993] (он цитирует ее, но не в связи с тем, что будет сказано сейчас ниже). Это – одна из известнейших работ (149 ссылок, 7 ссылок/год)<sup>22</sup>! Эта статья важна не только тем, что в ней описаны одни из самых первых измерений, выполненных в России диффузионным методом в холодное время по данным о профильном распределении концентрации в снеговой толще, но и тем, что в отличие от рецензируемой диссертации, где коэффициент диффузии оценивается чисто теоретически по одной из формул, в [Zimov et al., 1993] он был измерен экспериментально. В результате чего обнаружилось, что в разные месяцы коэффициент диффузии существенно различен (так и должно быть, ибо плотность снега может меняться). Разумеется, это не является каким-то уникальным наблюдением. Изменение плотности снега в связи с моделированием массопереноса и концентрационного профиля газа в снеге в течение холодного сезона отмечали и другие авторы – см., например, известную (61 ссылка, 8 ссылок/год) статью [Monson et al., 2006, p. 3-4]. Учитывается ли это в рецензируемой диссертации? В частном порядке Н.А. Шнырев сообщил нам, что измерения плотности снега проводились несколько раз. Но почему же это не нашло никакого отражения в диссертации – там приводится только одна единственная количественная зависимость плотности (и, следовательно, коэффициента диффузии) от глубины, относящаяся непонятно к какому месяцу. А ведь изменчивость плотности весьма важна для диффузионного метода. В [Zimov et al., 1993] показано, что плотность может со временем измениться на 50%! Соответственно изменится и вычисляемый УП. Т.е., если это не учитывать, то диффузионный метод измерений становится уже совсем не таким точным, как это представляет диссертант.

7) Здесь же подчеркнем, что, фактически, в предыдущем пункте затронуты два вопроса: (а) измерялась ли плотность снега именно в те даты, для которых велись расчеты УП  $\text{CH}_4$ ; и (б) насколько реальный коэффициент диффузии соответствовал рассчитанному по избранной автором формуле. И даже если ответ на первый вопрос – положительный, то второй вопрос все равно повисает в воздухе немым укором диссертанту. Конечно, если своевременно не были выполнены экспериментальные измерения коэффициента диффузии, то сейчас уже не вернешь «позапрошлогодний снег». Но хотя бы *обсудить возможную погрешность, вносимую тем, что автор не измерял коэффициент диффузии, а лишь рассчитывали его, было необходимо*.

<sup>22</sup> Здесь и далее наукометрическая информация приведена по состоянию на начало мая 2016 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В своих недавних статьях проф. А.В. Смагин [2014; 2015] поднял весьма важные как теоретические, так и методические вопросы современного состояния газифизики почв. И хотя некоторые материалы этих статей вызвали оживленную дискуссию и практически единодушно были отвергнуты всеми теми, кто принял участие в дискуссии – [Глаголев и Сабреков, 2014; Евдокимов и Ларионова, 2015; Курганова и Кудеяров, 2015; Лапина, 2015], но другие – столь же безоговорочно принимаются всеми специалистами. Сеем предположить, что к числу последних относится следующее мнение Андрея Валентиновича: «Наиболее ценным результатом подобной дискуссии считаю выработку коллегиального мнения (консенсуса) и... единой Программы по исследованиям газообмена почвы и атмосферы..., без которой разрозненные, нередко противоречивые и не выдержанные в методическом отношении исследования отдельных специалистов и организаций никогда не смогут дать адекватной оценки роли почв в регуляции состава и состояния атмосферы и в глобальных изменениях климата». В свете этого нам представляется очень важным не допускать в корпус научных знаний современной физики почв методы, основанные на решении обратных задач без учета их некорректности – таких, как те, что предложены Н.А. Шныревым в своей диссертации. Подобные методы, очень чувствительные к погрешностям экспериментальных данных, как раз и будут порождать «противоречивые и не выдержанные в методическом отношении исследования», которые не просто «никогда не смогут дать адекватной оценки роли почв в регуляции состава и состояния атмосферы», но окончательно все запутают.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают глубокую благодарность д.б.н. А.В. Смагину, принявшему активное и плодотворное участие в обсуждении тонкостей разработанного им «метода Шнырева».

## ЛИТЕРАТУРА

- Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. 2008. Вычислительные методы. М.: Издат. дом МЭИ. 672 с.
- Арсенин В.Я. 1984. Методы математической физики и специальные функции. М.: Наука. 384 с.
- Бажин Н.М. 2000. Метан в атмосфере // Соросовский образовательный журн. Т. 6. № 3. С. 52-57.
- Бек Дж., Блакуэлл Б., Сент-Клер Ч., мл. 1989. Некорректные обратные задачи теплопроводности. М.: Мир. 312 с.
- Владимиров В.С. 1988. Уравнения математической физики. М.: Наука. 512 с.
- Владимиров Ю.С. 2011. Между физикой и метафизикой. Кн. 2: По пути Клиффорда-Эйнштейна. М.: Кн. дом «ЛИБРОКОМ». 248 с.
- Глаголев М.В. 2010. Эмиссия  $\text{CH}_4$  болотными почвами Западной Сибири: от почвенного профиля до региона: Автореферат дис. ... канд. биол. наук. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ).
- Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. 2014. Ответ А.В. Смагину: II. Углеродный баланс России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 5. № 2. С. 50-70.
- Глаголев М.В., Сабреков А.Ф., Казанцев В.С. 2010. Физикохимия и биология торфа. Методы измерения газообмена на границе почва-атмосфера. Томск: Изд-во ТГПУ. 104 с.
- Глаголев М.В., Филиппов И.В. 2011. Инвентаризации поглощения метана почвами // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 2. № 2. С. 1.
- Глаголев М.В., Шнырев Н.А. 2007. Динамика летне-осенней эмиссии  $\text{CH}_4$  естественными болотами (на примере юга Томской области) // Вестник МГУ. Серия 17: Почвоведение. №1. С. 8-14.
- Евдокимов И.В., Ларионова А.А. 2015. Соображения к дискуссии, предложенной А.В. Смагиным // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 6. № 1. С. 36-38.
- Жданов М.С. 2007. Теория обратных задач и регуляризации в геофизике. М.: Научный мир. 712 с.
- Курганова И.Н., Кудеяров В.Н. 2015. Возможен ли значительный положительный дисбаланс круговорота углерода (сток) на территории России? // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 6. № 1. С. 32-35.
- Лапина Л.Э. 2015. Ответ А.В. Смагину // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 6. № 1. С. 39-41.
- Маликов Р.Ф. 2010. Основы математического моделирования. М.: Горячая линия-Телеком. 368 с.
- Орлов Д.С., Минько О.И., Аммосова Я.М., Каспаров С.В., Глаголев М.В. 1987. Методы исследования газовой функции почвы // Современные физические и химические методы исследования почв. М.: Изд-во МГУ. С. 118-156.
- Паников Н.С. 1995. Таяжные болота – глобальный источник атмосферного метана? // Природа. №6. С. 14-25.
- Самарский А.А., Вабищевич П.Н. 2004. Численные методы решения обратных задач математической физики. М.: Едиториал УРСС. 480 с.
- Смагин А.В. 2005. Газовая фаза почв. М.: Изд-во Моск. Ун-та. 301 с.
- Смагин А.В. 2014. Спорные вопросы количественной оценки газовых потоков между почвой и атмосферой (к дискуссии М.В. Глаголева и А.В. Наумова) // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 5. № 2(10). С. 10-25.

Смагин А.В. 2015. Дискуссионные вопросы теории парникового эффекта и газообмена почвы с атмосферой // Экологическое почвоведение: этапы развития, вызовы современности. К 100-летию Г.В. Добровольского. М.: ГЕОС. С. 123-161.

Шнырев Н.А. 2016. 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.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ). URL: <https://istina.msu.ru/dissertations/18838290/> (дата обращения 22.03.2016).

Enting I.G. 1993. Inverse problems in atmospheric constituent studies. III. Estimating errors in surface sources, Inverse problems, 9, 649–665.

Houweling S., Bergamaschi P., Chevallier F., Heimann M., Kaminski T., Krol M., Michalak A.M., Patra P. 2016. Global inverse modeling of CH<sub>4</sub> sources and sinks: An overview of methods // Atmos. Chem. Phys. Discuss. DOI:10.5194/acp-2016-572.

Kutzbach L., Schneider J., Sachs T., Giebels M., Nykänen H., Shurpali N.J., Martikainen P.J., Alm J., Wilmking M. 2007. CO<sub>2</sub> flux determination by closed-chamber methods can be seriously biased by inappropriate application of linear regression // Biogeosciences. V. 4. No. 6. P. 1005–1025.

Mast M.A., Wickland K.P., Striegl R.T., Clow D.W. 1998. Winter fluxes of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from subalpine soils in Rocky Mountain National Park, Colorado // Global Biogeochemical Cycles. V. 12. No. 4. P. 607-620.

Monson R.K., Burns S.P., Williams M.W., Delany A.C., Weintraub M., Lipson D.A. 2006. The contribution of beneath-snow soil respiration to total ecosystem respiration in a high-elevation, subalpine forest // Global Biogeochem. Cycles. V. 20. GB3030. DOI:10.1029/2005GB002684

Nakano T., Sawamoto T., Morishita T., Inoue G., Hatano R. 2004. A comparison of regression methods for estimating soil-atmosphere diffusion gas fluxes by a closed-chamber technique // Soil Biology and Biochemistry. V. 36. P. 107-113.

Ridgwell A.J., Marshall S.J., Gregson K. 1999. Consumption of atmospheric methane by soils: A process-based model // Global Biogeochemical Cycles. V. 13. No. 1. P. 59-70.

Sabrekov A.F., Kleptsova I.E., Glagolev M.V., Maksyutov Sh.Sh., Machida T. 2011. Methane emission from middle taiga oligotrophic hollows of Western Siberia // Вестник Томского государственного педагогического университета. № 5. С. 135-143.

Zimov S.A., Zimova G.M., Davidov S.P., Davidova A.I., Voropaev Y.V., Voropaeva Z.V., Prosiannikov S.F., Prosiannikova O.V., Semiletova I.V., Semiletov I.P. 1993. Winter Biotic Activity and Production of CO<sub>2</sub> in Siberian Soils: A Factor in the Greenhouse Effect // J. Geophys. Res., V. 98. No. D3, P. 5017-5023.

## THESIS OF N.A. SHNYREV: II. PRINCIPAL NOTES

*Glagolev M.V., Sabrekov A.F.*

*This paper discusses in our opinion erroneous method of methane flux measurement, proposed in the dissertation of Nikolai Andreevich Shnyrev «Regime investigations and estimate of gas exchange on the soil-atmosphere interface (methane fluxes from “Muhрино” wetland, West Siberia)». Principal error of suggested method is introduced by ill-posed nature of solved inverse problem. Ill-posed inverse problems are usual in environmental and Earth science applications. The main property of such kind of problems is high sensitivity of solution to changes in the initial data, which are often known with some uncertainty.*

*Numerical test was conducted to proof that proposed by N.A. Shnyrev method is ill-posed. This test reveals, that flux value calculated with a help of N.A. Shnyrev’s method has an opposite sign and is three times higher in absolute value than flux, initially used in numerical test. In addition, proposed by N.A. Shnyrev method does not take into account non-linearity of gas diffusion coefficient along soil profile. Analogous proposed method of flux calculation during a cold season using methane concentration profile in a snow is also biased by several errors. Flux determination with this method leads to different results depending on the type of used gas transfer model. Besides evaluation of profile method several points about scientific ethics, citation without references, erroneous calculation of methane photolysis during chamber measurements are discussed.*

**Key words:** methane emission, wetlands, inverse ill-posed problems, profile method.

**Citation:** Glagolev M.V., Sabrekov A.F. 2016. Thesis of N.A. Shnyrev: II. Principal notes // Environmental Dynamics and Global Climate Change. V. 7. No. 2. P. 38-55.

Поступила в редакцию: 21.06.2016  
Переработанный<sup>23</sup> вариант: 16.07.2016

<sup>23</sup> Несмотря на то, что данная статья подана в раздел «Дискуссии», который (по умолчанию) рецензируемым не является, авторы просили Редакцию отправить статью на рецензирование.

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