

РЕЦЕНЗИИ

УДК 631.41

НОВОЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ МЕТАНА ИЗ СРЕДНЕТАЕЖНОГО МЕЗООЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Глаголев М.В.^{1,2}, Филиппов И.В.^{1,2}

¹ Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

² Институт лесоведения РАН, пос. Успенское, Московская обл.

m_glagolev@mail.ru

Цитирование: Глаголев М.В., Филиппов И.В. 2014. Новое отечественное исследование эмиссии метана из среднетаежного мезоолиготрофного болота в Европейской части России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 5. № 2 (10). С. 3-9.

ВВЕДЕНИЕ

Болота России в «проблеме метана»

Интерес к изучению цикла метана и получению точных количественных оценок интенсивности процессов эмиссии и поглощения этого газа на границе почва-атмосфера обусловлен высокой значимостью изменения содержания CH_4 в атмосфере для предсказания тренда глобальных климатических изменений, стремлением к более глубокому пониманию фотохимических процессов, происходящих в атмосфере Земли и необходимостью управления запасами органического углерода на планете [Mikaloff Fletcher et al., 2004]. Метан – важный компонент фотохимической и климатической систем атмосферы. В XX в. скорость возрастания его концентрации достигала 1%/год. Известно, что одним из главных источников метана являются болота. Представляется, что Россия может быть одним из основных источников метана из-за существенной заболоченности ее территории [Andronova and Karol, 1993]. Однако, если говорить о реально выполненных измерениях эмиссии CH_4 , то приходится признать, что до сих пор территория РФ в значительной степени покрыта «белыми пятнами».

По-видимому, на территории России наибольший объем информации об эмиссии болотного метана получен в Западной Сибири – см., например, [Глаголев, 2010; Наумов, 2011; Glagolev et al., 2011; Казанцев, 2013¹]. Но природное разнообразие болот определяет существенные различия в проявлении ими средообразующих функций, включая эмиссию парниковых газов вообще и метана в частности [Sirin, 2004]. Проведенные ранее относительно массовые измерения (см., например, [Aselmann and Crutzen, 1989; Bartlett and Harriss, 1993; Alm et al., 1997; Sabrekov et al., 2011]) показали, что поток CH_4 из естественных бореальных болот может отличаться на 2-3 порядка. Неопределенность дополнительно усиливается временными вариациями потока, включая межсезонные, внутрисезонные и суточные. Следовательно, не всегда возможно переносить результаты, полученные при измерениях эмиссии CH_4 в одном регионе, на болота другого региона. Таким образом, со всей сложностью встает проблема прямого изучения эмиссии метана в тех регионах, где пока таких измерений было выполнено немного, в частности – в Европейской части России.

В данной рецензии мы рассмотрим одно из новейших исследований, посвященных этому вопросу: диссертационную работу Михаила Николаевича Мигловца [2014] «Эмиссия метана в растительных сообществах мезоолиготрофного болота средней тайги».

Используемые сокращения

ЕСВР – европейский Северо-Восток России;

УБВ – уровень болотных вод;

УП – удельный поток.

¹ На наш взгляд диссертационная работа В.С. Казанцева является на сегодня одним из наиболее полных трудов по эмиссии метана из болот севера Западной Сибири, поэтому мы не могли не упомянуть ее. Однако (как почти любая диссертация) она содержит ряд недочетов, которые мы пытались перечислить и по возможности исправить в [Глаголев, 2013].

ДИССЕРТАЦИЯ М.Н. МИГЛОВЦА – СУЩЕСТВЕННЫЙ ВКЛАД В ЭКОЛОГИЮ

Краткое содержание диссертационной работы

Диссертация М.Н. Мигловца построена по традиционной схеме и состоит из Введения, шести глав, Выводов, Списка литературы и Приложений. Объем работы без Приложений составляет 119 страниц, а Приложения размещены еще на 2 страницах. Работа содержит 11 таблиц, 36 рисунков (и еще 4 рисунка которые размещены в двух Приложениях). В списке литературы насчитывается 153 источника, из которых 97 – на английском языке.

Во Введении автор в соответствующих разделах охарактеризовал актуальность исследования; его цель и задачи; положения, выносимые на защиту; научную новизну; теоретическое и практическое значение работы; ее апробацию; отразил личный вклад, публикации, объем и структуру работы.

Первая глава посвящена роли болот в глобальном потоке метана. На пятнадцати страницах в трех подглавах автор приводит классификацию болот, описывает их структуру, рассматривает роль метана в углеродном цикле болотных биогеоценозов и особенности эмиссии метана с поверхности болот. По существу, глава представляет собой неплохой обзор литературы по проблеме и показывает степень ее изученности к настоящему времени. В этом аспекте значение данной главы, несомненно, положительно. В общем, автор показал способности к работе с литературными источниками, умение видеть и выделять главное, и (хотя данная глава не лишена мелких погрешностей, которые будут отмечены нами ниже) она заслуживает положительной оценки.

Вторая глава посвящена развернутой характеристике региона проведения исследования (им является Юго-Западный равнинный климатический район Республики Коми) и непосредственного объекта исследований (болото Медла-Пэв-Нюр). Автор подробно характеризует физико-географические условия района исследований и погодные условия в районе в годы наблюдений, а также растительность болота Медла-Пэв-Нюр, степень разложения торфа и его ботанический состав. Иллюстративный материал (включая, среди прочего, схемы расположения основных фаций на исследуемой территории болота, стратиграфии торфяной залежи и стекания болотных вод в русло р. Пожег) хорошо дополняет текстовую часть главы.

Третья глава посвящена методическим аспектам работы. Методика исследований приведена исчерпывающе и это говорит о том, что автор хорошо владеет методическим арсеналом. Однако, на наш взгляд, местами глава несколько перегружена общими описаниями групп методов, которые специалистам хорошо знакомы, а неспециалистам эти краткие описания все равно будут бесполезны (к тому же, некоторые из этих методов автором на практике не использовались). Думается, подразделами «Динамический камерный метод»², «Метод гигантской камеры», «Метод пульсационных измерений» (стр. 48) и общим описанием метода газовой хроматографии (стр. 51-52) можно было бы пренебречь совершенно без ущерба для существа работы. Однако подчеркнем, что там, где автор описывает использованные им конкретные методики, делает он это прекрасно.

Главы с четвертой по шестую включительно посвящены собственным оригинальным исследованиям диссертанта. В четвертой главе автор освещает суточную и сезонную динамику параметров внешней среды и скорости эмиссии метана в растительных сообществах болота Медла-Пэв-Нюр. Поскольку это – типичное мезоолиготрофное болото средней тайги, то полученные автором результаты имеют не узкое значение лишь для одного объекта, но могут быть обобщены и на другие болота указанного типа, по крайней мере, в данном регионе.

Глава пятая освещает роль растений в транспорте метана в системе «болото-атмосфера». Хотя значительный (часто – определяющий) вклад растений в эмиссию метана из болот хорошо известен (см., например, [Chanton et al., 1992; Глаголев и Смагин, 2006; Bhullar et al., 2013; Carmichael et al., 2014] и дальнейшие ссылки там), механизмы и особенности этого вида транспорта до сих пор изучены слабо. В связи с этим, результаты, полученные М.Н. Мигловцом, чрезвычайно важны и интересны. В частности, автором проверены и подтверждены предположения и наблюдения других

² Динамическому камерному методу диссертант уделяет лишь 4 строки (на с. 48 во втором абзаце): «При этом способе измерений камера постоянно продувается воздухом, поэтому концентрация в ней существенно не меняется, а скорость его поглощения в течение всего процесса близка к той, которая наблюдается в природных условиях...». Из-за столь краткого описания можно подумать, что данный метод применим лишь для измерения УП поглощения метана почвами. Но, конечно, этот метод применяется и при измерении выделения CH_4 (причем в этом случае при небольшой скорости продувки и, в то же время, высоком значении УП, концентрация в камере может измениться значительно, что, впрочем, при измерении выделения метана не так существенно, как при его поглощении). Для более подробного ознакомления с теорией динамического камерного метода рискнем отослать читателя к нашей работе [Глаголев и др., 2010, с. 49-51].

исследователей о том, что эмиссия метана тесно коррелирует с увеличением доли надземных органов трав в общей биомассе и с видовым составом.

Шестая глава целиком посвящена обсуждению эколого-географической вариабельности эмиссии метана в болотных экосистемах северных широт и сравнению собственных данных автора с теми, что приводятся в многочисленных публикациях, посвященных этому вопросу. Следует признать удачным сведение всех известных автору литературных данных о конкретных наблюдениях эмиссии метана в растительных сообществах разных типов болот (вместе с обобщенными результатами его собственных исследований) в виде довольно обширной таблицы, позволяющей легко сравнить результаты разных исследователей, полученные в различных регионах Земли.

После шестой главы автор резюмирует положения диссертации в Выводах. Выводы вполне корректны и логично вытекают из содержания диссертации. Венчает диссертацию Список литературы, вполне отвечающий требованиям работы и демонстрирующий достаточно хорошее знание литературы диссертантом.

Следует отметить, что работа написана хорошим языком, иллюстративный материал легко читается и хорошо дополняет работу. Автореферат диссертации весьма информативен и полностью отражает основное содержание работы. Опубликованные по теме диссертации работы (а их у автора не менее 12, хотя в автореферате он смог перечислить только 11 важнейших из них) вполне адекватны ее содержанию.

Новизна научных результатов

Новые результаты, полученные в диссертационной работе М.Н. Мигловца, можно разделить на две группы. Во-первых, поскольку исследования, проведенные Михаилом Николаевичем, являются, по всей видимости, первыми многолетними исследованиями УП CH_4 на мезоолиготрофном болоте в средне-таежной подзоне ЕСВР, то, неизбежно, почти все полученные им результаты являются новыми для объектов такого типа. Во-вторых, им надежно установлен эффект уменьшения эмиссии CH_4 с увеличением уровня болотных вод, противоречащий классическим представлениям и имеющий, на наш взгляд, большой интерес не только с точки зрения конкретных объектов, но и вообще для всей тематики «эмиссии болотного метана».

По-видимому, первые исследования УП CH_4 на мезоолиготрофном болоте в средне-таежной подзоне ЕСВР были проведены А.И. Слободкиным и др. в 1990 г. Но, при всем уважении к таким выдающимся микробиологам, как Александр Игоревич Слободкин и акад. Георгий Александрович Заварзин, нельзя не признать, что использованная ими наиболее примитивная модификация камерного метода и невозможность (в 90-х гг. XX в. в России) организации полномасштабной длительной экспедиции сильно снизили ценность того первого исследования. По сути дела, Слободкин и др. [1992] лишь показали **возможность** исследования эмиссии CH_4 на мезоолиготрофном болоте в средне-таежной подзоне ЕСВР: они выполнили несколько разовых измерений в течение лишь наиболее жаркого месяца, оставив получение значимых результатов новым поколениям исследователей. К сожалению, в течение последующих почти 20 лет практически никто не пошел по этой дороге, и лишь наконец в 2008 г. на нее вступил Михаил Николаевич Мигловец.

В результате, им для мезоолиготрофного болота таежной зоны на ЕСВР впервые

- А) дана характеристика суточной и сезонной динамики эмиссии метана в разных типах растительных сообществ;
- Б) выявлена положительная корреляция эмиссии метана с температурой торфяной залежи на глубине 20-30 см;
- В) показано, что участие в растительном покрове мезоолиготрофного болота ЕСВР травянистых растений усиливает поступление метана в атмосферу и установлено, что эмиссия CH_4 с поверхности болота сопряжена с массой надземных органов трав;
- Г) доказано, что наиболее активный транспорт исследуемого газа в атмосферу происходит через стебли *Carex rostrata* и менее активно – через *Scheuchzeria palustris*, а общий вклад высших сосудистых растений в эмиссию метана, составляет более 50%.

Кроме того, необходимо подчеркнуть, что УП CH_4 на мезоолиготрофном болоте в средне-таежной подзоне ЕСВР впервые измерялись в многолетнем режиме, в результате чего была дана оценка суммарного количества эмитируемого метана с исследованного участка для двух лет наблюдений [Мигловец, 2014, с. 5-6], которая, таким образом, гораздо более надежна, чем оценки, полученные ранее в [Слободкин и др., 1992] на основе разовых июльских наблюдений.

На наш взгляд особый интерес представляет следующее наблюдение М.Н. Мигловца: хотя в период вегетации с избыточным количеством осадков УП CH_4 снижается при понижении уровня

болотных вод (это вполне соответствует «классическим» представлениям – см., например [Augustin et al., 1998; Глаголев и Шнырев, 2008; Arneeth et al., 2010] и дальнейшие ссылки там), но при недоборе осадков может наблюдаться обратная тенденция [Мигловец, 2014, с. 6]. В принципе, увеличение эмиссии метана при падении УБВ (и/или, соответственно, снижение эмиссии при поднятии уровня воды) изредка уже наблюдалось (мы дали сводку публикаций об этих наблюдениях и их объяснениях в [Глаголев, 2012]). Но теоретические объяснения, в основном, способны пролить свет лишь на кратковременные падения эмиссии при возрастании УБВ (до порядка первых дней); долгосрочные падения также объяснимы, но лишь тогда, когда УБВ превышает поверхность почвы. Тем ценнее наблюдения Михаила Николаевича, показавшего, что такие «аномальные», «антиклассические» зависимости могут наблюдаться в течение нескольких месяцев, причем в условиях совершенно обычных УБВ (0-25 см ниже поверхности почвы). Более того, оказалось, что одни и те же объекты могут в один год демонстрировать «классическое» поведение, а в другой – «антиклассическое».

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Нельзя не отметить, что работа М.Н. Мигловца практически не вызывает замечаний (и уж точно не вызывает никаких серьезных замечаний), что, вообще говоря, в случае диссертационных работ бывает крайне редко. Тем не менее, несколько очень мелких замечаний мы все же выскажем, подчеркнув, что почти всегда они касаются только литературного обзора, т.е. никак не влияют на собственные результаты Михаила Николаевича.

Излишне категоричные утверждения

Местами в диссертации содержатся излишне категоричные утверждения, которые из-за своей категоричности, во-первых, становятся формально неверными и, во-вторых, в дальнейшем они иногда вступают в явное противоречие с другими столь же категоричными утверждениями. Например, на с. 18 в строках 2-5 (снизу) со ссылкой на Avery et al. читаем следующее: «При относительно низких положительных температурах (от +10°C до +15°C), диссимиляция ацетата преобладает и дает 85-90% общей продукции метана; вклад водородного пути увеличивается с ростом температуры». А на с. 21 в строках 8-11 (со ссылкой на Chasar et al.) читаем: «...для верховых болот, где небольшая доля трав в растительном покрове и присутствуют растения без воздухопроводящих тканей (сфагновые мхи, кустарнички), характерен водородный путь метаногенеза». Противоречие здесь в том, что на типичном западно-сибирском верховом болоте, где температура метаногенного слоя летом составляет 11-12°C, и при небольшой доле трав в растительном покрове проективное покрытие сфагновых мхов достигает 100%, согласно первому утверждению мы должны были бы иметь 85-90% продукции метана из ацетата, а согласно второму утверждению, напротив, характерен должен быть не ацетатный, а водородный путь метаногенеза. В реальности, по крайней мере в некоторых из этих болот (даже в еще более холодных слоях) образование CH_4 идет преимущественно по водородному пути, как это было показано в [Коцюрбенко, 2005, с. 38-41; Глаголев и Смагин, 2006, с. 94-95] тремя независимыми методами исследования: введением в систему ингибиторов метаногенеза (2-бромэтансульфоната и фторацетата как ингибиторов общего и ацетокластического метаногенеза), использованием радиоактивно меченных субстратов метаногенеза и измерением соотношения стабильных изотопов в молекуле образующегося метана³. Причем весьма значимым фактором кроме температуры оказывается рН (а это очень важно для кислых сфагновых болот). Как показал крупный российский микробиолог (ныне – д.б.н.) О.Р. Коцюрбенко [2005, с. 70], с понижением рН среды основным изменением в трофической структуре анаэробного сообщества является повышение роли H_2 -использующих метаногенов как терминальной микробной группы сообщества, и метаногенез становится преимущественно водород-зависимым.

Конечно, в диссертации есть и другие слишком категоричные (и потому не всегда соответствующие истине) утверждения. Но нет смысла перечислять их все, ибо на результаты работы М.Н. Мигловца они никак не повлияли. Поэтому мы ограничились лишь одним вышеприведенным примером.

³ Идентификация пути метаногенеза на основе анализа стабильных изотопов углерода возможна в связи с тем, что восстановление CO_2 в CH_4 дает $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ до -110‰, а ферментация метилированных субстратов приводит к величинам $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ лишь от -50‰ до -60‰ [Whitticar, 1999].

Неточность некоторых формулировок

Изредка в диссертационной работе встречаются слегка неточные формулировки (опять подчеркнем, что это, в основном, относится только к литературному обзору, а не к изложению и анализу собственных результатов, где практически все формулировки – строго выверенные). Возможно, это частично объясняется тем, что такие формулировки были в первоисточниках, на которые опирался Михаил Николаевич, и свойственное молодости уважение к авторитетам не позволило исправить погрешности корифеев.

Например, на с. 20 в начале 2-го абзаца (со ссылкой на Garcia et al.) читаем: «Образование метана – это процесс сложного анаэробного процесса разложения растительных остатков метаногенными археями». В общем-то, понятно, что хотел сказать автор (вероятно: что растительные остатки, разлагаясь в анаэробных условиях, в конце концов дают метан). Но из того, как сформулировано в диссертации, следует, что растительные остатки разлагаются метаногенными археями. А это не так.

Метанобразующие бактерии не способны использовать сложные органические соединения; они растут, используя такие субстраты как $\text{CO}_2 + \text{H}_2$, формиат, метанол, ацетат и метилированные амины [Готтшалк, 1982, с. 226-227]. Непосредственно растительные остатки (целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин, пектиновые вещества) разлагаются другими микроорганизмами [Мишустин и Емцев, 1987, с. 147-155], которые подготавливают субстраты для деятельности метаногенных архей. Как отмечал R. Conrad, анаэробный процесс разложения растительных остатков осуществляется целым сообществом микроорганизмов, составляющие части которого (различные физиологические группы микробов) последовательно выполняют отдельные процессы деструкции. Метаногенные археи также входят в это сообщество, но лишь в качестве терминальной микробной группы [Whiticar, 1999, p. 293; Коцюрбенко, 2005]. При этом, если указанные субстраты будут перехвачены какими-то иными, более эффективными микробами, то разложение растительных остатков будет иметь место, а вот метан образовываться не будет (в аноксигенных условиях в присутствии ионов нитрата, сульфата, Fe^{3+} метаногенез ингибируется из-за конкуренции с другими микроорганизмами; например, сульфатредукторы имеют большее сродство с H_2 , чем метаногены, и утилизируют его в более низкой концентрации, чем минимальная концентрация, требуемая для метаногенеза [Воробьева, 2007, с. 237]).

Или вот еще один пример неудачной формулировки. В начале с. 23 читаем: «В болотных экосистемах окисление метана осуществляется посредством жизнедеятельности бактериального комплекса метанотрофов. Это было доказано после обнаружения ацидофильных метанотрофов рода *Methylocella* в сфагновых болотах бореальной зоны, тундре и кислых лесных почвах». Ацидофильные метанотрофы *Methylocella* в сфагновых болотах бореальной зоны обнаружила выдающийся российский микробиолог (ныне – д.б.н.) С.Н. Дедыш [Dedysh et al., 1998; 2000]. Но при всем уважении к ней, нельзя не отметить, что факт присутствия метанотрофных бактерий почти во всех образцах, взятых из болот некоторых типов, был хорошо известен и до выделения метилоцеллы – см., например, обзор [Hanson and Hanson, 1996, p. 453] и многочисленные ссылки там, на более ранние оригинальные работы.

Разумеется, в диссертации есть и другие неточные (и потому не всегда соответствующие истине) формулировки. Но нет смысла перечислять их все, ибо на результаты работы М.Н. Мигловца они никак не повлияли. Поэтому мы ограничились лишь двумя вышеприведенными примерами.

Другие замечания

Кроме того, у нас есть еще несколько отдельных замечаний, которые не относятся к указанным выше двум группам.

Отдельные утверждения противоречат логике и потому не могут быть правильными. Например, на с. 76 в строках 4-7 (снизу) читаем: «...при отметке УБВ ниже 20 см и дневной температуре воздуха +21 °С, выделение метана с поверхности болота резко сократилось до $2.2 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Возможно, что данная величина УБВ является критической для образования метана в торфяной залежи». Но ведь сам автор на с. 23 в строках 4-7 (снизу) со ссылкой на Panikov et al. справедливо указывал: «...эмиссия метана (E) с поверхности болот в атмосферу является результирующей двух основных процессов: 1) продукции метана (G)... и поглощения его (U)... $E = G - U$ ». Следовательно, то, что при УБВ ниже 20 см выделение метана с поверхности болота (т.е. эмиссия E) резко сократилось, говорит лишь о том, что при данной величине УБВ продукция G падает примерно до величины интенсивности поглощения U . Но ничего критического для **продукции** в этом нет – если U велика, то и P остается достаточно велика (она даже больше, чем U): $2.2 = G - U \Rightarrow G = 2.2 + U > U$.

Некоторые утверждения показались нам просто непонятными. Например, на с. 21 в строках 12-15 (снизу) читаем: «Максимальные значения скорости образования метана отмечены на глубине около 20 см..., что связано усилением анаэробности и оптимальных температур торфяной залежи ниже этого значения...». Как это понять? Очевидно, что пропущено «с» и, вероятно, следует читать «связано с усилением анаэробности». Действительно, представляется вполне логичным, что степень анаэробности в болоте будет, в среднем, возрастать с глубиной. Но тогда почему максимум интенсивности образования метана наблюдается на глубине 20 см, а не, скажем, 30 см, где ожидается бóльшая степень анаэробности? Может быть, разгадка – в продолжение фразы, связанном с температурой: т.е. положение максимума именно на 20 см объясняется «усилением... оптимальных температур»? Но что это такое? Или автор имел в виду, что чем глубже – тем температура становится оптимальнее для метаногенеза? Это явно не так, поскольку чем глубже – тем холоднее (по крайней мере, в летний период на глубинах от десятков сантиметров до первых метров). Или пропущено еще какое-то слово? Может быть, следует читать так: «Максимальные значения скорости образования метана отмечены на глубине около 20 см..., что связано с усилением анаэробности и *отсутствием* оптимальных температур торфяной залежи ниже этого значения...»? Т.е., с одной стороны, выше 20 см метаногенезу начинает мешать присутствие кислорода, а ниже (где, как раз, в отношении кислорода все прекрасно – его с глубиной становится все меньше и меньше) – низкая температура? С таким утверждением вполне можно было бы согласиться. Но мы уже слишком далеко отошли от исходной фразы автора, вставив в нее два слова, и если пропуск одного из них совершенно очевиден, то относительно второго уверенности нет...

Наконец, в качестве последнего замечания отметим следующее: при том, что экспериментальные результаты представляются безупречными и, в основном, их теоретическое осмысление и обобщение проведены на таком же высоком уровне, все-таки, в небольшом числе мест в диссертации по-прежнему высокое качество экспериментов приходит в некоторое противоречие с несколько невразумительными теоретическими объяснениями или отсутствием таковых. В качестве примера приведем две последние фразы из диссертации (с. 100): «...для получения достоверных результатов оценки объемов выделенного метана с поверхности разных по структуре и размерам болотных экосистем имеет смысл использовать в комплексе несколько методов измерений. Например, совмещение камерного метода с методом микровихревых пульсаций позволит перейти от измерений потоков CH_4 в отдельных микроландшафтах к болотной экосистеме в целом». На этом основной текст диссертации заканчивается и данное утверждение «повисает в воздухе»: остается непонятным – зачем использовать камерный метод, если появится возможность использования метода микровихревых пульсаций (последний, уже сам по себе, даст величину потока с болотной экосистемы в целом, тогда как переход от «точечных» удельных потоков, измеряемых камерой, к потоку с большой площади весьма труден, нетривиален и чаще всего порождает различные погрешности).

Тем не менее, упомянутые мелкие неточности и недомолвки не отражаются на высоком качестве работы М.Н. Мигловца. Можно констатировать, что автор справился с решением поставленных задач и, в общем-то, достиг поставленной цели. На основании синтеза литературных данных, опираясь на современные методические разработки, но прежде всего в результате собственных оригинальных исследований автору удалось количественно оценить объем эмиссии метана в растительных сообществах мезоолиготрофного болота средней тайги, насколько это вообще возможно при использовании камерного метода измерений, которым он пользовался.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает искреннюю благодарность д.б.н. Светлане Витальевне Загировой (ФГБУН Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар), которая обратила его внимание на замечательную работу М.Н. Мигловца.

ЛИТЕРАТУРА

- Воробьева Л.И. 2007. Археи. М.: ИКЦ «Академкнига». 447 с.
Глаголев М.В. 2010. Аннотированный список литературных источников по результатам измерений потоков CH_4 и CO_2 из болот России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 1. № 2. С. 5-57. Также доступна по URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16908489> (дата обращения: 20.11.2014).

Глаголев М.В. 2012. Высокий уровень стояния воды может снижать эмиссию метана из почвы // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 3. № 1(5). EDCCmis0003. Также доступна по URL (дата обращения 23.11.2014): <http://elibrary.ru/item.asp?id=20913315>

Глаголев М.В. 2013. Новое отечественное исследование эмиссии метана из болотных экосистем северной части Западной Сибири // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 4. № 2(8). EDCCbrv0005. Также доступна по URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22150950> (дата обращения 22.11.2014).

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. Также доступна по URL (дата обращения: 29.07.2010): <http://torf.tspu.ru/images/files/file/knigi/gasoobmen.pdf>.

Глаголев М.В., Смагин А.В. 2006. Количественная оценка эмиссии метана болотами: от почвенного профиля – до региона (к 15-летию исследований в Томской области) // Доклады по экологическому почвоведению. Т. 3. №3. С. 75-114. Также доступна по URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12965058> (дата обращения 22.11.2014).

Глаголев М.В., Шнырев Н.А. 2008. Летне-осенняя эмиссия CH₄ естественными болотами Томской области и возможности ее пространственно-временной экстраполяции // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. № 2. С. 24-36.

Готшалк Г. 1982. Метаболизм бактерий. М.: Мир.

Казанцев В.С. 2013. Эмиссия метана из болотных экосистем северной части Западной Сибири: Дис. ... к-та биол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова.

Коцюрбенко О.Р. 2005. Метаногенные микробные сообщества из холодных наземных экосистем: Дисс. ...докт. биол. наук. М. 76 с.

Мигловец М.Н. 2014. Эмиссия метана в растительных сообществах мезоолиготрофного болота средней тайги: Дисс. ...канд. биол. наук. Сыктывкар.

Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. 1987. Микробиология. – М.: Агропромиздат. – 368 с.

Наумов А.В. 2011. Современные процессы газообмена в сфагновых болотах лесостепной зоны Барабы (Западная Сибирь) // Сибирский экологический журнал. Т. 18. № 5. С. 657-663.

Слободкин А.И., Паников Н.С., Заварзин Г.А. 1992. Образование и потребление метана микроорганизмами в болотах тундры и средней тайги // Микробиология. Т. 61. № 4. С. 683-691.

Alm J., Talanov A., Saarnio S., Silvola J., Ikkonen E., Aaltonen H., Nykänen H., Martikainen P.J. 1997. Reconstruction of the carbon balance for microsites in a boreal oligotrophic pine fen, Finland // Oecologia. V. 110. No. 3. P. 423-431. DOI: 10.1007/s004420050177

Andronova N.G., Karol I.L. 1993. The contribution of USSR sources to global methane emission // Chemosphere. V. 26. P. 111-126.

Arneth A., Sitch S., Bondeau A., Butterbach-Bahl K., Foster P., Gedney N., de Noblet-Ducoudré N., Prentice I.C., Sanderson M., Thonicke K., Wania R., Zaehle S. 2010. From biota to chemistry and climate: towards a comprehensive description of trace gas exchange between the biosphere and atmosphere // Biogeosciences. V. 7. P. 121-149. Также доступна по URL: www.biogeosciences.net/7/121/2010/ (дата обращения 10.11.2011).

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

Augustin J., Merbach W., Rogasik J. 1998. Factors influencing nitrous oxide and methane emissions from minerotrophic fens in northeast Germany // Biol. Fertil. Soils. V. 28. Issue 1. P. 1-4.

Bartlett K.B., Harriss R.C. 1993. Review and assessment of methane emissions from wetlands // Chemosphere. V. 26. Nos. 1-4. P. 261-320.

Bhullar G.S., Iravani M., Edwards P.J., Venterink H.O. 2013. Methane transport and emissions from soil as affected by water table and vascular plants // BMC Ecology, doi:10.1186/1472-6785-13-32, URL <http://www.biomedcentral.com/1472-6785/13/32>

Carmichael M.J., Bernhardt E.S., Bräuer S.L., Smith W.K. 2014. The role of vegetation in methane flux to the atmosphere: should vegetation be included as a distinct category in the global methane budget? // Biogeochemistry. DOI 10.1007/s10533-014-9974-1

Chanton J.P., Martens C.S., Kelley C.A., Crill P.M., Showers W.J. 1992. Methane Transport Mechanisms and Isotopic Fractionation in Emergent Macrophytes of an Alaskan Tundra Lake. Journal of Geophysical Research, 97, 16681-16688.

Dedysh S.N., Panikov N.S., Liesack W., Khmelenina V.N., Suzina N.E., Trotsenko Y.A., Semrau J.D., Bares A.M., Tiedje J.M. 2000. *Methylocella palustris* gen. nov., sp. nov., a new methane-oxidizing acidophilic bacterium from northern peat bogs, representing a novel subtype of serine-pathway methanotrophs // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. V. 50. No. 3. P. 955-969.

Dedysh S.N., Panikov N.S., Zhou J., Tiedje J.M., Liesack W., Großkopf R. 1998. Isolation of acidophilic methane-oxidizing bacteria from northern peat wetlands // Science. V. 282. № 5387. P. 281-284.

Glagolev M., Kleptsova I., Filippov I., Maksyutov S., Machida T. 2011. Regional methane emission from West Siberia mire landscapes // Environmental Research Letters. V. 6. N. 4. C. 045214. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045214.

Hanson R.S., Hanson T.E. 1996. Methanotrophic Bacteria // Microbiological Reviews. V. 60. No. 2. P. 439-471.

Mikaloff Fletcher S.E., Tans P.P., Bruhwiler L., Miller J.B., Heimann M. 2004. CH₄ sources estimated from atmospheric observations of CH₄ and its ¹³C/¹²C isotopic ratios: 1. Inverse modeling of source processes // Global Biogeochem. Cycles. V. 18. GB4004. DOI:10.1029/2004GB002223.

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. Также доступна по URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16446875> (дата обращения 19.07.2014).

Sirin A.A. 2004. Boreal peatlands functions within water and carbon cycle: temporal and spatial aspects // Wise use of peatlands: Proceedings of the 12th International Peat Congress. V. 1. pp. 80-86.

Whiticar M.J. 1999. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane // Chemical Geology. V. 161. P. 291-314.