

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата географических наук Ломова Виктора Александровича
на тему: «Эмиссия метана с разнотипных водохранилищ
(по данным измерений и математической модели)» по специальности
1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

В настоящее время последствия «парникового эффекта», негативные воздействия которого на Землю возрастают, вызывают серьезную озабоченность мирового сообщества. Основная роль в «парниковом эффекте» отводится атмосферным парниковым газам: углекислому газу (CO_2), метану (CH_4), фреонам и др., влияющим на температуру атмосферы нашей планеты. Среди них CO_2 и CH_4 являются двумя наиболее важными парниковыми газами.

По образному выражению (Rocher-Ros G., 2023) водохранилища являются частью глобальной «сети пресной воды», посредством эксплуатации которых в атмосферу возвращается в виде CH_4 и CO_2 «часть земного углерода».

Для многих стран, включая РФ, водохранилища являются источниками водоснабжения и орошения, объектами энергетики и судоходства, рыбного хозяйства. В то же время, кроме вышеописанных благ, они при их образовании и эксплуатации могут приносить много экологических проблем: изъятие из оборота земель сельскохозяйственного назначения, изменение гидролого-гидрогеологического режима поверхностных и грунтовых вод на их водосборных бассейнах, изменение климата на прилегающих территориях. Водохранилища, являясь резервуарами-накопителями (пулами) аллохтонного и автохтонного органического вещества, трансформируя которое, становятся, таким образом, сосредоточенными источниками эмиссии парниковых газов.

Диссертация Ломова В.А. посвящена изучению пространственно-временной изменчивости потоков метана из ряда водохранилищ (Можайское, Озернинское, Ивановское, Рыбинское и Бурейское). В работе использованы как методы натурных измерений, так и математическое моделирование.

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что водохранилища вносят существенный вклад в поступление метана. На данный момент в научном сообществе проведено несколько попыток оценить глобальную эмиссию этого газа с водохранилищ мира, однако, полученные оценки имеют высокую степень неопределенности. В диссертационной работе на основе анализа результатов экспедиционных работ и численных экспериментов представлены основные закономерности изменчивости потоков метана из водохранилищ, а также продемонстрированы несколько методов оценки его эмиссии с искусственных водоемов, что в дальнейшем может помочь в уточнении вклада водохранилищ в общую эмиссию метана в атмосферу с земной поверхности.

Основной **целью** своей работы Ломов В.А. ставит исследование пространственно-временной изменчивости удельных потоков метана из разнотипных водохранилищ с помощью натурных данных и математического моделирования.

Задачи, поставленные в работе, включают в себя анализ натурных измерений из нескольких водохранилищ РФ, выявление особенностей изменчивости потоков метана, и влияющих на нее факторов, применение методов математического моделирования, и проведение оценок эмиссии данного газа из рассматриваемых водоемов разными способами.

Научная новизна представленной работы выражается в исследовании закономерностей изменчивости удельных потоков метана из пяти разнотипных водохранилищ России – Можайского, Озернинского, Ивановского, Рыбинского и Бурейского, на которых ранее подобные исследования либо не проводились вовсе, либо затрагивали изучение отдельных составляющих цикла метана в этих водоемах. В ходе работы была применена и адаптирована к поставленной задаче одномерная модель LAKE 3.2, с помощью которой возможна оценка годовой эмиссии метана из различных водоемов суши. Разработаны новые блоки модели, в частности блок калибровки. Проведенный в работе анализ позволит оптимизировать планирование натурных измерений

для оценки эмиссии метана с неизученных водоемов. Предложенный комплексный подход, основанный на натурных данных и математической модели, позволит получать достоверные оценки эмиссии метана с искусственных водоемов, а также проводить прогнозные расчеты на основе откалиброванной модели, что, несомненно, несет в себе высокую **практическую значимость** проведенного исследования.

Достоверность полученных в работе результатов обоснована проведением статистических оценок точности используемых в исследовании методов натурных измерений. Результаты основаны на большом количестве данных наблюдений с помощью методов, признанных в научном сообществе. Описанные в диссертации критерии качества моделирования обоснованы и используются в научной практике. При оценке эмиссии метана с помощью модели LAKE 3.2 приводится доверительный интервал полученных значений. Результаты работы многократно представлялись на всероссийских конференциях, а также на научных семинарах, опубликованы в отечественных и зарубежных рецензируемых изданиях. Отметим достойное количество журналов и их высокий научный уровень, в которых были опубликованы основные научные результаты.

Все представленные в работе **защищаемые положения** и **выводы** являются вполне **обоснованными и доказанными**. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности. Диссертационное исследование изложено на 197 страницах и состоит из введения, четырех глав и заключения. Работа включает 63 рисунка, 19 таблиц, список литературы, состоящий из 142 источников, 1 приложения.

Во введении обоснована актуальность работы, степень изученности темы диссертации. Сформулированы цели и задачи, основные методы исследования, обозначена теоретическая и практическая значимость, а также научная новизна. Описаны объекты исследования, представлены четыре защищаемых

положения. Описан личный вклад автора и приведены сведения об апробации результатов.

Первая глава посвящена обзору цикла метана в экосистеме водохранилища. Её объем занял чуть более $\frac{1}{4}$ рукописи. Описаны процессы формирования метана в воде и в донных отложениях, основные потоки и особенности их соотношения при различных условиях. Рассмотрены основные пути эмиссии метана в атмосферу. Приведены сведения о различных исследованиях содержания и потоков метана из водохранилищ мира, в том числе и на водоемах России. Приведена история развития оценок поступления метана из водохранилищ мира с акцентом на самых актуальных исследованиях. Описаны преимущества и недостатки представленных в научной практике подходов к оценкам глобальной эмиссии метана.

Сделан вывод о том, что для оценки эмиссии метана с акватории водохранилищ необходим синтез натурных наблюдений и модельных расчетов, причем расчетов по детерминированным моделям, при создании которых будут использоваться многочисленные параметры водохранилища, включая биохимические.

Во второй главе описаны объекты исследования – Можайское, Озернинское, Ивановское, Рыбинское, Бурейское водохранилища. Приведены сведения об объеме проведенных на каждом водном объекте исследований. Описаны методы натурных измерений потоков метана и сопутствующих параметров водной среды, используемые в работе. Проведены статистические оценки погрешности используемых методов. Автор для измерения концентрации метана использовал метод парофазной дегазации Headspace. По этому методу воздух из шприца после дегазации образца фиксировался в стеклянные флаконы, изначально наполненные раствором поваренной соли. Нами на примере Цимлянского водохранилища было проведено сравнение полученных с помощью этого метода результатов с теми, что были определены по методу Гидрохимического института, в котором в качестве консерванта использовалась хлористая ртуть. По неопубликованным

данным была обнаружена высокая сходимость полученных обеими методами результатов. Соискателем описана модель LAKE 3.2, выступающая основным инструментом для численных экспериментов в данной работе.

Третья глава посвящена описанию результатов натурных измерений на исследуемых водных объектах. Рассмотрена временная изменчивость потоков метана на Можайском водохранилище по данным рейдовых наблюдений, а также распределение потоков по длине водоема. Рассмотрены результаты полевых съемок за период открытой воды на Иваньковском, Рыбинском и Бурейском водохранилищах. Приведены статистические данные об измеренных потоках метана со всех водохранилищ, проанализированы связи между характеристиками изучаемых водных объектов и средними значениями потоков метана. По данным натурных измерений проведена оценка годовой эмиссии метана из Можайского водохранилища. На примере Озернинского водохранилища показан метод аналогии для оценки эмиссии метана. Получены оценки суточной эмиссии метана по результатам полевых съемок на остальных исследуемых водоемах с учетом пространственной неоднородности потоков метана в атмосферу.

В **четвертой главе** были добавлены новые блоки расчета, например, обновленная инициализация начального распределения концентрации метана в водохранилище в воде и в донных отложениях. Разработан и вмонтирован блок калибровки, предполагающий три последовательных этапа – калибровка температурного режима, кислородного режима и временного хода УПМ в атмосферу. В ней приводится анализ результатов численного воспроизведения временного хода потоков метана из исследуемых водохранилищ с помощью модели LAKE 3.2. Описана постановка задачи численных экспериментов, входные данные в модель и начальные условия для расчета. Проведен анализ чувствительности результатов моделирования к различным параметрам модели и входным данным. Рассмотрена процедура калибровки модели. Показано воспроизведение температурного, кислородного режима в модели LAKE 3.2, продемонстрированы результаты расчетов временной изменчивости удельных

потоков метана в атмосферу в сравнении с данными натурных наблюдений. С помощью модели получены величины годовой эмиссии с исследованных водохранилищ с интервалом неопределенности. Выполнена оценка эмиссии метана с помощью модели LAKE 3.2 для исследуемых водохранилищ.

В заключении перечислены ключевые выводы по проделанной работе.

В приложении представлено сравнение профилей температуры и растворенного кислорода по глубине между результатами модели и натурными данными.

Замечания к диссертационной работе:

1. Соискатель рассматривает водохранилища как источники «антропогенного» метана, обосновывая это тем, что он образуется в искусственных водоемах. Однако очевидно, что он образуется не только в самой чаше водохранилища, но и поступает в него с речным и склоновым стоком, где он формируется в основном из органического вещества естественного генезиса. Впадающие в искусственный водоем реки являются дренами, которые разрушая породы их русла и поймы, извлекают захороненный в них «древний» углерод. Другим источником метана и органического вещества являются сточные воды предприятий и городских агломераций, расположенные на берегу водохранилища. Именно это органическое вещество и метан относятся исключительно к «антропогенному», в то время как газ, образующийся *in situ* в чаше искусственного водоема, имеет смешанный «природно-антропогенный генезис». Возможен также подток в водохранилище по разломам и оперяющих их трещинам метана термокаталитического происхождения из залежей угля и углеводородов, не связанного с деятельностью человека. По геологическим данным, такой глубинный разлом имеется, например, в районе Цимлянского водохранилища.

2. На стр. 6 автор пишет, ссылаясь на литературные источники, что «...исследования проводились и на более отдаленных от Европейской территории России водохранилищах, например, в Сибири, на Дальнем Востоке,

в южной части страны». Т.е., последняя по мнению автора, не относится к ЕТР, с чем оппонент согласиться не может.

3. На стр. 7 приводится название метода только на английском языке «Thin Boundary Layer (TBL)», что в переводе на русский язык означает «Тонкий пограничный слой». Добавим, что на рис. 1.4., 1.7.- 1.10 подписи на самих рисунках представлены только на английском языке, что не совсем корректно.

4. Сделана описка в ссылке на работу Garkusha, D., Fedorova, A. Tambieva, N. // Russian Meteorology and Hydrology. – 2016. – Vol. 41(6). – pp. 410-417. Оппонент является соавтором этой работы, в ссылке на которую, перепутаны инициалы и пол.

5. На наш взгляд описание модели (Tan and Zhuang, 2015) и других исследователей в главе 2 было бы желательно привести в отдельной обзорной главе. Она могла бы быть названа «Аналитический обзор ...» или «Состояние проблемы...».

6. На странице 66 приводится формула (2.8), в которой при расчете потока не учитывается объем камеры, что не вполне корректно.

7. В главе 3 автором вместо общепринятого термина «экспедиция» используется «кампания», что на наш взгляд не совсем адекватно по отношению к проведению научных исследований и мониторинга.

8. В главах и заключении используются два термина «донные отложения» и «грунты», которые автор считает равнозначными. Однако это не совсем так, поскольку термин «грунт», предпочтительнее применять в инженерно-геологических изысканиях при строительстве на них жилых зданий и сооружений.

9. В главе 3 на стр. 132. автор пишет, что «Синоптическая ситуация – это основной драйвер процессов в водной толще, однако, она складывается сразу из нескольких параметров, часто линейно не взаимосвязанных друг с другом». Далее соискатель обращает внимание на отсутствие регрессионных связей между метеорологическими параметрами и удельными потоками метана. При этом он подчеркивает их «ключевую роль в формировании структуры

водной толщии каждого водохранилища, и, как следствие, в интенсивности биохимических процессов». Это утверждение требует некоторого пояснения, поскольку в работах оппонента были установлены значимые положительные зависимости, например, между такими параметрами как температура воды и содержание метана в воде с одной стороны и удельными потоками газа из водоемов с другой (Федоров и др., 2007; Федоров и др., 2012).

10. В главе 4 представлены результаты моделирования для Можайского, Иваньковского, Рыбинского и Бурейского водохранилищ. Обращает внимание, что моделирование Озернинского водохранилища не проводилось, так как по нему, как отметил соискатель, накоплено недостаточно натурных данных. В связи с этим возникает вопрос о целесообразности включения исследований этого водохранилища в диссертационную работу.

11. В табл. 4.7. главы 4 приводится оценка годовой эмиссии метана из Можайского водохранилища за период 2017–2019 гг. по результатам натурных измерений и математической модели. Обнаружена хорошая сходимость результатов определений, выполненных в 2017 и 2019 гг., в то время как, для 2018 г. наблюдается весьма существенная разница между результатами натурных измерений и математической модели. Расчет с использованием математической модели показал превышение в 1,57 раз, чем по результатам натурных данных. Чем это, по вашему мнению, обусловлено?

Вместе с тем указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (по географическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, и оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой

степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Ломов Виктор Александрович заслуживает
присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности
1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Официальный оппонент:

доктор географических наук, профессор,
зав. кафедрой физической географии,
экологии и охраны природы
Института наук о Земле ФГАОУ ВО
«Южный федеральный университет»

ФЕДОРОВ Юрий Александрович

« 15 » ноября 2024 г.

Контактные данные:

Тел.: , e-mail: fedorov@sfedu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.27. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Адрес места работы:

344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, д. 40,
Институт наук о Земле ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,
кафедра физической географии, экологии и охраны природы

Тел.: +7(863)222-57-01, e-mail: dek_geo@sfedu.ru

Подпись сотрудника кафедры физической географии, экологии и охраны
природы Института наук о Земле ФГАОУ ВО «Южный федеральный
университет»

Ю.А. Федорова удостоверяю:

