

ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
доктора биологических наук Васенева Вячеслава Ивановича
на тему «ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЗАПАСОВ
УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ГОРОДОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
РОССИИ»

по специальностям 1.5.19 – Почвоведение (биологические науки) и
1.5.15 – Экология (биологические науки)

Диссертационная работа Вячеслава Ивановича Васенева посвящена широкому спектру вопросов, связанных с углеродным балансом в почвах городов. Глава 3 – это описание мета-анализа закономерностей распределения запасов углерода в городах мира в глобальном масштабе (на основе подготовленной автором базы данных, аккумулирующей информацию из многочисленных литературных источников). В главах 4 и 5 излагаются результаты серии экспериментов, направленных на анализ факторов пространственно-временной изменчивости запасов углерода и эмиссии углекислого газа в почвогрунтах, почвенных конструкциях и почвах разных функциональных зон городов (для Москвы и Курска). В главе 6 рассмотрены факторы пространственно-временной изменчивости запасов углерода в почвах нескольких городов Московского региона, в частности влияние городского острова тепла. В главе 7 приведены результаты анализа распределения запасов углерода и динамики эмиссии CO₂ почвами городов (при сравнении с фоновыми почвами), расположенных в шести природных (под)зонах Европейской территории России (лесотундра, северная тайга, южная тайга, широколиственные и смешанные леса, лесостепь, степь).

Изложению результатов собственных исследований предшествует относительно компактный, но очень информативный литературный обзор (глава 1) по проблематике городского почвоведения и вопросам изучения цикла

углерода. Важно отметить, что в обзоре не столько пересказываются известные истины, сколько акцентировано внимание на существующих пробелах в наших знаниях применительно к почвам городов. Обзор базируется на многочисленных литературных источниках (их более 400), как «старых» (классических), так и самых современных; как отечественных (в меньшей степени), так и иностранных (в большей) авторов. На мой взгляд, это обзор уровня хорошей монографии, свидетельствующий о полной вовлеченности диссертанта в тематику работы, знании им современного состояния исследований в мире.

Описание объектов и методов исследований (глава 2) не просто характеризует районы работ и дает прописи методик, а в обобщенном виде излагает общую концепцию и методологию диссертационного исследования. Обобщающие таблицы и рисунки дают представление об иерархии объектов и пространственных масштабов, характеризуют логическое соподчинение разных разделов диссертации, увязывая их в единое целое. После знакомства с этой главой не остается сомнений в том, что рассматриваемая диссертация обладает внутренним единством.

Заключение и выводы диссертации демонстрируют, что диссертант уверенно владеет важнейшей для научного работника компетенцией – умением обобщать информацию и четко формулировать свои мысли.

Тема и содержание диссертации соответствуют заявленным специальностям. Поскольку рассматриваемые вопросы не укладываются в рамки какой-то одной предметной области, вполне логично и оправданно то, что диссертация защищается по двум специальностям.

Содержание диссертации, безусловно, соответствует специальности 1.5.19 – Почвоведение (биологические науки), как минимум, следующим пунктам ее паспорта: п. 9 (Функции почв в биосфере и жизни человека, в обеспечении экологической безопасности. Экосистемные сервисы, связанные с почвами), п. 10 (Почва как источник и поглотитель парниковых газов. Трансформация почв под действием изменений климата), п. 13 (Теоретические,

научно-методические и практические вопросы инженерного почвоведения. Технологии конструирования, осушения и орошения почв).

Поскольку в работе анализируются не только почвы, но и другие компоненты экосистем, а также процессы на уровне экосистемы в целом (в разных пространственных масштабах), содержание диссертации соответствует специальности 1.5.15 – Экология (биологические науки), а именно следующим пунктам ее паспорта: п. 7 (Циклы биогенных элементов в экосистемах, биомах и биосфере в целом), п. 10 (Антропогенное воздействие на популяции, сообщества и экосистемы), п. 11 (Научное обоснование технологий, замещающих функции природных экосистем. Разработка принципов создания искусственных экосистем и управления их устойчивым функционированием).

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений. С одной стороны, она определяется насущной потребностью в корректных оценках запасов и потоков углерода в наземных экосистемах для моделирования карбонового цикла в разных пространственных масштабах. С другой стороны, актуальность работы связана с существенными пробелами – почти белыми пятнами – в информации о запасах и потоках углерода для территорий городов, а также о детерминантах их пространственного и временного варьирования. Глобальный тренд роста урбанизации делает наличие таких пробелов все более критичным. Актуальность диссертации связана также и с практическими аспектами – необходимостью управления почвенными ресурсами в городах (включая конструирование искусственных почв) с целями достижения углеродной нейтральности и обеспечения экосистемных сервисов.

Новизна результатов касается нескольких аспектов. Основной из них, на мой взгляд, заключается в том, что диссертант внес вклад в раскрытие механизмов, определяющих специфику городских территорий в отношении лежащих в основе цикла углерода процессов. Убедительно показано, что действие урбанизации поливариантно: за счет протекания разнонаправленных процессов оно может приводить как к снижению, так и к увеличению запасов углерода в почвах в зависимости от соотношения запечатанных и занятых

растительностью территорий, от климатических условий и типа фоновых почв. Впервые в рамках единой синхронизированной методики была проанализирована пространственно-временная неоднородность запасов углерода и эмиссии CO_2 в почвах городов шести природных (под)зон – от тундры до степи. Для Московского мегаполиса впервые количественно оценены величины поступления углерода с поставками почвогрунтов, продемонстрирована низкая устойчивость к минерализации органического вещества почвенных конструкций в условиях городского острова тепла.

Практическая значимость диссертационной работы связана с тем, что полученные результаты имеют прямой выход на разработку оптимальных технологий управления почвами и почвенными конструкциями в городах. Более того, диссертантом предложены конкретные технологические решения почвенного конструирования, снижающие потери углерода. Полученные эмпирические данные по запасам углерода и разработанные прогнозные модели формируют основу для создания систем поддержки принятия решений в области природопользования и городского управления, в том числе при подготовке законодательных актов.

Достоверность результатов определяется использованием диссертантом современных методов инструментальных измерений (прежде всего, для измерения ключевого в работе параметра – концентраций углекислого газа, с помощью анализаторов с инфракрасным детектором), очень значительным объемом лабораторных экспериментов и полевых работ, использованием корректного и достаточно продвинутого статистического и геоинформационного анализа данных. Немаловажно, что результаты базируются на неоднократных во времени измерениях, что позволяет оценивать их воспроизводимость. Также важно, что результаты касаются не какого-то одного города, как это часто бывает в работах по этой тематике, а охватывают несколько городов, в том числе и в зональном аспекте. Это соответствует современной методологии экологических исследований и позволило выявить

закономерности более высокого уровня общности, чем если бы работа была выполнена в какой-то одной географической точке.

Список публикаций соискателя, в которых изложены результаты диссертации, включает 28 статей в журналах, индексируемых в Web of Science, Scopus и RSCI. Это с лихвой превышает минимальный порог в 15 статей, установленный п. 2.4 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Но гораздо важнее количества статей уровень журналов, в которых они опубликованы. Особо хотелось бы отметить журналы *Science of the Total Environment* (импакт-фактор 9.8), *Catena* (импакт-фактор 6.2, 2 статьи), *Geoderma* (импакт-фактор 6.1, 2 статьи), *Land Degradation and Development* (импакт-фактор 4.7, 2 статьи), *Journal of Soils and Sediments* (импакт-фактор 3.6, 2 статьи), *Urban Ecosystems* (импакт-фактор 2.9), *Journal of Environmental Quality* (импакт-фактор 2.8, 2 статьи). Для предметной области почвоведения и экологии импакт-факторы этих журналов можно оценить как высокие и очень высокие, а сами журналы, соответственно, как высокорейтинговые. Наконец, 8 статей опубликовано в ведущих отечественных журналах – «Почвоведение» (7 статей) и «Экология» (1 статья).

Все указанные журналы придерживаются очень высоких стандартов качества: рукописи в них проходят тщательную, а порой, очень жесткую экспертизу. Поэтому публикации в них – это хорошая гарантия высокого уровня работ, тем более, отсутствия в них каких-либо критических недочетов. Наличие столь внушительного перечня публикаций в высокорейтинговых журналах означает, что результаты диссертации уже, фактически, успешно прошли экспертизу в отношении актуальности темы, научной новизны, значимости результатов для развития науки, корректности анализа и представления данных.

Не менее показателен и круг соавторов диссертанта – ведущих почвоведов мира. Их список включает (но не исчерпывается ими) Якова

Кузякова, Риккардо Валентини, Валерия Николаевича Кудеярова, Андрея Валентиновича Смагина, Надежду Дмитриевну Ананьеву.

Исследования диссертанта были поддержаны научными фондами – РФФИ (5 проектов) и РНФ (2 проекта). В этих проектах диссертант был либо руководителем, либо ключевым исполнителем. Это также можно рассматривать как свидетельство того, что актуальность тематики, научная новизна и достоверность результатов диссертационного исследования подтверждены в ходе тщательной экспертизы заявок и отчетов, которую практикуют эти фонды.

Учитывая сказанное об уровне публикаций диссертанта и о поддержке его исследований грантами, у меня не вызывает сомнений обоснованность сформулированных в диссертации выводов и выносимых на защиту положений.

Личный вклад соискателя четко обозначен в диссертации. Он заключается в реализации основных составляющих научной работы – от постановки задач и сбора первичного материала до анализа результатов, их осмысления и написания статей. В диссертации указано, что диссертант принимал участие в планировании исследований, проведении полевых и лабораторных экспериментов, выполнении мониторинговых измерений на экспериментальных площадках, организации нескольких экспедиций, выполнении статистического анализа данных и пространственного моделирования, систематизации и обобщении результатов, подготовке публикаций. В половине статей (14 из 28) диссертант – первый или последний автор, что говорит о его ведущей роли в авторском коллективе этих публикаций.

Диссертант очень щепетильно подошел к использованию результатов работ, полученных в соавторстве. Для каждой главы и/или подглавы в сносках указано, где именно они опубликованы. Такой способ оформления ссылки на собственные результаты, полученные в соавторстве, весьма информативен и может служить образцом. Другими словами, нет оснований сомневаться в том, что диссертация отвечает важнейшим для такого рода работ критериям,

указанным в п. 2.3 и 2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова.

Диссертация написана хорошим научным языком, легко и с интересом читается, практически не содержит опечаток. Структура и содержание автореферата соответствует диссертации, формулировка задач, выводов и выносимых на защиту положений идентична в диссертации и автореферате.

У меня нет принципиальных замечаний по диссертационной работе. На мой взгляд, было бы неправомерным предъявлять претензии к перечню параметров почвенного органического вещества и его деструкции, неполному совпадению анализируемых показателей в разных разделах работы, не всегда внушительному количеству повторностей и не всегда высокому пространственному разрешению схем отбора. Для рассмотренных пространственных масштабов, охватывающих территорию крупного города в целом, тем более, нескольких городов в аспекте широтной зональности, и в рамках принятой парадигмы анализа пулов и потоков углерода диссертант сделал, вероятно, максимум из возможного.

Тем не менее, хотелось бы высказать некоторые соображения, имеющие, скорее, характер пожеланий, а не замечаний:

1. В главе 4 (п.4.3–4.5) при оценке устойчивости органического вещества почвогрунтов к биодеструкции диссертант измерял общую эмиссию углекислого газа, а затем пересчитывал ее в микробное дыхание просто путем умножения на коэффициент 0.5. Основанием для этого диссертант указал литературные данные и результаты собственных экспериментов, изложенные в главе 5. Однако хорошо известно, что доля микробного дыхания может сильно варьировать (в пределах 30–70% или даже в более широких) в зависимости от многих обстоятельств. Кстати, в литературном обзоре (стр. 24) диссертант сам на это указывает, ссылаясь на эти же самые литературные источники. В главе 5 изложены результаты прямого измерения доли микробного дыхания с помощью одного из возможных методов (изоляции почвы

от прорастания корней). Однако их результаты (табл. 19, рис. 70) не в полной мере поддерживают заключение относительно коэффициента 0.5 для пересчета общей эмиссии углекислого газа в микробную эмиссию. Безусловно, корректная оценка доли микробного дыхания в дыхании почвы – чрезвычайно сложная задача. И было бы неправильным требовать от диссертанта ее решения в каждом из экспериментов, включенных в диссертацию. Тем не менее, было бы более обоснованным использовать в расчетах некоторый диапазон значений коэффициента пересчета, а затем оценить влияние этой неопределенности на выводы о сравнении результирующих параметров (в данном случае, чистого экосистемного обмена). Сказанное в такой же степени относится и к главе 7, в которой общая эмиссия пересчитана в микробное дыхание с использованием определенных ранее коэффициентов (но уже не равных 0.5).

2. Второе соображение – продолжение первого. Для тематики диссертации оценка доли микробного дыхания в общей эмиссии углекислого газа – ключевой момент в расчетах. Поэтому, для надежности, имело бы смысл эту оценку базировать на нескольких независимых методах, а не только на одном, который был использован в диссертации (прямое исключение корней с помощью изолирующего материала). Из вполне доступных можно указать на полевую модификацию метода субстрат-индуцированного дыхания, а также на регрессионный метод. В последнем случае в распоряжении диссертанта уже есть все необходимые данные – запасы корневой массы с синтопной оценкой общей эмиссии.
3. В диссертации абсолютно проигнорирована роль почвенных животных в деструкционных процессах, она даже не упомянута в литературном обзоре. В какой-то степени эта ситуация, увы, типична, но не соответствует ни современным представлениям, ни собственно роли почвенных детритофагов. Есть многочисленные свидетельства

прямого и косвенного участия почвенных животных в деструкции органического вещества и в его стабилизации. Последнее особенно важно в контексте активно обсуждаемой проблемы секвестрации углерода в почве. Скорее всего, включение информации об активности детритофагов уменьшило бы степень неопределенности при моделировании и прогнозировании потоков углерода. Для учета роли почвенных животных диссертанту совершенно необязательно было переквалифицироваться в почвенного зоолога. В арсенале морфологии почв есть методы, позволяющие диагностировать активность почвенных детритофагов по макроморфологическим признакам органогенных горизонтов (с относительно небольшими дополнениями по сравнению со стандартными). Я имею в виду диагностику форм и систем гумуса на основе Европейской морфофункциональной классификации. Полагаю, что формы гумуса, по крайней мере, для лесных почв (и почв под древесной растительностью в городе) были бы лучшими предикторами для моделей по сравнению с типами почв.

4. В качестве основного параметра в диссертации использовано общее содержание органического углерода в почве, без разделения почвенного органического вещества на какие-либо пулы. Для решаемых в диссертации задач, особенно при пространственном моделировании в масштабе всего города, иное было бы, вероятно, и невозможно. Тем не менее, набирающая все большую популярность концепция фракционирования почвенного органического вещества на пулы (структурные и процессные) в соответствии с их устойчивостью к минерализации (как минимум, с выделением лабильного и стабильного органического вещества), была бы очень уместна в контексте неоднократно обсуждаемого в диссертации вопроса об устойчивости почвенных конструкций и почвогрунтов к

биодеструкции. Как минимум, этот подход имело бы смысл обсудить в литературном обзоре.

Для меня остались не понятными несколько частных вопросов, на которые хотелось бы получить разъяснения:

1. Правильно ли я понял, что лесная подстилка была исключена при отборе образцов, а приводимые результаты по концентрациям и запасам углерода в слое 0-10 см касаются только органоминерального горизонта, в том числе и для лесов? Если это так, то какова, по мнению диссертанта, может быть вносимая таким исключением погрешность в оценки запасов углерода в масштабе города? Как это может сказаться на сравнении фоновых и городских почв?
2. Для характеристики качества регрессионных моделей в одних случаях указан R^2 (например, таблицы 38–40, стр. 95–98 Т.2), а в других – R^2_{adj} (например, стр. 178 Т.1, 41, 56 Т.2). Возникает вопрос: в тех случаях, когда указан R^2 , это есть некоторая неточность в написании, т.е. нижний индекс опущен ошибочно? – или, действительно, был использован обычный, а не скорректированный коэффициент детерминации? Если верно последнее, то с чем связана такая вариативность? Еще более загадочным представляется одновременное использование R^2 и R^2_{adj} – например, таблицы 9, 27, 30, стр. 154. Разница между обычным и скорректированным коэффициентами в диссертации никак не обсуждается. Возможно, диссертант хотел использовать эту разницу для сравнения моделей по соотношению их точности и сложности (числу предикторов)? Но для этого существуют значительно более продвинутые метрики, например информационный критерий Акаике.
3. Для множественных сравнений (выделения гомогенных групп) в диссертации использовано два критерия – Тьюки (например, стр. 101, 179, 180) и Фишера (например, стр. 102, 168, 173). Но нигде не объяснена такая вариативность. В пределах конкретной статьи выбор

критерия можно и не пояснять (особенно если использован более корректный – Тьюки). Однако при объединении результатов нескольких исследований в рамках единого произведения – диссертации – следовало либо соблюсти единообразие, либо пояснить применение разных критериев.

Могу обратить внимание на некоторые терминологические огрехи, правда, весьма немногочисленные и некритичные для понимания сути работы:

1. Автор неоднократно использует словосочетание «наземная биомасса» в контексте противопоставления подземной биомассе (массе корней), в частности, на стр. 20, 27, 47, 65, 77, 78, 82, 141, 143, 146, 152, 157, 158, 159, 164. Очевидно, что речь идет о надземной биомассе, а не о наземной. Интересно, что в других местах диссертации использовано правильное словосочетание – «надземная биомасса» (например, стр. 78, 81, 140, 142, 160, 164). Другими словами, это можно квалифицировать лишь как некоторую небрежность в оформлении.
2. Повсеместно в диссертации использована транслитерация с английского (латинского) – «пост-хок критерий» (в контексте парных сравнений в рамках дисперсионного анализа). В русскоязычной литературе для обозначения этого метода есть устоявшийся термин, который и следовало использовать – множественные сравнения или апостериорные сравнения.
3. На стр. 188 говорится о «пространственно-временном разнообразии» потоков углекислого газа, хотя речь идет о варьировании эмиссии в пространстве и во времени. На стр. 110 и 126 говорится, что запасы углерода «отличаются более высоким разнообразием», хотя речь также идет лишь о пространственном варьировании. Термин «разнообразие» занят для обозначения числа качественно различающихся сущностей, когда рассматривают биологические виды, почвенные разности, варианты чего-либо и пр. И именно в таком контексте он неоднократно использован в диссертации.

4. На стр. 184 допущена неточность: «Для потока была показана слабая положительная корреляция (Пирсона) с влажностью почвы ($r = 0.27$; $p > 0.05$)». Строго говоря, если корреляция статистически незначима (как в указанном случае), то следует говорить об ее отсутствии, а не о том, что она слабая. В других местах диссертант правильно описывает незначимую корреляцию как ее отсутствие (например, стр. 21 и 192). Другими словами, речь идет о стилистической неточности.
5. В табл. 6 при перечислении анализируемых параметров с указанием их размерности приведено «Соотношение C/N (доли единицы)». Отношение C/N – величина безразмерная, что, собственно, и следовало указать. «Доли единицы» – это явная описка, тем более, что концентрация углерода обычно на порядок выше концентрации азота, а их отношение чаще всего лежит в диапазоне 10–30.
6. В большинстве случаев диссертант использует корректный термин «статистически значимый» / «статистически незначимый». Тем не менее, к сожалению, в диссертации встречается устаревший и неоднократно критиковавшийся термин «достоверный» / «недостоверный» (в контексте статистического вывода), например, на стр. 141, 142, 144.

Также можно обратить также внимание на некоторые огрехи в оформлении диссертации.

1. Отсутствует заголовок «Введение» для обозначения соответствующего фрагмента текста (и собственно в тексте, и в оглавлении). Вместо него в оглавлении указано «Актуальность проблемы», хотя это только одна составляющая этого фрагмента, наряду со «Степень проработанности темы», «Объект и предмет исследования» и прочее. В автореферате же указано, что «Диссертация включает введение, обзор литературы (глава 1), описание объектов и методов (глава 2)...» и т.д. Другими словами,

введение, естественно, в диссертации присутствует, но имеет место погрешность в оформлении.

2. Диссертация состоит из двух томов, причем нумерация страниц во втором томе вновь начинается с первой. Не знаю, насколько это соответствует формальным требованиям, но такой способ нумерации очень неудобен при цитировании фрагментов текста. Для электронного формата рукописей разбиение на два тома – это пережиток «бумажного прошлого».
3. Не во всех случаях латинские названия видов написаны курсивом, как этого требует традиция (например, стр. 82, 152), хотя в других местах традиция соблюдена.
4. Не всегда слово «предынкубация» написано правильно: на стр. 43 Т.2 – несколько раз ошибочно написано «прединкубация».
5. Названия некоторых русскоязычных статей в списке литературы приведены весьма странно: не только первое, а каждое слово (включая союзы и предлоги) написано с заглавной буквы (например, ссылки № 375, 378, 379, 391, 393, 405). «Верблюжий стиль» порой используют в названиях англоязычных статей (но это не приветствуется при оформлении списков литературы), а вот для русскоязычных статей я его встречаю первый раз.
6. В списке литературы вначале приведены публикации на латинице, после чего идут публикации на кириллице. Так правильно? – обычно наоборот. Скорее всего, это огрехи автоматического формирования списка литературы из библиографической базы.

Хочу подчеркнуть, что указанные замечания никак не влияют на общее очень положительное впечатление от диссертации и никак не умаляют значимости выполненных диссертантом исследований.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к докторским диссертациям. Содержание диссертации соответствует специальностям 1.5.19 –

Почвоведение (биологические науки) и 1.5.15 – Экология (биологические науки), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация 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 Васенев Вячеслав Иванович заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальностям 1.5.19 – Почвоведение (биологические науки) и 1.5.15 – Экология (биологические науки).

Официальный оппонент:

доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории экотоксикологии популяций и сообществ

ФГБУН Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН
Воробейчик Евгений Леонидович

17.05.2024 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (922) 2095613, e-mail: ev@ipae.uran.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
03.00.16 – Экология

Адрес места работы: 620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202, ФГБУН Институт экологии растений и животных УрО РАН, лаборатория экотоксикологии популяций и сообществ

Тел.: +7 (343) 2102954; e-mail: common@ipae.uran.ru

Подпись сотрудника Института экологии растений и животных УрО РАН
Воробейчика Евгения Леонидовича
удостоверяю: *С.А. Воробейчик*

