

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук Добровольской Валерии Андреевны на тему: «Оценка потенциала секвестрации углерода пахотными почвами ряда областей Европейской территории России» по специальности 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Актуальность исследований. Почвенная секвестрация углерода предусматривает перевод атмосферного диоксида углерода в биомассу растений и включение растительной мортмассы в почвенное органическое вещество с минимальным риском немедленного возврата углерода в атмосферу. Восстановление ранее утраченных запасов органического углерода в пахотных почвах путем почвенной секвестрации атмосферного углерода позволит смягчить последствия изменения климата, вызванные ростом концентрации климатически активных газов в атмосфере и обеспечить переход к устойчивым системам землепользования. Почвы являются одним из крупнейших наземных резервуаров углерода. Даже небольшое повышение содержания органического вещества в почве способно существенно уменьшить концентрацию CO₂ в атмосфере.

Разработка моделей углеродного баланса на базе глобальных, национальных и региональных статистических данных позволяет количественно прогнозировать динамику запасов углерода при разных климатических сценариях и агротехнологиях. Развитие концепций углеродного биогеохимического цикла, уточнение механизмов биотической секвестрации атмосферного углерода и стабилизации секвестрированного углерода в почве также важны и востребованы, как и совершенствование моделей, связывающих климатические, почвенные и антропогенные факторы. Появляется возможность конструирования климатосмягчающей и продукционно устойчивой практики земледелия, формирования кадастров углеродных запасов во внутрихозяйственном, региональном и национальном масштабе.

Россия обладает исключительно высоким углеродсеквестрирующим потенциалом. Это обусловлено значительными площадями земель, вовлеченных в сельскохозяйственное производство, дегумусированностью большинства пахотных почв, средними по мировым меркам величинами продуктивности сельскохозяйственных культур. Исследование потенциала секвестрации углерода напрямую отвечает задачам развития низкоуглеродной экономики и ключевым компонентом политики по учёту и снижению углеродного следа сельского хозяйства. Очевиден растущий интерес научного сообщества и государственного сектора к инвентаризации источников климатически активных газов и организации национального мониторинга углерода.

Сказанное выше подчеркивает актуальность, теоретическую новизну и прикладную значимость исследований, выполненных В.А. Добровольской, целью которых была оценка чистой первичной продукции и потенциала секвестрации углерода пахотными почвами двух субъектов Российской Федерации путем прогнозного моделирования динамики почвенного органического углерода на основе глобальных и национальных баз данных.

Структура и содержание работы. Изложены актуальность и обоснование темы, сформулированы методология, цель и задачи исследований, представлены научная новизна, защищаемые положения и практическая значимость работы. В трех главах, содержащих 15 разделов и 21 подраздел, проведен анализ литературы, описаны объекты и методы исследований, даны результаты, полученные при реализации заявленных задач. Диссертация изложена на 163 страницах, содержит 14 таблиц, 50 рисунок, заключение, выводы, библиографию из 158 источников, включая 60 англоязычных, и 8 приложений.

В обзоре литературы рассмотрены последствия изменения климата и взаимосвязь глобальных изменений климата и нарушений глобального биогеохимического цикла углерода. Изложена сущность инициативы «4 промилле» и ее российского варианта «2 промилле». Обсуждены климатосмягчающие и адаптационные эффекты управления почвенным

органическим углеродом. Дана характеристика источников, резервуаров и потоков углерода в окружающей среде. Приведены оценки по объемам эмиссии и стока диоксида углерода. Сформулированы основные принципы «углеродной» экономики. Проанализированы факторы, влияющие на выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве. Даны подтверждения двойной выгоды от сохранения и воспроизводства почвенного углерода, как регулятора климатических изменений, и как фактора почвенного плодородия. Представлен перечень мер, направленных на сохранение почвенного углерода. Изложены основные принципы создания глобальной карты почвенной секвестрации углерода на основе баланса его содержания в пулах и скорости потоков между пулами. Специальный раздел обзора посвящен вопросу оценки чистой первичной продукции (NPP). В заключительном разделе обзора литературы рассмотрены основные подходы к моделированию изменений запасов органического вещества в почве.

Базовым объектом исследований были пахотные почвы зонального ряда на территории Европейской части России от дерново-подзолистых до каштановых. Тестовыми объектами для применения новой методики расчета NPP и подробного моделирования выбраны Московская и Ростовская области, территории которых контрастны по своим характеристикам. Дано подробное описание климатических и почвенных характеристик Московской и Ростовской областей. Изложены особенности формирования карт потенциала почвенной секвестрации углерода согласно методике ФАО. Описаны основные этапы моделирования скорости секвестрации углерода почвами и пути гармонизации входных данных. Перечислены 7 входных данных, необходимых для построения карт секвестрации и указаны источники получения этих параметров. Описана методика расчета чистой первичной продукции в агроэкосистемах с использованием статистической информации и экспериментальных данных. Специальный раздел главы посвящен оценке доли неопределенности картографического исследования в результатах. Представлен алгоритм расчетов целевых значений 2 и 4 промилле. Изложена методика расчета вариабельности запасов органического углерода в почве.

Описанная процедура получения исходных данных, их систематизации, валидации и адаптации к классической модели почвенного углерода, каковой является RothC, убеждают в объективности и точности полученных результатов.

В главе 3 «Результаты и обсуждение» приведены расчеты скорости потенциальной секвестрации углерода для четырёх сценариев интенсивности применения сельскохозяйственного производства. Разработана методика расчёта NPP с использованием статистических данных Росстата. Получены новые оценки скоростей секвестрации углерода для Московской и Ростовской областей. Проведено сравнение национальных (российских) величин потенциала секвестрации с мировыми источниками. Выявлена пространственная неоднородность потенциала секвестрации углерода на муниципальном уровне. Подтверждена правомочность инициатив «4 промилле» и российского варианта «2 промилле» по секвестрации углерода в Московской области при различных сценариях, в отличие от Ростовской области, где возможна реализации только «2 промилле» при интенсивном сценарии. Предложена методика расчета потенциала секвестрации, которая дает более детализированную оценку, чем существующие глобальные модели. Показана важность использования национальных данных для более точного моделирования углеродных потоков в почве. Разработан алгоритм реализации результатов исследования для решения климатических и продовольственных задач России, в том числе на уровне регионов.

Основные положения диссертации изложены в обобщающем заключении и в 6-и выводах, которые конкретны, информативны и соответствуют содержанию работы.

Научная новизна и практическая значимость. Наиболее значимыми являются следующие положения и выводы исследований В.А. Добровольской.

Модель RothC применима для оценки потенциала секвестрации органического углерода пахотными почвами на европейской территории России.

Разработана новая методика расчёта чистой первичной продукции (NPP) с использованием статистических данных Росстата, что повышает точность входных данных модели.

Использование данных на локальном уровне позволяет получить более детализированные оценки на уровне муниципалитетов с пространственным разрешением до 1 км.

При использовании национальных данных оценки секвестрации углерода оказываются выше, чем при «глобальных» подходах, что подчёркивает важность локализации.

Расчёты для Московской области демонстрируют значительный разброс скоростей секвестрации между различными муниципалитетами.

Среднее снижение NPP при переходе на статистические данные Росстата составило примерно 1.4 т С/га в год для исследованных регионов.

Средняя абсолютная скорость секвестрации по Московской области при применении новой методики сместилась положительно на ~0.2 т С/га/год, а для Тверской области аналогичный сдвиг составил ~0.15 т С/га/год, что указывает на региональные различия в потенциале секвестрации.

Расчёты с помощью модели RothC показали пространственную неоднородность углеродсеквестрирующего потенциала даже внутри области.

Целевые показатели «4 промилле» и «2 промилле» осуществимы для Московской области, и могут быть достигнуты при всех сценариях хозяйствования.

В условиях Ростовской области целевым показателем секвестрации может быть «2 промилле» и лишь при наиболее интенсивном сценарии хозяйствования.

Разработанная методика оценки секвестрации соответствует рекомендациям МГЭИК (IPCC), обеспечивая повышенную разрешающую способность оценки углеродных потоков в почвах.

Использование динамического углеродного моделирования позволяет учитывать влияние климатических и почвенных факторов и рекомендуется для включения в программы национальной инвентаризации углерода.

Применение углеродсеквестрирующих сельскохозяйственных технологий может существенно увеличить потенциал секвестрации по сравнению с текущим уровнем.

Пахотные почвы России демонстрируют реальный вклад в смягчение изменений климата через накопление углерода.

Разработанные подходы к моделированию углеродного баланса могут быть использованы для регионального планирования углеродных инициатив в климато-ориентированной политике.

Полученные результаты представляют собой научную основу для реализации практических мероприятий по углеродосбережению в пахотных землях Европейской части России.

Материалы диссертации имеют конкретную практическую направленность. Разработанная методика расчёта чистой первичной продукции и моделирование углеродного баланса позволяет органам управления и аграрным предприятиям более точно оценивать потенциал секвестрации углерода на конкретных территориях. Результаты исследования могут использоваться при планировании региональных программ по внедрению углеродсеквестрирующих агротехнологий и оптимизации систем земледелия. Полученные оценки и представленные прогнозы указывают на необходимость интеграции данных о почвенном углероде в национальную систему инвентаризации парниковых газов. Подготовленные карты потенциала секвестрации позволяют выделять приоритетные территории для развития углеродных проектов и инвестиционных программ. Модельные расчёты дают научно обоснованный инструмент для прогнозирования вклада агротехнологий в развитие климатически устойчивого сельского хозяйства.

Обоснованность положений, степень завершенности работы и характеристика личного вклада. Работа В.А. Добровольской выглядит завершённой и методически целостной. Использование международно признанной модели RothC применительно к нескольким регионам и сценариям, а также качественное сопоставление разных источников данных указывают на методологическую обоснованность исследования. В

исследовании используются реальные статистические данные, проведен регионально-дифференцированный анализ секвестрации углерода, проверка гипотез выполнена в разных условиях. Это усиливает точность и воспроизводимость выводов. Сценарный анализ обеспечивает обоснованность прогностической части работы, а тестирование на двух регионах с различными климатическими и почвенными условиями повышает устойчивость обобщений, делает выводы не просто описательными, а ориентированными на практическое применение.

Обсуждение результатов проведено в сравнении с литературными данными, опубликованными в последние два десятилетия, что свидетельствует о современности и своевременности выполненной работы. Личный вклад автора заключается в адаптации методики расчёта NPP, в сборе и обработке исходных данных, проведении расчётов и моделировании, создании картографических материалов, в интерпретации результатов моделирования, опубликовании материалов по теме диссертации. Все заявленные задачи полностью раскрыты. Диссертационная работа хорошо иллюстрирована, изложена в строгом научном стиле. Результаты исследований В.А. Добровольской изложены в 6 публикациях, включая 3 в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В.Ломоносова по специальности и отрасли наук. Автореферат полностью соответствует диссертации и отражает ее основные положения.

Замечания по содержанию и оформлению работы. При общей высокой оценке работы В.А. Добровольской имеется несколько замечаний и пожеланий:

1. В тексте встречаются случаи употребления термина «секвестрация почвенного углерода». Такое изложение видится неправильным. Почвенный углерод не подлежит секвестрации. Секвестрации подвергается атмосферный углерод. Поэтому правильно говорить «почвенная секвестрация углерода», в котором почва рассматривается как резервуар, куда перемещается секвестрированный углерод.

2. Согласно Единому государственному реестру почвенных ресурсов России (2014) в Московской области нет выщелоченных черноземов, как это указано в табл. 2.1., а имеются лишь пятна оподзоленных черноземов. При этом на стр. 61 правильно указано на наличие оподзоленных черноземов.

3. Содержание углерода почвенного органического вещества определяли бихроматным методом Тюрина в модификации. Но в настоящее время общепринятым стал метод сухого сжигания проб с использованием CN-анализаторов. Существует вероятность расхождения результатов, полученных этими двумя методами.

4. При моделировании почвенной секвестрации углерода правильно связываются показатели чистой первичной продукции и изменения запасов органического углерода в почве, но скорость секвестрации оценивается по изменению запасов органического углерода. В будущем следует разработать показатель скорости секвестрации, интегрирующий приросты NPP и Sorg в почве.

Высказанные замечания имеют частный характер и не снижают качества представленной диссертации.

Заключение. Диссертация В.А. Добровольской «Оценка потенциала секвестрации углерода пахотными почвами ряда областей Европейской территории России» вносит существенный вклад в почвенно-агрохимическое моделирование. По актуальности темы, степени обоснованности положений, научных выводов и рекомендаций, их достоверности, новизне и практической значимости является завершённой работой и полностью отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова, соответствует специальности 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (по биологическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также 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 Добровольская Валерия Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений.

Официальный оппонент:

доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук - обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук»

Семенов Вячеслав Михайлович _____

25 ноября 2025 г.

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
06.01.04 Агрохимия

Контактные данные: тел. +7-916- , e-mail: v.m.semenov

Адрес места работы:

142290, Московская область, г. Пушкино, Институтская ул., д. 2,

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
Российской академии наук