



СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ КРУГЛОГО СТОЛА

**Управление циклом почвенного углерода для
укрепления продовольственной безопасности и
смягчения последствий климатических изменений**

Санкт-Петербург, 6 декабря 2018 г.



УДК 631.4
ББК 40.3
У67

Управление циклом почвенного углерода для укрепления продовольственной безопасности и смягчения последствий климатических изменений: материалы круглого стола (Санкт-Петербург, 6 декабря 2018 г.) / Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Евразийский центр по продовольственной безопасности. – Москва: Издательство «Перо», 2019 – 23 стр. Электронное издание.

ISBN 978-5-00150-067-4

В сборнике представлены материалы круглого стола с дистанционным (заочным) участием «Управление циклом почвенного углерода для укрепления продовольственной безопасности и смягчения последствий климатических изменений», организованного в рамках конференции «Продовольственная безопасность и человеческий капитал в почвоведении» посвященной Всемирному дню почв. Приведены исследования содержания и состояния углерода в различных типах почв в зависимости от системы землепользования, обсуждены возможности фиксации органического углерода в почвах для снижения эмиссии парниковых газов и повышения плодородия почв, освещены международные инициативы по исследованиям в области секвестрации органического углерода в сельскохозяйственных почвах.

При поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» по теме «Управление депонированием атмосферного углерода пахотными почвами России», соглашение № 075-02-2018-265 от 29.11.2018 г и международного проекта CIRCASA (Координация международного сотрудничества в исследованиях о связывании органического углерода почв в сельском хозяйстве).

ISBN 978-5-00150-067-4

© Авторы, 2019

Издательство «Перо»

109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29-33, стр. 15, ком. 536

Тел.: (495) 973-72-28, 665-34-36

Подписано к использованию 22.03.2019.

Объем 0,78 Мбайт. Электрон. текстовые дан. Заказ 213.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОСТПИРОГЕННАЯ ДИНАМИКА ВОДОРАСТВОРИМОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ГОРНО-ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ <i>Маслова О.А., Маслов М.Н.</i>	4
ВЛИЯНИЕ ШУНГИТА НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КАРТОФЕЛЯ <i>Сидорова В.А., Займль-Бухингер В.В., Юркевич М.Г., Дубровина И.А.</i>	5
ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ПОСЛЕ ИЗМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ <i>Баева Ю.И.</i>	7
ЧЕТЫРЕ ПРОМИЛЛЕ: КАК БОРОТЬСЯ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА, ФИКСИРУЯ УГЛЕРОД В ПОЧВЕ? <i>Романенков В.А.</i>	9
ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПАХОТНЫХ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ <i>Петросян Р.Д.</i>	11
ПОГЛОЩЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО МЕТАНА ПАХОТНЫМИ ПОЧВАМИ: ЗАВИСИМОСТЬ ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ <i>Чистотин М.В.</i>	12
«ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД» В ПОЧВАХ: НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ГИПОТЕЗА <i>Красильников П.В.</i>	15
ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС МИКРОБИОМА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УДОБРИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ <i>Голиков М.В., Семенов М.В.</i>	17
ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА ПРИ ВВЕДЕНИИ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ В СЕВООБОРОТ В УСЛОВИЯХ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ (НА ПРИМЕРЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СЕВЕРА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ) <i>Сорокин А.С., Александрова А.В.</i>	18
МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ СОХРАНЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ <i>Контобойцева А.А.</i>	21
ВОЗМОЖНЫЕ ДЕЙСТВИЯ НАУЧНОГО СООБЩЕСТВА ПО АКТИВИЗАЦИИ ВНЕДРЕНИЯ ПРАКТИК УГЛЕРОД-СБЕРЕГАЮЩЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РОССИИ <i>Конюшкова М.В.</i>	23

ПОСТПИРОГЕННАЯ ДИНАМИКА ВОДОРАСТВОРИМОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ГОРНО-ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ

Маслова О.А., Маслов М.Н.

МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, olga_maslova23@mail.ru

Климатические изменения, наблюдаемые в Субарктике, привели к увеличению частоты возникновения и площади тундровых пожаров. По имеющимся прогнозам частота тундровых пожаров в XXI веке будет постоянно увеличиваться. Водорастворимое органическое вещество (ВОВ), которое является смесью продуктов разложения остатков живых организмов, играет ведущую роль в круговороте углерода (С).

Нами исследованы почвы горно-тундровых экосистем Хибин (Мурманская область). Образцы для исследования отбирали на площадках непосредственно после пожара средней и высокой интенсивности, а также на площадках с разными сроками постпирогенного самовосстановления фитоценозов и почв: 1, 2, 3, 12 и 60 лет. В качестве контроля выбраны сухоторфяно-подбуры иллювиально-гумусовые под кустарничково-лишайниковыми экосистемами, наиболее подверженными возникновению пожаров.

Пожар высокой интенсивности приводит к практически полному уничтожению водорастворимого пула углерода в поверхностном горизонте. Пожар средней интенсивности не приводит к статистически значимому снижению С_{вов} в почве. В ходе дальнейшего постпирогенного самовосстановления почв (в течение первых нескольких лет) происходит снижение концентрации С_{вов} как в пирогенных, так и в минеральных горизонтах. Это связано, во-первых, с эрозией почвы в первые годы после пожара, а, во-вторых, с резким снижением биомассы и опада растений, а также сменой доминирующих групп с кустарничков на мхи. На более поздних этапах постпирогенного развития (с началом формирования нового органогенного горизонта почвы) концентрация С_{вов} постепенно увеличивается. Этому способствует не только восстановление растительного покрова, но и увеличение доли травянистых растений (за счет ежегодного опада, а также корневых экссудатов).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-34-00292 мол_а).

ВЛИЯНИЕ ШУНГИТА НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КАРТОФЕЛЯ

Сидорова В.А., Займль-Бухингер В.В., Юркевич М.Г., Дубровина И.А.
Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, val.sidorova@gmail.com

Шунгитом называют минерал черного цвета, блестящий как твердая смола, и внешне похожий на каменный уголь. По составу это углеродистый минерал, по своим физико-химическим и техническим свойствам близкий к антрациту и графиту. Этот минерал впервые был встречен и описан в Карелии около селения Шуньги, откуда и происходит его название.

Шунгитовые породы – уникальное образование. Они необычны по генезису, структуре входящего в их состав углерода и структуре самих пород. Шунгитовый углерод – это окаменевшая древнейшая нефть. Содержание углерода в породе около 30%, а 70% составляют силикатные минералы – кварц, слюды. Силикатные минералы имеют высокую дисперсность и равномерно распределены в углеродной матрице.

В республике Карелия в ряде мест Заонежья почвенный слой образован шунгитами, которые характеризуются высоким плодородием. Объяснения этому явлению давали разные. Так, П.А. Борисов считал, что оно обусловлено черным цветом почв и присутствием микроэлементов. Такие почвы обладают большой теплоаккумулирующей способностью, благодаря чему в почвенном слое создается более благоприятный тепловой режим. М.А. Тойкка и А.П. Кекконен объясняли плодородие шунгитовых почв наличием в них повышенного содержания микроэлементов, в частности, меди, цинка, кобальта, молибдена.

Промышленные запасы шунгитов к началу XXI века обнаружены исключительно в Карелии. Учитывая географическую локальность распространения шунгитов и связанную с этим ограниченность их запасов, необходимо предельно разумно и расчетливо распорядиться этим уникальным полезным ископаемым. В Карелии утилизация порошкообразных отходов от разработки шунгитовых месторождений и дальнейшей переработки минерала является актуальной экологической проблемой. Применение отходов шунгита в сельском хозяйстве является одним из вариантов рационального природопользования в регионе.

Исследование влияния различных доз и фракций шунгита на рост и развитие растений проводилось в полевом опыте с картофелем.

В качестве углеродсодержащего материала использовался отсев шунгита, получившийся в результате дробления шунгита с месторождений Максово и Загогино (Медвежьегорский район, респ. Карелия). Содержание углерода 34%. Также использовалась готовая шунгит-доломитовая смесь.

Полевой опыт был заложен на агробиологической станции ИБ КарНЦ РАН. Тип почвы – агродерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва, сформировавшаяся на суглинистой сильно завалуненной морене. Почва слабокислая (рН 4,8÷5,3), среднегумусированная, с низким содержанием фосфора и калия, обогащенность гумуса азотом средняя. Культура, используемая в полевом опыте: картофель сорта «Невский». Использовались отсев шунгита (фракция 0,5 мм) и готовая шунгит-доломитовая смесь (соотношение шунгита и доломита в смеси 50/50%). Дозы внесения для всех вариантов – 1 кг/м² и 0,5 кг/м² при предпосевном равномерном способе внесения.

Установлено, что внесение шунгита в почву как в чистом виде, так и в виде шунгит-доломитовой смеси способствовало более раннему появлению всходов картофеля (на 10-й день после посадки). Также в первый месяц после посадки отмечено существенное увеличение длины стебля. Применение шунгита хоть и не привело к существенному повышению урожая, но дало значительное увеличение выхода клубней крупной фракции по сравнению с контролем, а также снижению доли мелкой фракции и гнилых клубней.

Анализ динамики содержания органического углерода и уровня кислотности почвы в вегетационный период при предпосевном равномерном внесении шунгита и шунгит-доломитовой смеси в почву показал, что в чистом виде шунгит не оказывает никакого влияния на уровень кислотности почвы, но в то же время приводит к существенному увеличению содержания органического углерода (на 1,2% при внесении шунгита в дозе 1 кг/м² и на 0,5% при внесении шунгита в дозе 0,5 кг/м²). К концу вегетационного сезона содержание углерода снижается, но все равно в случае внесения чистого шунгита остается существенно выше контрольного значения. При внесении шунгита в виде шунгит-доломитовой смеси также отмечено увеличение содержания углерода на 0,3% в течение первого месяца, однако к концу вегетационного сезона содержание углерода снижается до уровня контрольного варианта.

Исследования были выполнены в рамках государственного задания (тема № 0221-2017-0047).

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ПОСЛЕ ИЗМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Баева Ю.И.

Российский университет дружбы народов, Москва, baeva_yui@rudn.university

С начала 90-х годов XX века – периода стихийного забрасывания сельскохозяйственных угодий – устойчивым стоком CO₂ атмосферы являются бывшие пахотные земли. В настоящее время их роль в углеродном балансе весьма значительна [1,5]. Так, согласно глобальным экспертным оценкам, средняя скорость накопления углерода в почвах вследствие перевода пахотных земель в луга или лесные насаждения составляет - 33-34 г С/м²/год [7].

Цель представленного исследования состоит в оценке изменений содержания углерода в серых лесных почвах в ходе их постагрогенного развития.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования выбраны бывшие пахотные земли Опытной-полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН: паровое поле, залежи 9, 13, 22 и 37-летнего возраста, а также вторичный лиственный лес 65-летнего возраста, являющийся конечной стадией сукцессии [3].

Исследования проведены на базе лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пущино). Содержание общих форм углерода (Собщ) определяли в пробах, отобранных методом конверта из четырех почвенных слоев (0-5 см, 5-10 см, 10-20 см и 20-30 см), на элементном CHNS анализаторе фирмы Leco (США) в 2(4)-х кратной повторяемости.

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования показывают, что во всех почвах залежного хроноряда наибольшие уровни содержания общего углерода (Собщ) отмечаются в верхнем 5-ти сантиметровом слое. При движении вниз по профилю содержание углерода постепенно снижается. При этом для пашни характерно плавное снижение содержания Собщ с увеличением глубины (от 1,42±0,03% в слое 0-5см до 1,28±0,06% в слое 20-30 см). Максимальные же различия между слоями отмечены в почвах под лесным ценозом. Здесь содержание углерода снижается в 4,9 раза. Такая картина обусловлена тем, что в процессе сельскохозяйственного использования почвы подвергаются интенсивной распашке, в результате которой нарушается целостность почвенной структуры. Резкие различия в содержания Собщ в лесных почвах объясняются активно идущими процессами биологической аккумуляции органического вещества в верхнем слое за счет разложения подстилки [3,4].

Наряду с вышесказанным наблюдается отчетливая тенденция роста содержания углерода с увеличением возраста залежей в верхнем 10-ти сантиметровом слое. С

глубиной данная тенденция ослабевает, и в слое 20-30 см достоверно значимых различий в содержание С_{орг} в различных точках хронорядя не отмечается.

Низкие запасы углерода на пашне связаны с невысоким поступлением свежего органического вещества в эти почвы. После выведения пахотных серых лесных почв из сельскохозяйственного оборота на них начинает развиваться сорная растительность, которая со временем сменяется естественным зональным ценозом. Как следствие, в почвы поступает больше свежего органического материала в виде растительного и корневого опада. При этом отчуждение биомассы в виде урожая отсутствует. Все это способствует накоплению углерода в бывшем пахотном слое, особенно в верхней его части [2,3,6,7].

Таким образом, на примере постагрогенных серых лесных почв, представляющих собой последовательные стадии естественной сукцессии на бывших сельскохозяйственных угодьях, показано, что перевод пахотных почв в залежные земли приводит к прогрессивному накоплению органического углерода, особенно в верхнем 10-ти сантиметровом слое, и запускает сложный процесс восстановления почвенного плодородия.

Литература

1. Люри Д.И., С.В. Горячкин, Н.А. Караваева, Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель в России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. Москва: ГЕОС, 2010. 416 с.
2. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мостовая А.С., Овсепян Л.А., Телеснина В.М., Личко В.И., Баева Ю.И. Влияние процессов естественного лесовосстановления на микробиологическую активность постагрогенных почв в различных лесорастительных зонах Европейской части России // Лесоведение. 2018. №1. С.3-23.
3. Baeva Yu. I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Pochikalov A.V., Kudeyarov V.N. Changes in Physical Properties and Carbon Stocks of Gray Forest Soils in the Southern Part of Moscow Region during Postagrogenic Evolution // Eurasian Soil Science. 2017. Vol. 50. №3. P.327-334.
4. Kalinina O., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A. Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern Taiga of Russia: Soil development, nutrient status, and carbon dynamics // Geoderma. 2009. Vol. 152. p.35-42.
5. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O. Assessment of changes in soil organic carbon storage in soils of Russia, 1990-2020 // Eurasian Soil Science. 2008. Supplement. Vol. 41. (13). P.1371-1377.
6. Poeplau C., Don A. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe // Geoderma. 2013.192. P.189–201.
7. Post W.M., Kwon K.C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential // Global Change Biol. 2000. Vol. 6. P. 317-327.

ЧЕТЫРЕ ПРОМИЛЛЕ: КАК БОРОТЬСЯ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА, ФИКСИРУЯ УГЛЕРОД В ПОЧВЕ?

Романенков В.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Евразийский центр по продовольственной безопасности, факультет почвоведения, Москва, geoset@yandex.ru

Рассмотрены основные положения инициативы 4 промилле, выдвинутой на 21 Конференции сторон Рамочной конвенции ООН по вопросам изменения климата в Париже. Она предусматривает ежегодное увеличение запасов органического углерода в верхнем слое почвы на 0,4% в качестве компенсации эмиссии CO₂ от сжигания ископаемого топлива, обуславливающего проявление парникового эффекта и наблюдаемых изменений климата. Для сельскохозяйственных земель такой прирост запасов углерода возможен благодаря использованию правильных агротехнологических решений и оптимизации структуры землепользования. Практическое осуществление данной инициативы позволяет решать вопросы адаптации сельского хозяйства к изменению климата, повысить продовольственную безопасность и снизить эмиссию парниковых газов. Дополнительными выгодами являются снижение затрат на смягчение последствий климатических изменений, улучшение водно-физических почвенных показателей (водопроницаемость и водоудерживание), повышение почвенного плодородия. Прирост содержания почвенного углерода ожидается лишь в течение ограниченного периода (30-50 лет), до достижения нового равновесного уровня. Кроме того, в первые 20 лет после смены землепользования потери почвенного углерода происходят до двух раз быстрее, чем накопление. Лишь после многих десятков лет скорость накопления может сравниться с потерями. Данные ограничения определяют необходимость мониторинга за изменением запасов С и единство технологических приемов в течение десятков лет. Таким требованиям удовлетворяют длительные полевые опыты с удобрениями.

На примере ведущихся российских опытов рассмотрена практическая возможность осуществления инициативы 4 промилле. Используются результаты по опытам Долгопрудненской опытной станции закладки 1933 и 1937 гг. (Московская область) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве с запасами почвенного углерода в пахотном слое 15-38 т/га; ВНИИ органических удобрений закладки 1968 г. (Владимирская область) на супесчаном подзоле с запасами почвенного углерода 16-26 т/га; Пермского НИИСХ закладки 1971 и 1980 гг. (Пермский край) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве с запасами почвенного углерода в пахотном слое 30-44 т/га; ВНИИ льна закладки 1948 г. (Тверская область) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с запасами почвенного углерода в пахотном слое 18-31 т/га; Донского зонального института закладки 1974 г. (Ростовская область) на чернозёме

обыкновенном тяжелосуглинистом с запасами почвенного углерода в пахотном слое 82-92 т/га. Для расчетов использована динамическая углеродная модель RothC. Данная модель входит в десятку наиболее часто используемых мировых динамических моделей ОВ почвы и позволяет моделировать динамику С в пахотных почвах, лугах и лесных сообществах. RothC первоначально была разработана и параметризована на Ротамстедской опытной станции (Англия). Впоследствии модель была расширена для моделирования круговорота С в луговых и лесных сообществах, в различных почвенно-климатических условиях (Smith et al., 1997). В проведенном исследовании RothC использована для воспроизводства динамики С в вариантах указанных длительных полевых опытов, а также прогнозов запасов органического углерода пахотных почв при изменении климата.

Результаты динамического моделирования показали, что в условиях наблюдаемого климата при запасах органического углерода менее 80 т/га для лучших вариантов опытов удастся поддерживать накопление органического С выше уровня 0,4%, но при увеличении экстремальности климата невозможно обеспечить устойчивость накопленного запаса углерода. Так, на вариантах с внесением органических удобрений в опыте ВНИИОУ средний ежегодный прирост запасов органического углерода почвы составил 18,2 промилле, в опыте ВНИИ льна 13,8 промилле, в опыте Пермского НИИСХ 7,4 промилле и в опыте Донского НИИСХ 1 промилле. В опытах ДАОС на различных вариантах с применением минеральных и органических удобрений средний ежегодный прирост запасов углерода изменялся в пределах 4,8-9,5 промилле. В благоприятные климатические годы, при увеличении поступления растительных остатков в почву на 25% за счет повышения урожайности культур севооборота накопление возрастает до 9,5-15,0 промилле. Однако при 25% снижении поступления С с растительными остатками накопление С сменяется потерей, составляющей -0,8-5,6 промилле для всех исследуемых вариантов. Изменений повторяемости одного-двух благоприятных и неблагоприятных лет в 25-летнем цикле достаточно для проявления различий в динамике запасов С в пахотном слое изученных длительных опытов ДАОС.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПАХОТНЫХ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

Петросян Р.Д.

Верхневолжский федеральный аграрный научный центр, Владимирская обл.,
пос. Новый, petrosyan_rafael@mail.ru

Необходимым условием устойчивого сельскохозяйственного производства является переход к углерод-сберегающему земледелию. Основной задачей которого является сохранение и увеличение содержания органического углерода в пахотных почвах. В настоящее время накоплен огромный опыт по регулированию содержания органического вещества (ОВ) в пахотных почвах. Среди основных подходов сбережения или увеличения запасов углерода на пахотных землях называют минимизацию обработок почвы, внесение органических удобрений, применение севооборотов с включением посевов трав, сокращение периодов паров.

Приведены результаты исследований накопления органического углерода в серых лесных пахотных почвах Владимирского ополья, на длительном многофакторном стационарном полевом опыте. На основе данных урожайности сельскохозяйственных культур рассчитывался баланс углерода по методическим указаниям расчета баланса гумуса почв (в пересчете на углерод) при проекте внутрихозяйственного землеустройства. Использовались данные по влиянию различных систем удобрения на урожайность ячменя и яровой пшеницы, вынос ими азота основной и побочной продукцией, который определял размеры минерализации ОВ почвы при возделывании сельскохозяйственных культур. В приходной части баланса углерода установлены размеры гумификации пожнивных и корневых остатков, соломы и органических удобрений. Выявлено, что применение N₃₀P₃₀K₃₀ под ячмень по сравнению с контролем позволяло снизить размеры отрицательного баланса углерода с -0,80 до -0,02 т/га. Дальнейший рост доз NPK до N₆₀-90P₆₀-90K₆₀-90 обеспечивал положительный баланс углерода. В 1-й год при внесении органических удобрений (40 т/га навоза) под яровую пшеницу расчетное накопление органического углерода составило 1,08 т/га, при сочетании с N₄₀-60 – 1,41 т/га. Органоминеральные системы удобрения являются наиболее эффективными в аккумуляции углерода в серых лесных почвах Ополья.

Баланс углерода, формирующийся под различными системами удобрений, является одним из важнейших факторов регулирования содержания органического углерода в пахотных почвах. Выбор систем удобрений по балансу углерода позволяет перейти к углерод-регулирующим и углерод-сберегающим технологиям сельскохозяйственного производства. Системы применения удобрений выступают как инструмент управления содержанием органического углерода в пахотных почвах в целях сохранения их плодородия и минимизации выбросов CO₂ в атмосферу.

ПОГЛОЩЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО МЕТАНА ПАХОТНЫМИ ПОЧВАМИ: ЗАВИСИМОСТЬ ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ

Чистотин М.В.

Всероссийский НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Институт лесоведения РАН
chistotinmv@yahoo.com

Существенное воздействие содержания метана в атмосфере на тепловой баланс Земли и глобальный климат делает актуальной задачу оценки интенсивности процессов, входящих в цикл CH_4 . При этом особое место пахотных почв среди объектов исследования цикла метана связано с их значительной площадью, а также с большими, в сравнении с другими ландшафтами, возможностями целенаправленного регулирования биогеохимических процессов.

Аэробное микробное окисление в почвах относится к главным статьям баланса CH_4 атмосферы. Имеющиеся региональные и глобальные оценки биологического стока метана характеризуются значительными неопределенностями. Это связано, в первую очередь, с высоким пространственным и временным варьированием обсуждаемого процесса, которое может быть описано лишь при наличии весьма обширной эмпирической информации [2]. Данное исследование ставило целью: 1) проанализировать имеющиеся данные о поглощении метана пахотными почвами для выявления связей этого показателя с макроклиматическими параметрами, 2) получить оценки окисления CH_4 пахотными почвами Восточной Европы (в пределах бывшего СССР).

Исходной информацией служили опубликованные результаты полевых измерений поглощения метана, выполненных камерным методом на пахотных почвах бореального и умеренно теплого поясов Евразии и Северной Америки. Привлечены данные наблюдений, которые охватывали не менее чем один вегетационный период. Не использовались результаты исследований на органогенных почвах, а также на орошаемых землях. С учетом полученной в ряде исследований информации для нескольких культур или опытных вариантов, массив данных включал 33 значения окисления метана пахотными почвами.

Анализ данных выявил положительную корреляцию между почвенным окислением метана и теплообеспеченностью вегетационного периода. Зависимость выражается уравнением $R = 0,042 \cdot T + 15$, где: T — сумма температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за период с температурой $>10^{\circ}\text{C}$, R — поглощение метана ($\text{мг CH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ год}^{-1}$). Использованным данным измерений соответствуют значения T от 1500° до 4200° .

Учитывая, что усиление парникового эффекта атмосферы приводит к повышению температуры воздуха почти во всех внетропических областях Земли [1], выявленная зависимость свидетельствует о возможной отрицательной обратной связи между

биологическим стоком CH_4 в пахотных почвах и глобальной климатической системой. Однако проверка существования упомянутой обратной связи требует дополнительной информации, в том числе о параметрах зависимостей окисления метана от условий увлажнения.

С использованием статистических данных о площади пахотных земель были рассчитаны региональные оценки поглощения метана. Элементарными пространственными выделами в пределах Беларуси и Украины служили административно-территориальные единицы первого уровня, в пределах Европейской части России — субъекты федерации, для других стран (Латвия, Литва, Молдова, Эстония) — вся территория каждой из них. Модельные значения поглощения метана пахотными почвами равны для отдельных регионов от 0,8 до 1,7 кг CH_4 га⁻¹ год⁻¹. На территории Восточной Европы этот показатель возрастает с севера на юг, следуя пространственному распределению теплообеспеченности вегетационного периода.

Общая площадь пахотных почв в Восточной Европе в пределах бывшего СССР составляет 129 млн. га (55 % общей площади пашни в европейских странах). Рассчитанное на основе региональных модельных величин суммарное поглощение метана на этой территории равно 160 ± 130 Гг CH_4 год⁻¹ (оценка \pm стандартная ошибка). На Европейскую часть Российской Федерации приходится около 65 %, на Украину — более 25 % приведенной величины.

К обязательствам государств-участников Рамочной конвенции ООН об изменении климата относится повышение качества поглотителей парниковых газов атмосферы. При планировании соответствующих мероприятий в отношении почв сельскохозяйственных угодий результаты данного исследования могут быть использованы для определения приоритетных задач.

Оценивая возможности уточнения параметров выявленных зависимостей, следует констатировать необходимость получения большего, в сравнении с имеющимся, объема эмпирической информации об окислении метана в широком диапазоне климатических и почвенных условий. В частности, отсутствие для использованного массива данных значимых связей с макроклиматическими показателями влагообеспеченности, вероятно, объясняется высокой вариацией почвенного увлажнения в мелком ($n \cdot 10$ км и менее) пространственном масштабе. Самостоятельное рассмотрение органогенных почв и орошаемых земель, которые характеризуются особой динамикой факторов, контролирующих процессы цикла углерода, также может значительно улучшить качество оценок. Однако такое рассмотрение затруднено из-за ограниченного объема данных о потоках метана между почвой и атмосферой в этих ландшафтах.

Литература

1. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. Stocker T.F. *et al.* Cambridge; New York : Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
2. Le Mer J., Roger P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review // *European journal of soil biology*. 2001. Vol. 37. P. 25—50.



«ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД» В ПОЧВАХ: НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ГИПОТЕЗА

Красильников П.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Евразийский центр по продовольственной безопасности, Москва, krasilnikov@ecfs.msu.ru

Исследования в области органической геохимии черного углерода стали одним из приоритетов в области наук о Земле после публикации книги Гольдберга «Черный углерод в окружающей среде» (Goldberg, 1985). В этой статье Гольдберг предложил идею «черного углерода» как высокопрочного материала, остающегося после сжигания биомассы, и предположил, что «черный углерод» имеет очень длительное характерное время существования, внося значительный вклад в медленный глобальный цикл углерода. Органическая геохимия «черного углерода» стала еще более актуальной в связи с вопросами углеродного цикла и изменения климата, включая долгосрочное сохранение органического вещества в океанических отложениях и почвах (Masiello, 2004). Геологи показали, что древние отложения содержат «чёрный углерод», возможно, пирогенного происхождения, который, по их мнению, может быть отделен от углерода, образовавшегося при низкотемпературном диагенезе (керогена) (Song et al., 2002). Таким образом, первоначально в литературе «сажа» ассоциировалась только с пирогенными продуктами, но, тем не менее, исследователи вскоре столкнулись с тем, что продукты сгорания сильно различались по составу и стабильности в зависимости от условий сгорания, и что было методически трудно различить продукты низкотемпературного и высокотемпературного окисления органических веществ (Schmidt et al., 2001). Было предложено несколько способов отделения «черного углерода» от ископаемых и современных почвенных органических веществ. Все методы были основаны на окислении органического вещества рядом кислот, иногда с последующей тепловой обработкой (100-375° С) или воздействием экстремального ультрафиолетового излучения (Schmidt et al., 2001). Разные методы показывают разные результаты по порядку, что связано с широким спектром свойств и стабильностью горения органического вещества. Многие исследователи (Skjemstad et al., 1996, 1999) поддались искушению включить в концепцию «черного углерода» чрезвычайно широкий спектр углеродсодержащих компонентов и заявили о пирогенном происхождении большей части углерода в морских отложениях и почвах. Поскольку значительная часть углерода в органическом веществе в почве, не извлекаемая при кислотной и щелочной обработке, рассматривается как «черный углерод», ряд экспертов подвергли пересмотру существующие представления о механизмах накопления и превращения органического вещества в почвах. В частности, постулируется, что значительная часть темных почв черноземного типа обязана своему цветному пирогенному углероду (Skjemstad et al., 1996; Schmidt et al., 2001). Несмотря на явное несоответствие этих утверждений фактическим взглядам на педогенез, эта теория

получила распространение и была опубликована в ведущих научных журналах вплоть до Nature (Schmidt et al., 2004). Также был сделан вывод, что на основании степени устойчивости «черного углерода» в почве можно сделать выводы о температуре сгорания органического вещества, представляющего собой отдельный углерод, образовавшийся в результате пожаров и промышленной высокой температуры. сгорание (Skjemstad et al., 1999). Пока неясно, насколько обоснованы эти взгляды. Главный аргумент против теории генезиса пирогенных исключительно углеподобных компонентов в органическом веществе почвы заключается в том, что географическое распределение «черного углерода» в почве не соответствует географии лесных пожаров ни в настоящем, ни в прошлом. Мы считаем, что значительная часть так называемого «черного углерода» в почве имеет низкотемпературное происхождение, и поэтому трудно сделать далеко идущие выводы, основанные только на наличии углеобразных компонентов в органическом веществе почвы.

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС МИКРОБИОМА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УДОБРИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

Голиков М.В.¹, Семенов М.В.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, cool.mik3492594@yandex.ru

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, semenov_mv@esoil.ru

В зависимости от интенсивности удобрительных нагрузок на микробную систему почвы проявляются разные типы ее модификационной изменчивости с соответствующей адаптивной реакцией гомеостаза, стресса, резистентности и репрессии.

Исследования проводились на седьмой и восьмой год микрополевого опыта, заложенного в 2011 г. на серой лесной почве (ИФХиБПП РАН, г. Пущино) с различными вариантами удобрительных систем: чистый пар, контроль без удобрений и варианты с ежегодным применением возрастающих доз минеральных (от N₉₀P₇₅K₇₅ до N₃₆₀P₃₀₀K₃₀₀), или органических (от 25 до 100 т/га свежего навоза КРС) удобрений.

Применение органических удобрений существенно увеличивало БД, Смик, активность азотфиксации, денитрификации и метаногенеза, как по сравнению с контролем, так и с вариантами минеральных удобрений. По мере увеличения дозы органических удобрений возрастали БД, Смик и потенциальная денитрификация. Внесение минеральных удобрений полностью подавляло азотфиксирующую способность почвы. Из полученных значений qCO₂ следует, что экофизиологическое состояние микробного сообщества определяется уровнем удобрительной нагрузки.

Внесение минеральных удобрений во всех исследуемых дозах приводило к росту количества генов грибов и снижению бактериальных генов. Вне зависимости от дозы внесение органических удобрений многократно повышало численность микроорганизмов: количество рибосомальных генов архей повышалось в 2.5 раза, бактерий – в 5-7 раз, грибов – в 18-20 раз. В то же время, в отличие от показателей Смик и БД, количество копий генов бактерий и грибов не изменялось в зависимости от применяемой дозы как минеральных, так и органических удобрений. Археи проявили очень высокую чувствительность к минеральным удобрениям. Повышение дозы вносимых минеральных удобрения последовательно снижало численность копий архей (при N₃₆₀P₃₆₀K₃₆₀ - в 2.5 раза). Внесение удобрений также предопределяло альфа-разнообразие микробного сообщества, которое возрастало с органическими удобрениями вне зависимости от дозы, и резко (до 2.5 раз) снижалось с ростом дозы НРК. Таким образом, длительное внесение разных доз удобрений приводит к ощутимым сдвигам в показателях микробиологического состояния почв, существенно сказываясь на численности, структуре и активности почвенного микробиома.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА ПРИ ВВЕДЕНИИ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ В СЕВООБОРОТ В УСЛОВИЯХ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ (НА ПРИМЕРЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СЕВЕРА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ)

Сорокин А.С., Александрова А.В.
МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва,
alexey.sorokin@ecfs.msu.ru

Объектом исследования является ферма органического производства. Хозяйство расположено в Медынском районе Калужской области и имеет потенциал территории ниже среднего: дерново-подзолистые почвы, среднесуглинистые, уплотнены с глубины 26 см, рН (солевой) 4-5. В ходе окультуривания дерново-подзолистых почв содержание гумуса повышается до среднего уровня и выравнивается в своём распределении в пахотном горизонте. Но из-за интенсивности проведения сельскохозяйственных мероприятий, эрозийных и других процессов происходит его потеря (и уменьшение почвенного плодородия соответственно). Вдобавок к этому ещё накладывается и постоянно высокий дефицит питательных соединений из-за уменьшения внесения удобрений (Снакин и др., 1995). К преобладающим негативным процессам, которые в том числе влияют и на устойчивость почв, на севере Калужской области относят: водную эрозию, которая может приводить к значительным потерям гумуса – до 11,7 т/га в год (Национальный атлас почв РФ, 2011). Обратный процесс – это зарастание сельскохозяйственных угодий мелколесьем и кустарником, который является следствием систематического недоиспользования земель, которое имеет место быть в достаточно немалых масштабах уже третье десятилетие. Есть, конечно, и положительные эффекты от залежей, но в первую очередь, это ущерб сельскохозяйственному производству. Чисто экономически: заброшенные продуктивные сельскохозяйственные земли зарастают и требуют больших капиталовложений для введения их в оборот заново. К этому времени, в связи со снижением внесения удобрений темпы дегумификации усиливаются, а из-за уменьшения известкования (и мелиоративных работ в целом) – идут процессы подкисления почв (Сборник сведений о состоянии и использовании земель в федеральных округах Российской Федерации в 2005 году, 2006; Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения, 2010).

В 2017 году часть залежных угодий была распахана под зерновые после шести лет залежного состояния. Первые данные по содержанию органического углерода почв показали, что показатель уменьшается в ряду залежь-сенокос-пашня в соотношении 1:0.8:0.7 (рис.1).

Более низкий уровень углерода на пашне можно объяснить, тем, что там, как и на сенокосе, происходит вынос веществ без привноса, а также из-за минимальной обработки почв происходит дополнительное высвобождение углерода. Была предпринята попытка

оценить изменения баланса углерода при разных системах земледелия с помощью программы EX-ACT - The Ex-Ante Carbon-balance Tool (Метод оценки углеродного баланса на основе предполагаемых величин).

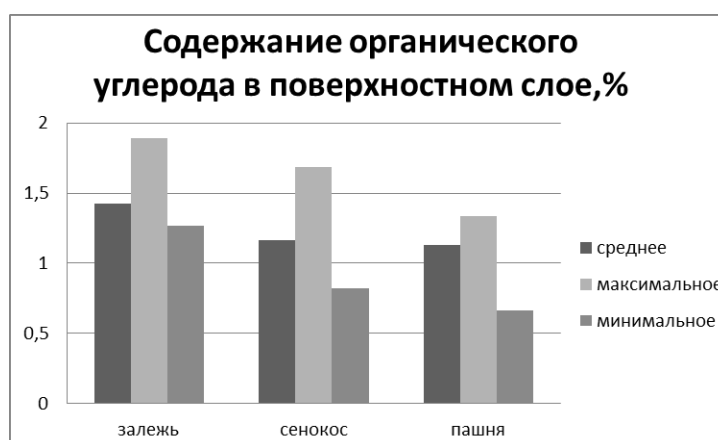


Рисунок 1. Содержание органического углерода в поверхностном слое почвы залежи, сенокоса и пашни

В этой программе рассчитывается баланс от всех газов, вызывающих парниковый эффект и выраженных в эквиваленте CO₂, которые были/могут быть выброшены в результате осуществления проекта по сравнению со сценарием без проекта (рис.2).

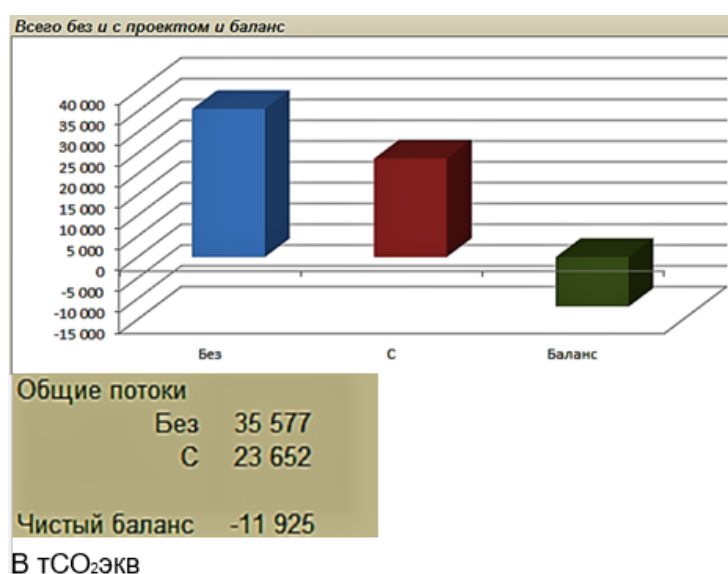


Рисунок 2. Отрицательный баланс углерода (фиксация в почве)

Данные, полученные с помощью программы EX-АСТ, подтверждают, что по сравнению с традиционной системой земледелия в органической – потери углерода из почвы значительно меньше. Первые урожайности составили 25 ц/га для пшеницы и 18 ц/га для сенажа.



МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ СОХРАНЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ

Контобойцева А.А.

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
МГУ имени М.В. Ломоносова, Евразийский центр по продовольственной безопасности,
Москва, kontoboytseva@ecfs.msu.ru

Совместные международные исследовательские инициативы по секвестрации углерода пахотными почвами в последние годы поощряются на высшем уровне Группой двадцати, Европейским союзом и правительствами многих стран. В коммюнике шестой (Германия, 2017) и седьмой (Аргентина, 2018) встреч ведущих ученых в области сельского хозяйства Группы двадцати (Meeting of the Agricultural Chief Scientists, MACS-G20) был признан потенциал устойчивого управления почвенными ресурсами (УУПР), включая сохранение и накопление углерода почв, для достижения продовольственной безопасности на фоне климатических изменений и растущего населения мира. Было поддержано создание рабочей группы, возглавляемой совместно Францией и Россией, для укрепления глобального сотрудничества в этой области по трем приоритетным направлениям: а) гармонизация почвенной информации и данных, б) управление органическим углеродом почвы и в) биоразнообразии почвенных микроорганизмов (коммюнике 7-ой MACS-G20, пункт б).

В 2017 году на встрече MACS-G20 были впервые представлены результаты деятельности Глобального исследовательского альянса по парниковым газам в сельском хозяйстве (Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases, GRA). Альянс был создан в 2009 году с целью объединения усилий стран по производству большего количества сельскохозяйственной продукции без увеличения эмиссии парниковых газов. В рамках GRA функционирует рабочая группа «Секвестрация почвенного углерода», а также формируется глобальная сеть разработчиков моделей для расчетов эмиссии и поглощения парниковых газов сельскохозяйственными почвами, имеющих опыт работ с фермерскими хозяйствами, внедряющими практики УУПР.

В 2018 году при поддержке Восьмой рамочной программы Европейского Союза по развитию научных исследований и технологий «Горизонт 2020» был создан проект CIRCASA – Координация международного сотрудничества в исследованиях о секвестрации органического углерода почв в сельском хозяйстве. Объединяет специалистов международных программ и инициатив («4 промилле», GRA; Совместная программная инициатива по устойчивому сельскому хозяйству, продовольственной безопасности и изменению климата и др.), а также с ведущими университетами и научно-исследовательскими организациями мира. В России партнером проекта является Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова.

В начале 2019 г. в Кали, Колумбия, на базе Международного центра тропического сельского хозяйства (CIAT) состоялась третья ежегодная встреча Объединенной исследовательской группы GRA, первая встреча участников проекта CIRCASA и совместная встреча этих организаций с участием приглашенных экспертов из Европейской комиссии, CIAT, Международного почвенного справочно-информационного центра и других международных и национальных организаций.

По результатам встречи в Кали были определены 3 основные темы, которые будут проработаны группой экспертов CIRCASA при создании научной базы Программы стратегических исследований на 2020–2025 годы: а) как органический углерод почв формируется и хранится (процессы стабилизации и хранения углерода растительного происхождения, ограничение количества углерода, которое могут содержать различные почвы при различных типах земледелия, роль микроорганизмов, эмиссия парниковых газов, цикл углерода в глубинных горизонтах почв); б) мониторинг и управление содержанием углерода в почвах (определение наиболее эффективных способов управления растительностью и смешанных сельскохозяйственных практик для повышения содержания углерода и также способов предотвращения его потерь); в) экономические, социально-культурные, институциональные и технологические барьеры, препятствующие внедрению углерод-сберегающего земледелия.



ВОЗМОЖНЫЕ ДЕЙСТВИЯ НАУЧНОГО СООБЩЕСТВА ПО АКТИВИЗАЦИИ ВНЕДРЕНИЯ ПРАКТИК УГЛЕРОД-СБЕРЕГАЮЩЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РОССИИ

Конюшкова М.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Евразийский центр по продовольственной безопасности,
konyushkova@ecfs.msu.ru

Для России (как и для некоторых стран СНГ) актуален сходный перечень экономических, нормативно-правовых, научно-информационных и организационных барьеров, препятствующих внедрению практик устойчивого управления почвенными ресурсами (УУПР), в том числе углерод-сберегающих технологий в земледелии: а) неурегулированный единый государственный реестр и кадастр категорий земель сельхозугодий, фрагментированность земельных наделов; б) нехватка кадров, низкая доля молодых сотрудников в отраслевых научных и производственных структурах; в) отсутствие органа по координации консультативных услуг (служб распространения знаний о ресурсосберегающих технологиях, баз знаний для фермеров) или неэффективная работа существующих консультационных центров; г) недостаточная осведомленность общественности и частного сектора о необходимости и пользе внедрения практик устойчивого управления земельными ресурсами.

Если преодоление первых двух препятствий невозможно без участия государственных структур, то активизация деятельности научного сообщества в области распространения знаний и проведения дополнительных исследований совместно с представителями сельскохозяйственной отрасли представляется возможной. Научное обоснование эффективности ресурсосберегающих технологий, проведение исследований и опытов во взаимодействии с производителями инновационной агротехники и агрохолдингами, при аграрных ВУЗах или НИИ на основе Географической сети опытов с удобрениями, ведение консультационных и образовательных услуг на базе сельскохозяйственных опытных станций, являются реальными шагами, которые может предпринять сообщество заинтересованных экспертов.

Ключевым моментом является наглядное представление результатов исследований по эффективности применения различных ресурсосберегающих агротехнологий в форме буклетов, видеороликов, инфографики, канала на Youtube и т.п. Еще одним из возможных путей по активизации внедрения углерод-сберегающих технологий является создание сети, включающей представителей из всех групп заинтересованных лиц. С помощью этой сети можно было бы осуществлять обмен и передачу знаний и технологий научным сообществом и конкретными землепользователями.