



Научная статья

УДК 631.58: 631.153.7

doi: 10.55186/25876740_2025_68_3_274

ПОТЕНЦИАЛ ПОЧВОЗАЩИТНОГО И РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕГО (УГЛЕРОДСБЕРЕГАЮЩЕГО) ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

А.Л. Тойгильдин, С.А. Никифорова

Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.С. Немцева — Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновск, Россия

Аннотация. Современное ведение сельского хозяйства, основанное на интенсификации землепользования, способствует массовой потере почвенного углерода. Нарушение структуры посевных площадей, интенсивная обработка почвы, избыточное внесение удобрений, прежде всего, азотных, развитие эрозионных процессов являются главными причинами потерь углерода почвы. Расчет баланса гумуса при сложившейся структуре посевных площадей показал, что он складывается с дефицитом в 0,804 т/га, что при средневзвешенном содержании углерода в гумусе 58% оценивается как 0,466 т/га углерода или 1,7 углеродных единиц. В расчете на 1,3 млн га обрабатываемых земель потери углерода составляют до 605 тыс. тонн ежегодно или более 2,5 млн углеродных единиц. Только разработка и внедрение новых подходов ведения сельского хозяйства обеспечит устойчивость производства и сохранение плодородия почвы. Цель представленных исследований заключается в обосновании целесообразности почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия в зоне Среднего Поволжья (на примере Ульяновской области) и оценка секвестрационного потенциала почв. Нашими исследованиями установлен высокий потенциал накопления углерода в почвах Ульяновской области. Для повышения секвестрации углерода в конкретных почвенно-климатических условиях важно подобрать научно-обоснованные приемы почвозащитного и ресурсосберегающего (углеродсберегающего) земледелия, основными элементами которого являются: прямой посев, отказ от чистых паров, возделывание ППК (почвопокровных культур), широкое использование зернобобовых культур как источника биологического азота, микробиологические препараты (взамен пестицидам и удобрениям) и т.д. Освоение технологии прямого посева позволит обеспечить накопление не менее 0,1 т С/га/год, что по нашим расчетам в масштабах региона составит не менее 133 тыс. тонн.

Ключевые слова: почвозащитное (углеродсберегающее) и ресурсосберегающее земледелие, секвестрация углерода, прямой посев, почвопокровные культуры, бобовые культуры

Original article

POTENTIAL OF SOIL PROTECTION AND RESOURCE-SAVING (CARBON-SAVING) AGRICULTURE IN THE MIDDLE VOLGA REGION

A.L. Toigildin, S.A. Nikiforova

Ulyanovsk Scientific Research Agriculture Institute named after N.S. Nemcev — Samara Federal Research Scientific Center RAS, Ulyanovsk, Russia

Abstract. Modern agriculture, based on the intensification of land use, contributes to the massive loss of soil carbon. Disturbance of the structure of cultivated areas, intensive tillage, excessive application of fertilizers, primarily nitrogen fertilizers, and the development of erosion processes are the main causes of soil carbon loss. The calculation of the humus balance in the current structure of acreage showed that it develops with a deficit of 0.804 t/ha, which, with an average weighted carbon content of 58% in humus, is estimated at 0.466 t/ha of carbon or 1.7 carbon units. Based on 1.3 million hectares of cultivated land, carbon losses amount to 605 thousand tons annually or more than 2.5 million carbon units. Only the development and implementation of new approaches to agriculture will ensure the sustainability of production and the preservation of soil fertility. The purpose of the presented studies is to substantiate the feasibility of soil-protective and resource-saving agriculture in the Middle Volga region (using the example of the Ulyanovsk region) and to assess the sequestration potential of soils. Our research has established a high potential for carbon accumulation in the soils of the Ulyanovsk region. To increase carbon sequestration in specific soil and climatic conditions, it is important to choose scientifically sound methods of soil protection and resource-saving (carbon-saving) agriculture, the main elements of which are: direct sowing, abandonment of pure vapors, cultivation of PPK (cover crops), widespread use of leguminous crops as a source of biological nitrogen, microbiological drugs (instead of pesticides and fertilizers), etc. The development of direct seeding technology will ensure the accumulation of at least 0.1 tons per hectare/year, which, according to our calculations, will amount to at least 133 thousand tons in the region.

Keywords: soil-protective (carbon-saving) and resource-saving agriculture, carbon sequestration, direct seeding, soil-based crops, legumes

Введение. Современное земледелие в погоне за высокой продуктивностью и экономической эффективностью, как правило, не отличается адаптацией к местным условиям и характеризуется нерациональным использованием сельскохозяйственных угодий, как показывают практика, зачастую применяется чрезмерная интенсификация производства, что приводит к ухудшению здоровья почвы. Необоснованные системы земледелия обуславливают нарастание экологических проблем, таких как повышенная минерализация органического вещества почвы, ухудшение физических свойств почвы, развитие эрозионных процессов и в целом деградация почвенного плодородия. На полях сельхозпредприятий лесостепи Среднего Поволжья так же выявлено нарушение научно-обоснованного чередования полевых культур, снижение биоразнообразия, необоснованное применение агрохимикатов и пестицидов и т.д.

Это приводит к отрицательной динамике содержания углерода в почвах. По нашим оценкам

по результатам агрохимического обследования сельскохозяйственных земель региона (прямые определения содержания гумуса в почвах по последним 2-м циклам за период с 2000-2020 гг.) ежегодные потери углерода составляют около 0,20 т/га, однако следует учесть, что данные приведены не только по обрабатываемым полям, но также были обследованы сенокосы, пастбища, а также залежные земли. За последние годы площадь почв с низким и очень низким содержанием гумуса выросла с 24 до 35%, а высоким и очень высоким — снизилась с 32% до 4%.

Обращает внимание на себя тот факт, что четверть площади суши уже подвержена деградации в результате антропогенной деятельности [1]. Именно поэтому с каждым годом вопрос депонирования углерода (и сохранения плодородия почвы) приобретает особую актуальность. На международном уровне сформировано понимание, что в будущем сельское хозяйство может выступать перспективным источником технологий, обеспечивающих секвестрацию парниковых га-

зов из атмосферы. Данный механизм является основой карбонового (углеродного) земледелия [2].

Понятие карбонового земледелия сопряжено с понятием «регенеративного» земледелия, то есть восстановительного, подразумевающего совокупность комплекса методов хозяйствования, обеспечивающих сохранение и восстановление почв. На IX съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева учеными сформированы выводы, что реализация данной стратегии в условиях лесостепи весьма перспективна, где возможно обеспечение устойчивого накопления С (углерода) за двадцатилетний период.

Следовательно, суть карбонового земледелия заключается в разработке технологии возделывания полевых культур, способствующих секвестрации углерода в почве и снижения эмиссии CO₂.

По мнению Шаркова И.Г., Антипиной П.В. [3], комплексным показателем углерод-секвестрирующей способности пахотных почв является оценка запасов органического вещества после их вовлечения в сельскохозяйственное производство.



При этом авторы отмечают, что ресурсы повышения уровня Сорг (органического углерода) в интенсивных технологиях возделывания полевых культур весьма ограничены. В.М. Семенов и др. [4] отмечают, что наибольшую углерод-секвестрирующую емкость имеет чернозем выщелоченный, а минимальную — тундровая почва. В зависимости от типа почв емкость уменьшается в последовательности: выщелоченный чернозем > темно-каштановая > каштановая тундровая > серая лесная > дерново-подзолистая.

Вышесказанное обуславливает необходимость разработки методологических подходов к построению принципиально новых (углерод-сберегающих) систем земледелия, отвечающих требованиям экологичности получаемой продукции наряду с воспроизводством (сохранением) почвенного плодородия и рентабельностью производства.

Согласно различным оценкам, от 14 до 28% общих выбросов парниковых газов в атмосферу относятся к сельскому хозяйству, а также к другим формам землепользования [5]. С другой стороны, землепользование является мощнейшим поглотителем углекислого газа. Баланс между эмиссией и депонированием углекислого газа является ключевым источником оценки потока углерода на суше.

Таким образом, для борьбы с изменениями климата необходимо, прежде всего, снизить уровень CO_2 в атмосфере. Это можно сделать как путем уменьшения его выбросов, так и с помощью увеличения углеродных поглотителей [6]. Прогнозируется, что к 2100-2150 годам удастся уменьшить концентрацию углекислого газа в атмосфере на 50-100 гигатонн углерода (ГтС). Такого рода снижение, безусловно, окажет значительное смягчающее воздействие на изменение климата и продемонстрирует выдающийся потенциал почвы в качестве климаторегулирующего фактора [7].

Одним из подходов к уменьшению негативного воздействия сельскохозяйственного производства на почвенные экосистемы является применение практик почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия. Согласно данным FAO, внедрение таких методов может привести к увеличению производительности земли на 20-50% и снижению эрозии почвы на 30-50%. В последние годы эти методы активно пропагандируются Организацией Объединённых Наций и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией (ФАО) как ключевые инструменты для достижения задач устойчивого развития [8].

Фундаментальными элементами регенеративного земледелия, согласно определению ФАО, являются следующие аспекты:

1. Обязательное создание мульчирующего слоя и/или посев покровных культур на поверхности почвы;

2. Уровень механического вмешательства в структуру почвы следует свести к минимуму, ограничивая его только процессами, связанными с посевами и применением удобрений;

3. Рационально спланированный и экономически обоснованный севооборот способствует увеличению содержания органического вещества как в верхнем слое почвы, так и на её поверхности.

Цель исследований: обосновать возможности и перспективы почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия и секвестрационный потенциал почв Среднего Поволжья на примере Ульяновской области.

Условия и методика проведения исследований. Для проведения анализа были использованы материалы из работы «Адаптивная ландшафтная система земледелия Ульяновской области» (2024), а также данные о состоянии почв

в данном регионе. Оценка эмиссии и поглощения парниковых газов была выполнена в соответствии с методическими указаниями, изложенными в «Национальном кадастре... парниковых газов» и других актуальных нормативных документах. В качестве теоретической основы для анализа применялись подходы к углеродному земледелию как на национальном, так и на международном уровне.

Агротехнические приемы почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия способны усиливать секвестрацию углерода в почве, по разным данным объемы достигают более 10 т на 1 га в год [9]:

1. Прямой посев (No-till): от 0,1 до 1,0 т С/га/год;
2. Почвопокровные культуры: от 0,1 до 0,5 т С/га/год;
3. Другие способы:
 - эффективное управление азотными удобрениями — 0,1-2,0 т С/га/год;
 - бобовые культуры вместо азотных удобрений — 0,1-3,0 т С/га/год;
 - оптимизация структуры посевных площадей, отказ от чистых паров — 0,05-2,0 т С/га/год;
 - использование микробиологических препаратов — до 2,0 т С/га/год.

Итого с учетом вышеназванных пунктов суммарное депонирование углерода может достигать до 10,5 т С/га/год.

В литературных источниках встречается противоречивая информация о влиянии азотных минеральных удобрений на режим углерода в почве [9], при этом отдельные авторы указывают, что их использование с учетом выбросов парниковых газов при их производстве остается нейтральным [10], поэтому влияние минеральных удобрений на баланс углерода почв Ульяновской области не учитывалось.

Результаты и обсуждение. Потенциал секвестрации органического углерода имеется во всех регионах, где земли используются для сельскохозяйственного производства, не исключение Ульяновская область, которая расположена в Среднем Поволжье, общая площадь региона составляет 3,72 млн га, сельскохозяйственные угодья занимают около 60% земельного фонда, на пашню приходится 1 млн 688 тыс. га, посевных площадей. Как во многих регионах России в почвах Ульяновской области отмечается потеря органического вещества и углерода. Так, расчет баланса гумуса при сложившейся структуре посевных площадей показал, что он складывается с дефицитом в 0,804 т/га, что при средневзвешенном содержании углерода в гумусе 58% оценивается как 0,466 т/га углерода или 1,7 углеродных единиц. В расчете на 1,3 млн. га обрабатываемых земель потери углерода составляют до 605 тыс. тонн ежегодно или более 2,5 млн углеродных единиц.

На основании представленных данных нами проведена оценка ресурсов для секвестрации и депонирования углерода в почвах сельскохозяйственных земель Ульяновской области. Существенное накопление углерода может быть эффективно достигнуто через внедрение прямого посева, использование почвопокровных растений, а также выращивание бобовых культур в системах севооборота с целью уменьшения потребления азотных удобрений. Важно также оптимизировать структуру посевных площадей, отказаться от чистых паров, расширить применение микробиологических препаратов и биогенных ресурсов, образующиеся в агрофитоценозах, такие как солома и ПКО, а также активно использовать органические удобрения.

3.1. Прямой посев

Освоение технологии прямого посева на территории Среднего Поволжья вполне перспективно. Как показывают наши исследования, про-

дуктивность зерновых культур при внедрении технологии прямого посева не снижается, а такие культуры как ячмень имеют тенденцию к повышению. Некоторые культуры, относящиеся к двудольным растениям, такие как соя, рапс, гречиха, как правило, снижают урожайность на 10-20%, но это происходит в начальный период освоения технологии, далее за счет накопления углерода и улучшения показателей плодородия почвы продуктивность всех сельскохозяйственных культур имеет тенденцию к возрастанию [11].

Возделывание культур без механической обработки почвы позволяет снизить минерализацию органического вещества в почве и эмиссию C-CO_2 . Освоение технологии прямого посева позволит обеспечить накопление не менее 0,1 т С/га/год, что по нашим расчетам в масштабах региона при обрабатываемой площади 1,326 млн га составит 132,6 тыс. тонн.

3.2. Почвопокровные культуры

Нераскрытый и малосвоенный потенциал в накопления углерода в почве имеется в посевах промежуточных почвопокровных культур, которые можно размещать после ранозубируемых культур — зерновых, зерновые бобовые культуры, лен и некоторые другие (для Ульяновской области июнь, июль, начало августа). По данным исследований в среднем потенциал секвестрации углерода при ежегодном возделывании промежуточных культур в верхних слоях почвы (0-25/30 см) составлял от 210 до 560 кг С/га/год [3].

В условиях Ульяновской области за 3 месяца вегетации почвопокровные культуры способны формировать наземную биомассу и массу корневой системы не менее 2,5 т/га, однако этот вопрос требует проведения глубоких исследований по подбору состава почвопокровных культур, обоснования норм высева, способов посева и др.

Расчеты показывают, что с учетом сложившейся структуры посевных площадей промежуточные почвопокровные культуры можно разместить на площади не менее 600 тыс. га, при средней урожайности 2,5 т/га сухого органического вещества его объем составит 1,5 млн тонн, а в почве возможно накопить 354 тыс. тонн углерода или 0,15 т/га.

3.3. Оптимизация структуры посевных площадей (бобовые культуры вместо азотных удобрений и отказ от чистых паров).

Фундаментом для комплексного подхода к проблеме рационального использования сельскохозяйственных земель служит оценка структуры посевных площадей. Эта информация играет ключевую роль в оценке потенциала секвестрации углерода из атмосферы. Система посевных площадей не только влияет на продуктивность агроэкосистем, но и напрямую связана с углеродным балансом.

За последнее десятилетие (2015-2025 гг. (прогноз)) отмечена тенденция увеличения посевных площадей Ульяновской области, прежде всего, за счет повышения доли технических (+144,1 тыс. га) и зерновых бобовых (+49,1 тыс. га) культур продовольственного назначения (табл. 1). Выбор маргинальных культур сельхозтоваропроизводителями вполне очевиден с экономической точки зрения. Однако, вызывает серьезное беспокойство высокая доля подсолнечника (24,5% или 1/4 площади посевов). Следует отметить, что перенасыщение севооборотов подсолнечником имеет отрицательные последствия, такие как высокие темпы минерализации органического вещества почвы и, как следствие, эмиссия C-CO_2 , фитосанитарная напряженность, вынос элементов питания и иссушение почвы.

Установлено, что в структуре посевных площадей группа зерновых и зернобобовых культур



занимает около 60%, при этом нарушается принцип плодосмена, наблюдается посев зерновых по зерновым, что приводит к высокой фитосанитарной напряженности и почвоутомлению и, как следствие, снижению продуктивности посевов. Также высокая доля чистых паров (прогноз на 2025 г. 231 тыс. га или 14,4% посевной площади) чревата проявлением эрозийных процессов и деградацией плодородия почвы. Все это вызывает необходимость оптимизации структуры посевных площадей для построения севооборотов на принципах плодосмена и освоения практик почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия.

Повышение биоразнообразия в структуре посевов повышает устойчивость агроэкосистем, способствуя подавлению сорных растений и болезней, позволяет смягчить последствия экстремальных и изменчивых погодных условий, которые, вероятно, будут усиливаться в результате изменения климата. Кроме того, эффективный севооборот может положительно влиять на запасы органического углерода, увеличивая микробное разнообразие в почве, стабильность почвенных агрегатов и даже способствуя накоплению органического углерода в более глубоких слоях благодаря культурам с глубокопроникающей корневой системой. Также важно отметить, что корни растений накапливают углерод в 2,3 раза эффективнее, чем надземная биомасса, что делает культуры с глубокими корнями особенно важными для хранения органического углерода [13].

Можно констатировать, что принятая структура посевных площадей в Ульяновской области не соответствует основам ресурсосберегающего земледелия, прежде всего, из-за наличия

высокой доли чистых паров, а также зерновых культур и подсолнечника. В результате не удается организовать севообороты, основанные на принципах плодосмена и чередования узколистных и широколиственных культур с различными корневыми системами. Кроме того, наблюдается низкое разнообразие культур и отсутствие возможности создания мульчирующего слоя на поверхности почвы.

Для повышения продуктивности агроландшафтов и обеспечения углеродного баланса региона важно построить определенную модель структуры посевных площадей. Для оптимизации схем севооборотов необходимо, прежде всего, до минимума сократить долю чистых паров, для этого следует увеличить площадь под парозанимающими (раноубираемыми) культурами (горох, лен, гречиха) с целью размещения озимых зерновых по лучшим предшественникам. В условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья в качестве предшественников озимых зерновых культуру можно с высокой эффективностью возделывать горох, люпин белый, лен, гречиху, виды горчицы, рапс, чтобы достоверно повысить продуктивность севооборотов в сравнении с зернопаровыми севооборотами [14].

Несмотря на то, что подсолнечник (*Helianthus annuus*) относится к культурам с глубоко проникающей корневой системой и имеет высокий потенциал секвестрации углерода, достигающий 374 ± 117 кг С га⁻¹ год⁻¹ [15], в Ульяновской области требуется сокращение доли подсолнечника (не более 12,5%), по нашему мнению, это следует проводить, прежде всего, за счет альтернативных маргинальных культур: соя, рапс, лен, горчица и другие масличные.

3.4. Микробиологические препараты

Применение микробиологических препаратов может прямо или косвенно влиять на секвестрацию углерода и выделение CO₂ из почвы. Инокуляция семян бобовых высокоэффективными штаммами клубеньковых бактерий, а также зерновых культур штаммами ассоциативных diaзотрофов усиливает симбиотическую фиксацию азота и позволяет задействовать потенциал свободноживущих азотфиксаторов в почве. Это, в свою очередь, может привести к снижению потребности в использовании азотных минеральных удобрений. Также возможно применение препаратов, усиливающих гумификацию органического вещества в почве, тем самым повышая секвестрацию углерода в почве.

Применение биопрепаратов в качестве предпосевной обработки семян приводит к дополнительному стимулированию развития корневой системы растений, что обеспечивает увеличение поступления органического вещества в почву, а следовательно, к накоплению в ней углерода [16].

Так, по разным источникам использование микробиологических препаратов в растениеводстве позволяет накопить в почве от 0,2 до 2,0 т С/га/год, даже при минимальном значении — 0,2 т/га в масштабах региона в почвах возможно накопить до 262,4 т С/год.

3.5. Биогенные ресурсы

В научной литературе преобладает мнение, что внесение соломы и пожнивно-корневых остатков дает средний потенциал секвестрации углерода 168 ± 67 кг С/га/год в верхнем слое почвы [17].

Поведенные нами расчеты показали, что на полях региона накапливается около 6,0 т/га биогенных ресурсов в виде органических остатков основных культур (солома, пожнивно-корневые остатки). На площади более 1,3 млн. га объемы растительных остатков составляют 7872 тыс. тонн, что позволяет накопить до 708 тыс. тонн углерода (из расчета 0,54 т/га) (табл. 2).

3.6. Органические удобрения

Существенным резервом накопления углерода в почве являются органические удобрения в виде навоза. Согласно различным источникам, потенциал секвестрации углерода из навоза колеблется в пределах от 160 до 409 кг С/га в год [18]. Этот потенциал значительно увеличивается при использовании компоста и, в зависимости от нормы внесения, может составлять от 115 до 1021 кг углерода на гектар в год.

По состоянию на 1.07.2024 г. в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах насчитывалось 118 027 голов крупного рогатого скота, 212 063 свиней, 73 223 овец и коз, а также 1 838 338 голов птицы. При существующем поголовье скота ежегодно накапливается около 2,13 млн тонн навоза, при внесении которого, с учетом коэффициентов гумификации в почву поступит 429 тыс. тонн органического углерода, что составит 0,33 т/га.

Кроме того, имеются неучтенные ресурсы накопления углерода в более глубоких слоях почвы, а также никак не учитываются органические вещества, выделяемые корневой системой растений — явление ризодепозиции. Углерод, усваиваемый растениями, либо интегрируется в биомассу, выделяется в виде корневых экссудатов, либо выдыхается обратно в виде CO₂ [19], в целом большая часть (61%) усвоенного углерода переносится в побеги, 20% — в корни и 7% — в почву.

Для поддержания или увеличения текущих запасов органического углерода почвы необходимо обеспечить поступление органических веществ (пожнивные остатки, покровные культуры, солома) или сокращать процессы, способствующие его минерализации, что, прежде всего, связано с обработкой почвы.

Таблица 1. Динамика посевных площадей в Ульяновской области за десятилетний период [12]

Table 1. Dynamics of acreage in the Ulyanovsk region over a ten-year period [12]

Культуры	2015 г.		2025 г. (прогноз)		Отклонение за 10 лет, ± тыс. га
	тыс. га*	%	тыс. га	%	
Зерновые и зернобобовые	579,2	57,2	644,5	58,9	+65,3
Озимые зерновые	287,2	28,3	296,3	27,0	+9,1
Яровые зерновые	292,0	28,8	349,0	31,9	+57
из них зернобобовые	12,5	1,2	61,6	5,6	+49,1
из них крупные	5,5	0,5	8,1	0,7	+2,6
Технические	233,3	23,0	377,4	34,5	+144,1
из них подсолнечник	186,0	18,4	268,1	24,5	+82,1
Картофель и овощебахчевые культуры	28,6	2,8	18,9	1,7	-9,6
Кормовые	169,0	16,7	69,8	6,4	-99,2
из них мн. травы	84,2	8,3	36,4	3,3	-47,8
Посевная площадь	1013,3	100	1094,9	100	+81,6
Чистые пары	183,2	11,5	230,7	14,4	+47,5
Залежные земли	403,5	25,2	274,4	17,2	-129,1
Площадь пашни	1600,0	100	1600,0	100	100

* — хозяйства всех категорий

Таблица 2. Ресурсы депонирования углерода в почвах Ульяновской области

Table 2. Carbon deposition resources in the soils of the Ulyanovsk region

№ п/п	Источник, агроприем	Накопление органического вещества, млн. т	Накопление углерода, тыс. т	Потенциал секвестрации углерода, т/га	В масштабах региона, тыс. т
1	Прямой посев	-	-	0,10	131,2
2	Почвопокровные культуры	1,50	354	0,15	196,8
3	Бобовые культуры вместо азотных удобрений	-	-	0,10	131,2
4	Отказ от чистых паров	-	-	0,19	252,3
5	Микробиологические препараты	-	-	0,20	262,4
6	Биогенные ресурсы	7,9	708	0,54	708,4
7	Органические удобрения	2,13	429	0,33	430,0
	Итого	11,53	1491	1,61	2112,3



Представленные данные демонстрирую, что земли сельскохозяйственного использования Ульяновской области имеют высокий карбоновый потенциал. Почвы способны накапливать органический углерод и влиять на проблему потепления климата за счет снижения концентрации парниковых газов, прежде всего, углекислого газа, в атмосфере. Карбоновое (углеродное) земледелие представляет внедрение таких элементов, как минимальная механическая обработка почвы, снижение внесения минеральных удобрений и химических средств защиты, мульчирование, компостирование, возделывание почвопокровных культур [20,21].

Наши расчеты показали, что применение практики ПРЗ позволит не только существенно снизить эмиссию $C-CO_2$ из почвы, но ежегодно накапливать до 1,60 т/га CO_2 ед./га/год или повышать его содержание в почве ежегодно на 0,01%.

Список источников

- Holmatov B. (2021). Can crop residues provide fuel for future transport? Limited global residue bioethanol potentials and large associated land, water and carbon footprints. *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 149, P.111417. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111417.
- Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад / под ред. А.Ю. Иванова Н.Д. Дурманова (рук-ли авт. кол.), М.П. Орлов, К.В. Пиксендеев, Ю.Е. Ровнов и др. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2021. 120 с.
- Шарков И.Г. Некоторые аспекты углерод-секвестрирующей способности пахотных почв / И.Г. Шарков, П.В. Антипина // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 2. С. 175. DOI: 10.31251/pos.v5i2.175.
- Минерализуемость органического вещества и углерод-секвестрирующая емкость почв зонального ряда / В.М. Семенов, Л.А. Иванникова, Т.В. Кузнецова [и др.] // Почвоведение. 2008. № 7. С. 819-832.
- Intergovernmental panel on Climate Change (2020). *Land and Climate Change*. P. 36.
- Paustian K, Lehmann J, Ogle S, Reay D, Robertson G P, Smith P (2016). Climate-Smart Soils. *Nature*, 532, p. 49-57. DOI: 10.1038/nature17174.
- Столбовой В.С. Регенеративное сельское хозяйство и смягчение последствий изменения климата // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 19-26. DOI: 10.1038/nature17174.
- Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security // *Science*. 2004. Vol. 304. pp. 1623-1627.
- Ogle S, Breidt J, Del Grosso S.J., Gurung R, Spencer S, Williams S, Manning D. (2023). Counterfactual scenarios reveal historical impact of cropland management on soil organic carbon stocks in the United States. *Scientific Reports*, 13, Article e14564. DOI: 10.1038/s41598-023-41307-x.
- Francaviglia R, Di Bene C, Farina R, Salvati L, Vicente-Vicente J.L. (2019). Assessing "4 per 1000" Soil Organic Carbon Storage Rates under Mediterranean Climate: A Comprehensive Data Analysis. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, 24, pp 795-818.
- Севообороты для технологии прямого посева в условиях лесостепной зоны среднего Поволжья / А.Л. Тойгильдин, О.Л. Кибалюк, И.А. Тойгильдина, Д.Э. Аюпов. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2023. 192 с.
- Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Ульяновской области. <http://73.rosstat.gov.ru/folder/40369>.
- Gherardi L.A., Sala O.E. (2020). Global Patterns and Climatic Controls of Belowground Net Carbon Fixation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 117, 20038-20043.
14. Научно-практическое обоснование биологизации земледелия лесостепной зоны Поволжья / А.Л. Тойгильдин, В.И. Морозов, М.И. Подсевалов [и др.]. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2020. 386 с.
- Shelake R.M., Waghande R.R., Verma P.P., Singh C., Kim J.Y. (2019). Carbon Sequestration for Soil Fertility Management: Microbiological Perspective. In: Panpatte, D., Jhala, Y. (eds) *Soil Fertility Management for Sustainable Development*. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-13-5904-0_3.
16. Диабанкана Р.Ж. К. Оценка применения биопрепаратов как элемента углеродного (органического) земледелия / Р.Ж. К. Диабанкана, А.А. Абрамова, Р.И. Сафин // Биологическая защита растений с использованием геномных технологий: Сборник научных трудов по материалам I Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 26-27 октября 2022 года. — Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2022. С. 156-163.
- Baumgarten A., Geithner K., Haslmayr H.-P., Zechmeister-Boltenstern S. (2014). Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Pedosphäre. In Österreichisch-Imperial Klimawandelbericht (AAR14) Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften Wien, Österreich, ISBN 978-3-7001-7723-4. [Google Scholar].
- Bolinder M.A., Crotty F., Elsen A., Frac M., Kismányoky T., Lipiec J., Tits M., Tóth Z., Kätterer T. (2020). The Effect of Crop Residues, Cover Crops, Manures and Nitrogen Fertilization on Soil Organic Carbon Changes in Agroecosystems: A Synthesis of Reviews. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang* DOI: 10.1007/s11027-020-09916-3.
- Ostle N., Whiteley A.S., Bailey M.J., Sleep D., Ineson P., Maneffield M. (2003). Active Microbial RNA Turnover in a Grassland Soil Estimated Using a $^{13}CO_2$ Spike. *Soil Biol. Biochem.*, 35, pp. 877-885. DOI: 10.3389/fmicb.2015.00268.
- Кадыров С.В. Пути повышения интенсивности фотосинтеза и продуктивности сельскохозяйственных культур с использованием Carbon-технологий: практические рекомендации / С.В. Кадыров, В.Н. Образцов, Д.Ф. Абушаев. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I, 2023. 69 с.
- Иванов А.Л. Обеспечение технологии прямого посева отечественными техническими средствами / Иванов А.Л., Дриджер В.К. // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 3. С. 50-56.

References

- Holmatov B. (2021). Can crop residues provide fuel for future transport? Limited global residue bioethanol potentials and large associated land, water and carbon footprints. *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 149, P.111417. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111417.
- Orlov M.P., Piksenedev K.V., Rovnov Y.U. E. (2021). *Bitva za klimat: karboonovoe zemledelie kak stavka Rossii: ekspertnyi doklad* [The Battle for climate: Carbon farming as Russia's bet: expert report]. National Research. University of Higher School of Economics, Moscow, Ed. House of the Higher School of Economics, 120 p.
- Sharkov I.G., P. V. Antipina (2022). *Nekotorye aspekty uglerod-sekvestiruyushchei sposobnosti pakhotnykh pochv* [Some aspects of carbon sequestering ability of arable soils]. *Pochvy i okruzhayushchaya sreda* [Soils and environment], vol. 5, no. 2, pp. 175. DOI: 10.31251/pos.v5i2.175.
- Seменов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В. [и др.] (2008). *Mineralizuemost' organicheskogo veshchestva i uglerod-sekvestiruyushchaya emkost' pochv zonal'nogo ryada* [Mineralization of organic matter and carbon sequestering capacity of zonal soils]. *Pochvovedenie*, no. 7, pp. 819-832.
- Intergovernmental panel on Climate Change (2020). *Land and Climate Change*. P. 36.
- Paustian K, Lehmann J, Ogle S, Reay D, Robertson G.P, Smith P. (2016). Climate-Smart Soils. *Nature*, 532, p. 49-57. DOI: 10.1038/nature17174.
- Stolbovoy V.S. (2020). *Regenerativnoe sel'skoe khozyaistvo i smyagchenie posledstviy izmeneniya klimata* [Regenerative

Информация об авторах:

Тойгильдин Александр Леонидович, доктор сельскохозяйственных наук, директор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7713-5283>, atoigildin@yandex.ru
Никифорова Светлана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4923-1646>, nikiforova11@yandex.ru

Information about the authors:

Alexander L. Toigildin, doctor of agricultural sciences, director, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7713-5283>, atoigildin@yandex.ru
Svetlana A. Nikiforova, candidate of agricultural sciences, senior researcher at the department of agriculture and crop cultivation technologies, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4923-1646>, nikiforova11@yandex.ru

