ТЕХНОЛОГИИ ПОЧВОЗАЩИТНОГО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ: САМАРСКИЙ АГРАРНЫЙ КАРБОНОВЫЙ ПОЛИГОН

УДК: 543.07, 543.27.-8
ВАК: 02.00.02, 05.11.13

Платонов В.И., к.х.н., rovvv@yandex.ru , **Подлипнов В.В.**, **Колесниченко И.Н.**, к.х.н.
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королева,
Троц Н.М., д.с.х.н., **Машков С.В.**, Самарский ГАУ, **Орлова Л.В.**, к.э.н., НП "НДСЗ",
Орлов С.В., **Герасимов Е.С.**, ООО "Орловка-АИЦ"

Продовольственная и экологическая стабильность являются одним из главных направлений обеспечения национальной безопасности страны в долгосрочном периоде, фактором сохранения ее государственности и суверенитета, важнейшими составляющими социально-экономической политики, а также необходимым условием реализации стратегического национального приоритета – повышения качества жизни граждан России. Одной из ключевых угроз продовольственной и экологической безопасности не только в России, но и в мире в целом является почвенно-углеродный кризис. Аграрные карбоновые полигоны – эффективные научно-практические комплексы для разработки и испытаний технологий природоохранного ресурсосберегающего земледелия, а также контроля баланса климатических активных газов в природных экосистемах.

Карбоновый полигон в Самарской области специализирован под оценку эффективности поглощения углерода при применении технологий почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия. Ученые исследуют высокотехнологичные биологические методы эффективного управления углеродным циклом с целью увеличения депонирования почвой органического углерода. Здесь исследуются новейшие методы удаленного зондирования с помощью БПЛА для измерения запасов почвенного углерода, а также разрабатывается математическая модель динамики секвестрации парниковых выбросов и соответствующее программное обеспечение. Самарский карбоновый полигон участвует в создании национального MRV-протокола, который позволит просчитывать объемы секвестрации парниковых выбросов.

В 1964 году после визита в США Никиты Хрущева в СССР был произведен коренной переворот – политическим решением за основу была принята американская модель земледелия, автором которой считается отец зеленой революции Норман Борлоуг. Эта модель известна в нашей стране под названием "интенсивной модели растениеводства". Модель Борлоуга стоит на четырех китах:

- лучший сорт или гибрид;
- большой объем вносимых минеральных удобрений;
- интенсивная химическая защита растений (СЗР);
- по возможности полив.

В результате использования в течение длительного периода подобной интенсивной агротехнической модели к настоящему моменту в России площадь эродированных земель достигла 60%, деградированных – 30%. На территории нашей страны возникла антропогенная пустыня, а 47% сельхозугодий фактически или потенциально подвержены разным формам опустынивания. Эти процессы отмечены как минимум в 35 субъектах Российской Федерации, в которых производится около 70% сельскохозяйственной продукции. Дальнейшее использование традиционных подходов с глубокой вспашкой и высокой удельной минерализацией ведет к острому почвенному истощению и создает объективную угрозу продовольственной безопасности страны.

В мире все шире распространяются технологии природоохранного ресурсосберегающего земледелия (ПРЗ), которые включают минимальную или нулевую обработку почв и расширенное применение биологических методов, способствующих секвестрации и депонированию в почвах органического углерода ($C_{орг}$). Согласно расчетам глобальный потенциал секвестрации $C_{орг}$ в почвах может достигнуть 0,9±0,3 Гт С га-1 год-1 [11].

DOI: 10.32757/2619-0923.2023.1.23.70.77

Табл.1. *Запасы углерода активного органического вещества в почвах европейской части России [12]*

Почвенно-биоклиматическая зона	Почва	Содержание $C_{орг}$, т/га			
		Слой 0–20 см		Слой 0–50 см	
		Варьирование значений	Среднее	Варьирование значений	Среднее
Тундровая и лесотундровая	Сфагновый торфяник, перегнойно-торфяная	2,3–2,6	2,9	5,5–9,1	7,5
	Аллювиальная дерновая, аллювиальная луговая	1,2–4,2	2,1	2,0–12,4	4,2
Южно-таежная	Дерново-подзолистая	0,6–2,8	1,1	1,4–1,6	1,5
	Лиственно-лесная Серая лесная	1,4–3,3	2,3	2,3–3,5	2,9
	Темно-серая лесная	1,9–5,4	2,8	3,3–9,3	4,8
Лесостепная и степная	Чернозем типичный	1,0–3,7	2,1	2,1–4,9	3,8
	Чернозем обыкновенный	0,6–2,0	1,1	1,4–3,6	2,4
	Чернозем южный	0,8–1,0	0,9	1,5–2,3	1,9
Сухостепная	Темно-каштановая, каштановая, светло-каштановая	0,7–1,8	0,8	1,0–2,2	1,6
Полупустынная	Бурая полупустынная, солонцеватая, солонец полупустынный солончаковый	0,4–0,7	0,6	1,1–1,3	1,2
Субтропическая	Бурая лесная кислая	2,0–2,1	2,1	3,4–5,1	4,5

Однако этот потенциал во многом обусловлен климатическими характеристиками региона, системами земледелия, генезисом почв и их физическим, физико-химическим и микробиологическим состоянием (табл.1).

Длительное применение общепринятой вспашки с полным оборотом пласта может привести к эрозионным потерям илистой фракции почв и гумуса и, как следствие, к ухудшению физического состояния почв [2–6]. Переход от общепринятой к нулевой (no-till) обработке рассматривается как один из рациональных и эффективных способов повышения секвестрации и запасов $C_{орг}$, сохранения илистой фракции и гумуса и улучшения физического и биологического состояния почв [7–11, 14].

Нулевая обработка почвы – современная система земледелия, при которой почва не вспахивается, а ее поверхность укрывается специально измельченными остатками растений – мульчей. Поскольку верхний слой почвы не рыхлится, такая

система земледелия предотвращает водную и ветровую эрозию, а также значительно лучше сохраняет воду. Благоприятное влияние нулевой обработки на содержание органического вещества проявляется в секвестрации и закреплении углерода в почвах [1, 15–18]. Результаты ряда исследований показали, что после длительного применения (от 5 до 23 лет) нулевой обработки секвестрация органического углерода в 60-сантиметровом слое почвы варьировала от 20,3 до 22,8 т га-1 [19]. В ряде работ подтверждено благоприятное влияние нулевой обработки почвы на изменение содержания ее органического вещества для разных подтипов черноземов в таких регионах, как Ростовская, Курская и Курганская области, Ставропольский и Красноярский края [20–25]. Причем эти исследования выполнены как в условиях полевых модельных экспериментов, так и на производственных полях агрохозяйств, которые успешно реализуют данную ресурсосберегающую технологию на протяжении 4–12 лет.

Помимо оздоровления и увеличения плодородия почв, ПРЗ является и одним из перспективных способов извлечения из мирового газообмена и депонирования антропоморфного углерода – одного из основных факторов усиления парникового эффекта и связанного с ним глобального потепления. В Российской Федерации, несмотря на общий геополитический контекст, климатической повестке уделяется особое внимание. На данный момент в России созданы и функционируют 17 карбоновых полигонов общей площадью 39 157,3 га [26]. Карбоновый полигон – один или несколько участков земной поверхности с репрезентативными для данной территории рельефом, структурой растительного и почвенного покрова, на котором реализуются мероприятия по разработке и испытаниям технологий контроля баланса климатических активных газов природных экосистем.

АГРАРНЫЙ КАРБОНОВЫЙ ПОЛИГОН В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

В Самарской области инициативной группой ученых, инженеров и индустриальных партнеров, входящих в структуры научно-образовательного центра мирового уровня "Инженерия будущего", Самарского университета, Самарского государственного аграрного университета, Самарского медицинского университета и Национального движения сберегающего земледелия, при поддержке АО "ОХК "УРАЛХИМ", на уникальной для России площадке хозяйства "Орловка Агро-Инновационный Центр" организован аграрный карбоновый полигон, где отрабатываются методики ресурсосберегающего, регенеративного, или, по-другому, карбонового земледелия. Основная задача проекта – оценить возможность снижения выбросов парниковых газов – углекислого газа, метана и закиси азота – в сельском хозяйстве и научиться управлению углеродным циклом с целью сохранения почв, климата, окружающей среды и повышения урожайности. Специалисты изучают влияние технологии почвозащитного ресурсосберегающего (карбонового) земледелия на качество почвы и поглощения парниковых газов.

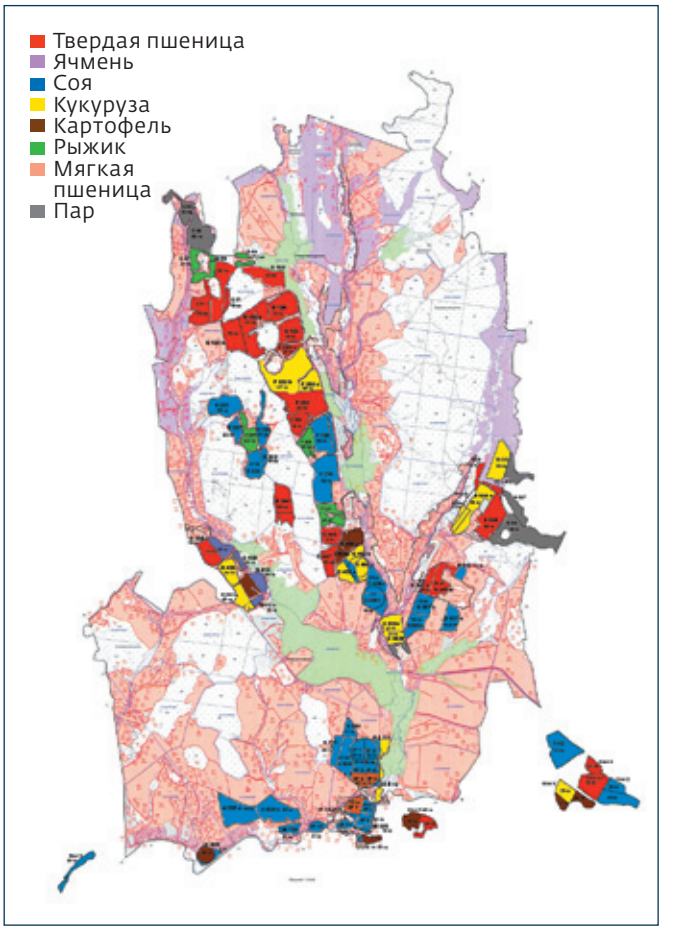


Рис.1. *Сельскохозяйственные угодья хозяйства "Орловка Агро-Инновационный Центр"*

Уникальность выбранной площадки заключается в том, что на территории хозяйства более десяти лет ведется осознанное внедрение практик ПРЗ и почвосберегающих биотехнологий. Хозяйство расположено в селе Аманак Похвистневского района Самарской области, включает в себя пахотные земли, в том числе орошаемые, луга, бассейн реки Аманак [27]. На территории хозяйства активно внедряются зеле-

Табл.2. *Изменения запасов углерода при различных типах обработки почвы*

Этап измерения	C, кг/га				
	No-till (0 см)	Вспашка 5 см	Вспашка 10 см	Вспашка 20 см	Вспашка 30 см
Поверхностный слой (Litter)					
День 1	1 620,61	1 518,8	1 518,8	1 518,8	1 518,8
День 365	2 458,99	2 040,95	2 026,15	1 913,17	1 793,56
Изменение	838,38	522,15	507,35	394,37	274,76
Активный гумус (Humads)					
День 1	7 762,72	6 576,4	6 576,4	6 576,4	6 576,4
День 365	7 716,83	6 522,86	6 433,89	6 183,35	5 890,94
Изменение	–45,89	–53,54	–142,51	–393,05	–685,46
Стабильный гумус (Humus)					
День 1	152 677,61	143 784,83	143 784,83	143 784,83	143 784,83
День 365	152 526,61	143 634,98	143 620,67	143 568,47	143 530,58
Изменение	–151	–149,85	–164,16	–216,36	–254,25
Суммарно					
День 1	162 060,94	151 880,03	151 880,03	151 880,03	151 880,03
День 365	162 902,63	152 392,09	152 274,08	151 869,97	151 462,25
Изменение	841,69	512,06	394,05	–10,06	–417,78
Изменение, %	0,52	0,34	0,26	–0,01	–0,28

ные технологии. Общая площадь аграрного карбонового полигона 4785,8 га (рис.1). На площадке хозяйства отрабатывается применение биологических методов: использование покровных культур, бактериально-грибковых препаратов, гуминовых веществ, посевы медоносных культур, планируется использование препаратов микоризы, азоспириллы, энтомофагов.

ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенные в 2021–2022 гг. предварительные исследования на базе аграрного карбонового полигона показали тенденцию к увеличению запасов органического углерода и уменьшению прямой эмиссии CO_2 при переходе от традиционной обработки почвы к карбоновому земледелию.

Для анализа были взяты метеоданные с погодной станции Орловка-АИЦ. Концентрации органического углерода измерялись дополнительно на базе ФГБУ "САС "Самарская" в соответствии с ГОСТами для каждого из измеряемых параметров. Остальные параметры (тип почвы, даты посева, тип высаживаемой культуры) по умолчанию принимались равными. В рамках первого этапа моделирования сравнивалось годовое изменение содержания углерода

Рис.2. *Отбор проб проводился по результатам зонирования с использованием NDVI-индексов*

в различных пулах органического вещества почвы (верхний слой, активный гумус и стабильный гумус). (табл.2).

В исследовании применялись современные методы анализа, рекомендованные ФАО. Для ряда анализов использовалось оборудование, разработанное в Самарском университете: портативные микрофлюидные газовые хроматографы ПИА, мобильные камеры гиперспектральной съемки и беспилотные летательные аппараты.

Отбор проб проводился по результатам зонирования на участках 200×200 метров, центрами которых являлись выбранные 20 позиций. Отбор проб проводили с использованием NDVI-индексов (Normalized Difference Vegetation Index). Это нормализованный относительный индекс растительности – простой показатель количества фотосинтетически активной биомассы, обычно называемый вегетационным индексом. NDVI-индекс вычисляется по поглощению и отражению растениями лучей красной и ближней инфракрасной зоны спектра. По результатам зонирования были выбраны участки с максимальными и минимальными индексами (рис.2).

Существует два основных общепринятых способа замера эмиссии парниковых газов. Первый осуществляется при помощи установок ковариативного измерения потоков. Установки представляют собой тандем ультразвукового анемометра и высокоточных ИК-спектрометров для измерения силы и направления ветра и концентрации парниковых газов в воздухе. За счет дифференциации восходящих и нисходящих потоков рассчитывается количество CO_2, поглощенного или эмитированного почвой и биологическими объектами. Таким образом проводится оценка секвестрации выбросов углерода. Одной из наиболее распространенных установок подобного типа является метеорологическая станция MesoPRO, предназначенная для долгосрочного мониторинга параметров атмосферы. Кроме того, для измерений использовался высокоскоростной прецизионный профессиональный газоанализатор CO_2/H_2O открытого типа для работы в составе систем изучения и мониторинга атмосферы методом вихревой ковариации.

Вторым способом является математическое моделирование секвестрации углерода при помощи моделей

Рис.3. *Портативные аналитические приборы для проведения метрологически аттестованных измерений с высокой точностью и экспрессностью в полевых условиях*

Табл.3. *Эмиссия углерода при различных видах обработки почвы*

Показатель	No-till 0 см	Вспашка 5 см	Вспашка 10 см	Вспашка 20 см	Вспашка 30 см
Эмиссия CO_2, кг экв. CO_2/га	–3086	–1878	–1445	37	1532
Итоговая эмиссия, кг экв. CO_2/га	–919	105	180	3139	4643

Roth C и DNDC, а также валидация полученных результатов анализов парниковых газов методом закрытых камер. При этом определяющим фактором является применение портативных аналитических приборов, позволяющих в полевых условиях проводить метрологически аттестованные измерения с высокой точностью и экспрессностью. Самарскими учеными был разработан и апробирован для этих целей портативный микрофлюидный газовый хроматограф "ПИА" (рис.3).

При анализе полученных показателей выявилось, что при прямом посеве и вспашке до 10 см наблюдается депонирование углерода в почве и отрицательный баланс эмиссии углекислого газа. При вспашке на глубину более 10 см, напротив, – потеря органического вещества почвой и рост выбросов углекислого газа (табл.3).

Кроме того, в рамках исследований, посвященных изучению секвестрированного почвой углерода при использовании технологий карбонового земледелия, был апробирован метод дистанционного зондирования почвы с использованием гиперспектрометра на основе схемы Оффнера на БПЛА (рис.4) с целью получить высокоточные NDVI индексы, оценить содержание углерода и других микроэлементов в почве. Исследовательское оборудование было предоставлено АНО ИРР НОЦ мирового уровня "Инженерия будущего". Комплексные пилотные исследования показали высокий уровень корреляции полученных результатов при сравнении с независимыми методами и моделированием по Roth C.

Исследования почвенного углерода проводились с помощью прибора Soil TOC cube для измерения общего органического углерода (TOC), общего неорганического углерода (TIC) и остаточного окисляемого углерода (RIC).

Кроме того, специалистами из Самарского медицинского университета были проведены микробиологические исследования на MALDI-TOF масс-спектрометре Bruker Biotyper Microflex LT для оценки микробиологических характеристик с целью оптимизации биоты для увеличения секвестрации углерода и повышения здоровья почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ретроспективный анализ выявил существенную неоднородность почвенного покрова региона по почвообразующим породам, мощности органогенного горизонта и степени смытости почв.

Рис.4. *Гиперспектрометр на основе схемы Оффнера на БПЛА*

Инструментальные исследования прямой эмиссии CO_2 из почвы показали, что переход от традиционной обработки чернозема к нулевой способствует уменьшению выбросов CO_2 из почвы в атмосферу.

По результатам компьютерного моделирования по DNDC, подтвержденным замерами эмиссии парниковых газов почвой методом закрытых камер, выявлено, что ПРЗ является единственной технологией, которая обеспечивает отрицательный баланс парниковых выбросов на фоне депонирования углерода. Глубина вспашки прямо пропорциональна потерям органического вещества почвы и увеличению парниковых выбросов.

В дальнейшем планируется исследование коэффициентов и вида зависимости, связывающей глубину обработки почвы и объемы потери органического вещества и роста парниковых выбросов. Исследование выявило, что значительную долю парниковых выбросов составляет закись азота. Это свидетельствует о необходимости оптимизации объемов внесения удобрений и поиска альтернативных стратегий, в том числе высаживания бобовых покровных культур и использования азотфиксирующих биопрепаратов.

Проводимые научно-практические работы позволят разработать новые, адаптированные к российским климатическим условиям технологии земледелия, которые позволят без снижения урожайности сохранить здоровье и плодородие почв. Исследовательской группой планируются к написанию программы обучения для аграрных вузов, а также разработка отечественного аналитического оборудования для оценки качества почв и секвестрации углерода.

* * * *

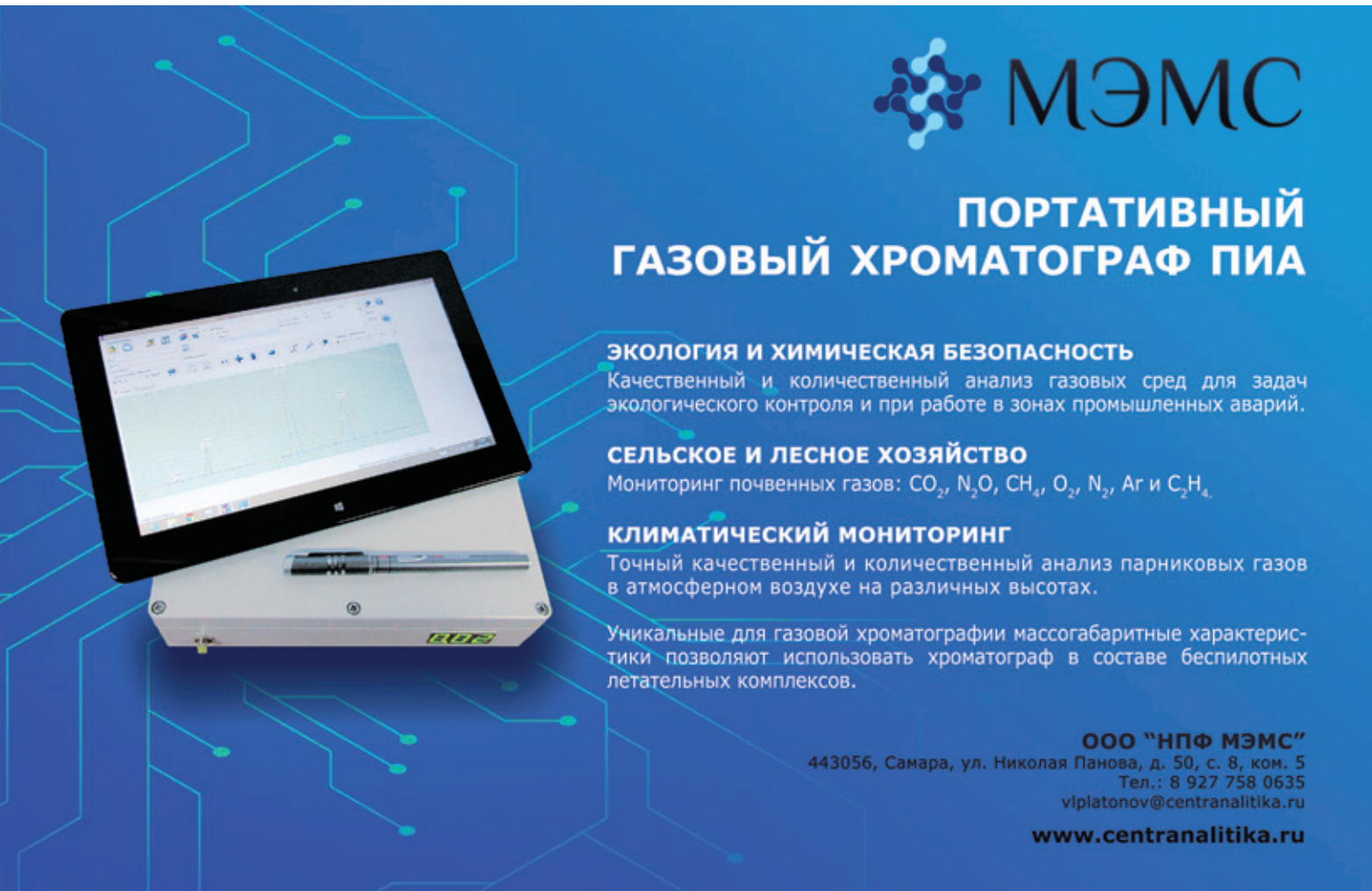
"За последние два столетия глобальные потери органического углерода из почв составили около 8% только в результате переустройства земель и неэффективных методов. Для более быстрой и эффективной адаптации агротехнологий почв важно объединение знаний и усилий как сельхозпроизводителей, так и научного сообщества для построения национальной системы мониторинга и учета углерода и парниковых газов с учетом российской специфики, – подчеркивает доктор наук, декан агрономического факультета СамГАУ Наталья Троц. – Известно, что применение различных практик агротехнологий влияет на содержание почвенного углерода и кумулятивную эмиссию парниковых газов, что отражается на увеличении запасов почвенного углерода и расчете углеродных кредитов.

Предварительные результаты наших исследований демонстрируют тенденцию к увеличению депонирования углерода в почве и снижению выбросов углекислого газа при применении почвозащитного ресурсосберегающего (углеродного) земледелия по сравнению со вспашкой".

Работа ученых самарского карбонового полигона отмечена наградами профессионального сообщества. В 2022 г. проект удостоен золотой медали Поволжской агропромышленной выставки и диплома победителя национального конкурса профессионального проектного управления в сфере устойчивого развития GPM AWARDS RUSSIA–2022. Заявка проекта прошла первый этап отбора на включение в Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства на 2017–2030 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Zhao J.**, **Liu Z.**, **Lai H.**, **Yang D.**, **Li X.** Optimizing residue and tillage management practices to improve soil carbon sequestration in a wheat–peanut rotation system // Journal of Environmental Management. 2022. V. 306. N. 114468.
2. **Lal R.** Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security // Science. 2004. V. 304. N. 5677. P. 1623–1627.
3. **Balashov E.**, **Buchkina N.** Impact of short-and long-term agricultural use of chernozem on its quality indicators // International Agrophysics. 2011. V. 25. N. 1. P. 1–5.
4. **López-Garrido R.**, **Madejón E.**, **Murillo J.M.**, **Moreno F.** Soil quality alteration by mouldboard ploughing in a commercial farm devoted to no-tillage under Mediterranean conditions // Agriculture, ecosystems & environment. 2011. V. 140. N. 1–2. P. 182–190.
5. **de Oliveira L.E.Z.**, **de Souza N.R.**, **de Sousa D.M.G.**, **de Figueiredo C.C.** Dynamics of residual phosphorus forms under different tillage systems in a Brazilian Oxisol // Geoderma. 2020. V. 367. P. 114254.
6. **Xu J.**, **Han H.**, **Ning T.**, **Li Z.**, **Lal R.** Long-term effects of tillage and straw management on soil organic carbon, crop yield, and yield stability in a wheat-maize system // Field Crops Research. 2019. V. 233. P. 33–40.
7. **Castellini M.**, **Fornaro F.**, **Garofalo P.**, **Giglio L.**, **Rinaldi M.**, **Ventrella D.**, **Vitti C.**, **Vonella A.V.** Effects of no-tillage and conventional tillage on physical and hydraulic properties of fine textured soils under winter wheat // Water. 2019. V. 11. N. 3. P. 484.
8. **Ogle S.M.**, **Alsaker C.**, **Baldock J.**, **Bernoux M.**, **Breidt F.J.**, **McConkey B.**, **Regina K.**, **Vazquez-Amabile G.G.** Climate and soil characteristics determine where no-till management can store carbon in soils and mitigate greenhouse gas emissions // Scientific reports. 2019. V. 9. N. 1. P. 1–8.
9. **Paustian K.**, **Six J.**, **Elliott E.T.**, **Hunt H.W.** Management options for reducing CO_2 emissions from agricultural soils // Biogeochemistry. 2000. V. 48. N. 1. P. 147–163.
10. **Phogat M.**, **Dahiya R.**, **Goyal V.**, **Kumar V.** Impact of long term zero tillage on soil physical properties: A review // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2020. V. 9. N. 5. P. 2959–2967.
11. Six J, Bossuyt H, Degryze S, **Denef K.** A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics // Soil & Tillage Research, 2004. V. 79. N. 1. P. 7–31.
12. **Семенов В.М.**, **Когут Б.М.**, **Зинякова Н.Б.**, **Масютенко Н.П.**, **Малюкова Л.С.**, **Лебедева Т.Н.**, **Тулина А.С.**

Биологически активное органическое вещество в почвах европейской части России // Почвоведение. 2018. № 4. С. 457–472
13. **Vizioli B.**, **Cavalieri-Polizeli K.M.V.**, **Tormena C.A.**, **Barth G.** Effects of long-term tillage systems on soil physical quality and crop yield in a Brazilian Ferralsol // Soil and Tillage Research, 2021. V. 209. P. 104935.
14. **Zhang Y.**, **Xie D.**, **Ni J.**, **Zeng X.** Conservation tillage practices reduce nitrogen losses in the sloping upland of the Three Gorges Reservoir area: No-till is better than mulch-till // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2020. V. 300. P. 107003.
15. **Bhattacharyya S.S.**, **Ros G.H.**, **Furtak K.**, **Iqbal H.M.**, **Parra-Saldívar R.** Soil carbon sequestration–An interplay between soil microbial community and soil organic matter dynamics // Science of The Total Environment. 2022. P. 152928.
16. **Dewi R.K.**, **Fukuda M.**, **Takashima N.**, **Yagioka A.**, **Komatsuzaki M.** Soil carbon sequestration and soil quality change between no-tillage and conventional tillage soil management after 3 and 11 years of organic farming // Soil Science and Plant Nutrition, 2022. V. 68. N. 1. P. 133–148.
17. **Kan Z.R.**, **Liu W.X.**, **Liu W.S.**, **Lal R.**, **Dang Y.P.**, **Zhao X.**, **Zhang H.L.** Mechanisms of soil organic carbon stability and its response to no-till: A global synthesis and perspective // Global Change Biology, 2022. V. 28. N. 3. P. 693–710.
18. **Ussiri D.A.**, **Lal R.** Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio // Soil and Tillage Research, 2009. V. 104. N. 1. P. 39–47.
19. **Christopher S.F.**, **Lal R.**, **Mishra U.** Regional study of no-till effects on carbon sequestration in the Midwestern United States // Soil Science Society of America Journal, 2009. V. 73. N. 1. P. 207–216.
20. **Гилев С.Д.**, **Цымбаленко И.Н.**, **Курлов А.П.**, **Русакова И.В.** Микробоценоз чернозема выщелоченного и динамика органического вещества при минимизации обработки почвы в условиях Зауралья // АПК России. 2015. Т. 73. С. 104–110.
21. **Кураченко Н.Л.**, **Колесник А.А.** Структура и запасы гумусовых веществ чернозема в условиях основной обработки почвы // Вестник КрасГАУ. 2017. № 9. С. 149–157.
22. **Холодов В.А.**, **Ярославцева Н.В.**, **Яшин М.А.**, **Фарходов Ю.Р.**, **Ильин Б.С.**, **Лазарев В.И.** Содержание органического углерода и азота в размерных фракциях агрегатов типичных черноземов // Почвоведение. 2021. № 3. С. 320–326.
23. **Завалин А.А.**, **Дридигер В.К.**, **Белобров В.П.**, **Юдин С.А.** Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1506–1516.
24. **Мокриков Г.В.**, **Казеев К.Ш.**, **Мясникова М.А.**, **Акименко Ю.В.**, **Колесников С.И.** Влияние технологии прямого посева на почвенную мезофауну, дыхание и ферментативную активность черноземов южных // Агрохимический вестник. 2019. № 5. С. 31–36.
25. **Холодов В.А.**, В.П. **Белобров Н.В. Ярославцева М.А.** Яшин и др. Влияние технологии прямого посева на распределение органического углерода и азота во фракциях агрегатов черноземов типичных, обыкновенных и южных // Почвоведение. 2021. № 2. С. 240–246.
26. https://carbon-polygons.ru
27. http://orlovka-aic.ru/about

РЕКЛАМА