

ВЛИЯНИЕ МИНИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ НА БАЛАНС УГЛЕРОДА В ПОЧВЕ В ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

¹И.Н. Шарков, доктор биологических наук

¹В.А. Андроханов, доктор биологических наук

²Л.М. Самохвалова, старший научный сотрудник

²П.В. Антипина, научный сотрудник

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

E-mail: humus3@yandex.ru

Ключевые слова: минимизация обработки почвы, эмиссия CO₂, минерализация органического вещества, растительные остатки, баланс углерода в почве.

Реферат. Цель исследования заключалась в оценке баланса углерода в черноземе выщелоченном при использовании его в многолетнем полевом опыте в двух вариантах: при ежегодной вспашке на глубину 25–27 см и поверхностной обработке на 6–8 см. В опыте выращивали яровую пшеницу по интенсивной технологии в севообороте «чистый пар – пшеница – пшеница». Варианты опыта различались количеством растительных остатков: с половины полей солому удаляли, на другой – заделывали измельченной в почву после уборки урожая. Баланс углерода оценивали на основе учета прихода элемента в почву с растительными остатками (соломой и корнями) и его потерь в виде CO₂ из органического вещества почвы за вегетационный период. Суммарные потери C–CO₂ за период май – сентябрь рассчитывали на основании среднесуточной скорости продуцирования CO₂, которую определяли на поле чистого пара один раз в неделю абсорбционным методом. Минимизация, переход от вспашки к поверхностной обработке почвы, не оказала существенного влияния на среднегодовую урожайность пшеницы (2,49–2,60 т/га) и количество растительных остатков (1670–1818 кг С/га пашни). Между этими фонами обработки не обнаружено также значительных различий в среднегодовой минерализации органического вещества и балансе углерода в почве. Оба эти показателя существенно зависели только от количества поступавшего в почву растительного вещества (соломы и корней). Наиболее дефицитный баланс углерода в почве (-752 кг С/га пашни) зарегистрирован при отчуждении соломы с поля. При ее оставлении на поле баланс элемента становился значительно более благоприятным (-88 кг С/га пашни), приближаясь к бездефицитному состоянию. Сделан вывод, что при среднегодовой урожайности пшеницы в трехпольном зернопаровом севообороте около 2,5 т/га зерна и заделке в почву всей нетоварной части урожая в черноземе выщелоченном обеспечивался близкий к бездефицитному баланс углерода независимо от приема основной обработки.

EFFECT OF TILLAGE MINIMIZATION ON THE CARBON BALANCE IN THE SOIL IN THE FOREST-STEPPE OF THE NOVOSIBIRSK OB REGION

¹I.N. Sharkov, Doctor of Biological Sciences

¹V.A. Androkhanov, Doctor of Biological Sciences

²L.M. Samokhvalova, Senior Researcher

²P.V. Antipina, Researcher

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal Scientific Centre for Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk settlement, Novosibirsk region, Russia

E-mail: humus3@yandex.ru

Keywords: soil tillage minimization, CO₂ emission, organic matter mineralization, plant residues, soil carbon balance.

Abstract. The study aimed to assess the carbon balance in leached chernozem when used in a long-term field experiment in 2 variants: with annual ploughing to a depth of 25 – 27 cm and surface treatment by 6 – 8 cm. In the experiment, spring wheat was grown using intensive technology in a crop rotation, pure fallow - wheat - wheat. The variants of the experiment differed in the number of plant residues: straw was removed from half of the fields, and on the other half, it was planted and crushed into the soil after harvesting. The authors estimated the carbon

balance based on the element's input into the ground with plant residues (straw and roots) and its losses in the form of CO_2 from the soil's organic matter during the growing season. The total loss of C- CO_2 for the period May – September was calculated based on the average daily rate of production of CO_2 , which was determined in the field of pure fallow once a week by the absorption method. Minimization, the transition from ploughing to surface tillage, did not significantly impact the average annual wheat yield (2.49 – 2.60 t/ha) and the number of plant residues (1670 – 1818 kg C/ha of arable land). Also, between these treatment backgrounds, no significant differences were found in the average annual mineralization of organic matter and the carbon balance in the soil. These indicators depended only on the amount of plant matter (straw and roots) entering the ground. The poor credit of carbon in the land (-752 kg C/ha of arable land) was registered when straw was alienated from the field. When it was left on the field, the balance of the element became much more favourable (-88 kg C/ha of arable land), approaching a deficit-free state. The authors concluded that a carbon balance close to a deficit-free one was ensured, regardless of the primary tillage with an average annual wheat yield in a 3-field grain-fallow crop rotation of about 2.5 t/ha of grain and the incorporation of the entire non-marketable part of the crop into the soil in the leached chernozem.

Минимизация механического воздействия на почву, т. е. уменьшение глубины и/или частоты ее обработки, представляет для земледельцев интерес, прежде всего, с экономической точки зрения: уменьшаются затраты на приобретение и эксплуатацию техники, экономятся горюче-смазочные материалы, повышается производительность труда. С другой стороны, минимизация обработки почвы всегда сопровождается значительным увеличением засоренности посевов и нередко – повышением фона почвенных и листовых инфекций. Хотя это не означает безусловного увеличения применения пестицидов, но к их использованию при минимальных обработках приходится подходить более ответственно, тщательнее контролируя фитосанитарную ситуацию на поле и строже соблюдая оптимальные сроки опрыскивания посевов. Если это удастся четко реализовать в агротехнологиях на сибирских черноземах, то минимизация их обработки обычно не приводит к снижению урожайности и, как следствие, поступления в почву растительных остатков. Например, в многолетнем полевом опыте на черноземе выщелоченном в Новосибирском Приобье было показано [1], что среднегодовая урожайность яровой пшеницы при применении комплекса средств химизации (удобрений, гербицидов, фунгицидов) не зависела от приемов основной обработки почвы и в их крайних вариантах составила: при глубокой вспашке – 4,04, без зяблевой обработки – 3,98 т/га зерна. В аналогичном опыте в северной лесостепи Тюменской области [2] урожайность пшеницы в варианте без осенней обработки почвы оказалась даже существенно выше (4,03 т/га), чем на фоне вспашки (3,56 т/га), причем благодаря минимизации прибыль увеличилась почти в 2 раза. Все это свидетельствует о перспективности освоения минимальных систем обработки вплоть до перехода к прямому посеву (технологии No-till), однако на этом пути

для разных почвенно-климатических условий предстоит решить еще немало задач [3, 4].

Одна из них связана с изучением изменений под влиянием минимальных обработок почвенного органического вещества как основного фактора плодородия, оказывающего благотворное влияние на важнейшие для растений свойства почвы. В последние десятилетия актуальность этой задачи возросла в связи с осознанием на межгосударственном уровне глобальных климатических изменений, происходящих под влиянием избыточного поступления в атмосферу одного из парниковых газов – CO_2 . Как известно, почва для атмосферы одновременно является и хранилищем, и источником CO_2 , и весьма заманчиво с помощью агротехнологий научиться усиливать первую из этих функций. Чаще всего надежды возлагаются на освоение минимальных систем обработки почвы. Полагают [5–7], что под влиянием минимизации усиливается консервирующая функция почвы, в результате чего затормаживаются процессы минерализации органического вещества и, соответственно, снижается эмиссия CO_2 в атмосферу. Однако это не всегда находит экспериментальное подтверждение [8–10], т. е. пока не ясно, насколько сильно эта функция почвы может проявляться в тех или иных условиях. Как справедливо отмечается [11], консервация почвенного органического вещества определяется сложными взаимосвязями между почвой и климатом, которые еще недостаточно поняты.

По нашему мнению, основная причина, обуславливающая трудности в интерпретации результатов, получаемых при минимизации обработки почвы, кроется в методике исследования. Дело в том, что об изменении содержания органического вещества и процессов его минерализации под влиянием различных обработок обычно судят после проведения многолетнего (10 лет и более) полевого

опыта. Ясно, что обнаруживаемые между его вариантами различия, например, в содержании почвенного гумуса, обуславливаются совокупностью причин – количеством поступивших в почву растительных остатков, интенсивностью их минерализации и гумификации, эрозионными потерями почвы и др., и трудно установить, какая из них была определяющей. Так, авторы недавнего обзора [4] больше склоняются к мнению, что повышенное содержание органического вещества при прямом посеве, обуславливается уменьшением потерь почвы вследствие эрозии и дефляции благодаря оставлению на поверхности поля стерни и растительных остатков. На наш взгляд, более определенную информацию о направленности изменения запасов органического вещества и скорости процессов его минерализации под влиянием минимизации обработки можно получить на основе прямого определения в почве прихода и расхода углерода в текущий период ее использования.

Этот подход использован нами в настоящей статье с целью оценки влияния минимизации обработки на баланс углерода в черноземе выщелоченном при использовании его по интенсивной технологии в трехпольном зернопаровом севообороте.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование выполнено на базе многолетнего полевого опыта, заложенного в 2003 г. в левобережной части Новосибирского Приобья, в пригороде Новосибирска. Почва опытного участка – старопашотный чернозем выщелоченный среднесуглинистый – характеризовалась следующими показателями: содержание гумуса в слое 0–25 см – 6,3 %, общего азота – 0,30 %, P_2O_5 и K_2O (по Чирикову) – 23 и 18 мг/100 г почвы соответственно, рН водный 7,2. Район проведения исследований относится к центральной части лесостепи Приобья. Климат здесь резко-континентальный с продолжительной и холодной зимой, коротким и относительно теплым летом. В сравнении с соответствующей широтой Восточно-Европейской равнины укороченность вегетационного периода в Западной Сибири достигает 20–30 дней при меньшей на 200–300 °С сумме биологически активных температур [12]. Среднегодовое количество осадков в районе проведения исследований составляет примерно 400 мм, сумма температур воздуха

выше 10 °С – около 1800 °С при продолжительности периода 120 дней.

Полевой опыт представлял собой севооборот «пар – пшеница – пшеница», варианты которого различались количеством поступающих в почву растительных остатков. В одной их половине солому пшеницы на протяжении всех ротаций удаляли с полей, в другой – в процессе уборки урожая ее измельчали комбайном и затем заделывали в почву. В каждом варианте было по два фона основной обработки почвы: ежегодная вспашка всех полей плугом на глубину 25–27 см и поверхностная культивация на 6–8 см. Обработки проводили ежегодно в сентябре спустя 1–2 недели после уборки пшеницы. Предпосевную культивацию выполняли в мае на всех полях одинаково – на глубину 6 см. Паровое поле поддерживали в чистом от сорняков состоянии, проводя за вегетационный период 4–5 поверхностных культиваций. Под минимизацией в данном случае понимается переход от вспашки к поверхностной обработке почвы. Яровую пшеницу сорта Новосибирская 29 выращивали по интенсивной технологии, применяя в паровом поле 45 кг/га P_2O_5 , под первую после пара культуру N_{40} , вторую – N_{80} , а также инсектициды по всходам, гербициды в фазу кущения против злаковых и двудольных сорняков, фунгициды – в фазу колошения.

Баланс углерода в почве определяли за третью ротацию севооборота на основе учета прихода элемента с растительными остатками и его потерь (расхода) в результате процессов минерализации органического вещества, т. е. в виде CO_2 . Приход углерода в почву с нетоварной надземной биомассой определяли сноповым методом в фазу восковой спелости зерна одновременно с отбором образцов для структурного анализа урожайности пшеницы. Массу корней рассчитывали по урожаю основной продукции с помощью уравнений регрессии [13, 14]. Надземную массу пшеницы высушивали при 60 °С до постоянной массы, содержание углерода в сухом веществе принимали равным 40 %.

Потери углерода из почвы в виде CO_2 в процессе минерализации органического вещества определяли на паровых полях с помощью абсорбционного метода [15]. Определения среднесуточной скорости продуцирования CO_2 почвой выполняли 1 раз в неделю и затем рассчитывали суммарные потери углерода парующейся почвой за период май – сентябрь. Поскольку в двух полях севооборота минерализация органического вещества почвы протекала под покровом

растений, результаты по потерям CO₂ для этих полей скорректировали с помощью поправочного коэффициента. Он определен в специальном трехлетнем полевом опыте [16] путем сравнительной оценки минерализации меченых ¹⁴C растительных остатков в пару и под покровом растений. Было найдено, что в целом за вегетационный период в почве под растениями процесс минерализации органического вещества протекает примерно на 14 % менее интенсивно, чем в паровом поле. Среднесуточную скорость эмиссии CO₂, парующейся почвой определяли в пятикратной повторности на протяжении трех вегетационных периодов, полученные результаты обрабатывали методом дисперсионного анализа с помощью программы СНЕДЕКОР [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как уже отмечалось, в полевых опытах при своевременном и достаточном приме-

нении средств химизации урожайность зерновых культур при минимизации обработки лесостепных черноземов обычно бывает не ниже, чем на фоне традиционной вспашки [1, 2]. Аналогичная закономерность получена и в нашем опыте, причем удаление соломы с поля также не оказало существенного влияния на среднегодовую урожайность пшеницы в севообороте. На фоне вспашки при удалении и оставлении соломы она составила соответственно 2,60 и 2,52 т/га, в варианте с поверхностной обработкой – 2,49 и 2,50 т/га зерна. Эти данные позволяют заключить, что образование растительного вещества в посевах пшеницы (надземная часть + корни) на обоих фонах обработки было примерно одинаковым, а различия в фактическом поступлении углерода в почву обуславливались только отчуждением соломы с поля в половине вариантов опыта (табл. 1). В среднем по фонам обработки удаление соломы с поля уменьшило поступление углерода в почву примерно в 2,8 раза.

Таблица 1

Среднегодовое количество надземного и подземного (корней) растительного вещества, поступившее в почву при разных обработках, кг С/га

The average annual amount of aboveground and underground (roots) plant matter that entered the soil during different treatments, kg C/ha

Обработка почвы	В паровом поле	В среднем на полях под пшеницей	На 1 га пашни
<i>Солому удаляли с поля</i>			
Вспашка	0	980	653
Поверхностная	0	907	605
<i>Солому оставляли на поле</i>			
Вспашка	0	2727	1818
Поверхностная	0	2505	1670

Существенных различий в среднегодовых потерях С–СО₂ из почвы между фонами вспашки и поверхностной обработки не обнаружено (табл. 2). Найденные в опыте различия были обусловлены только количеством поступавших в почву растительных остатков:

под влиянием оставления соломы на поле эмиссия С–СО₂ увеличилась примерно в 1,3 раза. На полях с растениями пшеницы расчетная минерализация органического вещества почвы уменьшилась на 14 % в сравнении с паровым полем.

Таблица 2

Среднегодовые минерализационные потери органического вещества почвы на фонах вспашки и поверхностной обработки, кг С/га

Average annual mineralization losses of soil organic matter against the background of plowing and surface treatment, kg C/ha

Обработка почвы	В паровом поле	В среднем на полях под пшеницей	На 1 га пашни
1	2	3	4
<i>Солому удаляли с поля</i>			
Вспашка	1521	1308	1379
Поверхностная	1524	1311	1382

1	2	3	4
НСР _{0,5}	119	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$
<i>Солому оставляли на поле</i>			
Вспашка	2093	1800	1898
Поверхностная	1946	1674	1765
НСР _{0,5}	151	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$

Таким образом, в старопахотном черноземе гетеротрофные потери С–СО₂ за вегетационный период определялись количеством поступавших растительных остатков и практически не зависели от степени минимизации механической обработки почвы.

Баланс углерода в почве рассчитан для парового поля, в среднем для двух полей под

растениями и для зернопарового севооборота в целом (табл. 3). Это позволило составить представление о том, насколько значительно сальдо баланса элемента дифференцировано по полям севооборота при получении урожайности пшеницы около 2,5 т/га. Минимизация обработки почвы не внесла

Таблица 3

Среднегодовой баланс углерода в почве при разных обработках в трехпольном зернопаровом севообороте, кг С/га
Average annual balance of carbon in the soil under different treatments in a 3-field grain-fallow crop rotation, kg C/ha

Обработка почвы	В паровом поле	В среднем на полях под пшеницей	На 1 га пашни
<i>Солому удаляли с поля</i>			
Вспашка	-1521	-328	-726
Поверхностная	-1524	-404	-777
<i>Солому оставляли на поле</i>			
Вспашка	-2093	927	-80
Поверхностная	-1946	831	-95

Существенных изменений в баланс углерода по полям севооборота, значительное влияние оказало лишь количество поступавших в почву растительных остатков. При удалении соломы с поля, в среднем по фонам обработки, сальдо баланса углерода составило (кг С/га): в паровом поле – минус 1523, в почве под растениями – минус 366, на 1 га пашни – минус 752; при оставлении соломы на поле – соответственно минус 2020, 879 и минус 88.

Таким образом, при получении среднегодовой урожайности пшеницы в трехпольном зернопаровом севообороте 2,5 т/га и отчуждении с поля соломы баланс углерода в почве был отрицательным независимо от фона зяблевой обработки. При оставлении соломы на поле баланс углерода в почве становился значительно более благоприятным и в расчете на 1 га пашни, хотя и оставался отрицательным, но был близок к бездефицитному состоянию.

Необходимо подчеркнуть, что отрицательный баланс углерода в старопахотной почве вовсе не означает, что со временем она утратит значительную часть своего органического фонда. Это подтверждается ре-

зультатами многолетних полевых опытов [10, 18, 19], которые показали, что уменьшение или увеличение поступления растительных остатков в старопахотные почвы не приводит к существенным (непрерывным) изменениям содержания в них общего углерода. В пахотном слое эти изменения обычно ограничиваются очень узким диапазоном: от минус 0,1 до 0,1 % С от массы почвы. Стабилизация запасов общего углерода в старопахотных почвах при изменении поступления в них растительных остатков обеспечивается благодаря варьированию содержания в них лабильной (легкоминерализуемой) фракции, к которой обычно относят подвижный гумус, детрит и мортмассу [10]. В сумме эти фракции составляют сравнительно малую долю от общего углерода почвы (в старопахотных черноземах около 15 %), но даже небольшое их изменение резко сказывается на скорости процессов минерализации органического вещества почвы. Каков механизм этой стабилизации? Использование старопахотной почвы при отрицательном балансе углерода приводит к расходованию части лабильной фракции, в результате скорость минерализации остаю-

щегося в почве органического вещества резко снижается, и для его воспроизводства (поддержания) требуется существенно меньше растительных остатков. Напротив, увеличенные поступления в почву растительной массы сопровождается повышением содержания в ней легкоминерализуемой фракции, резкой активизацией процессов минерализации и, как следствие, сравнительно быстрым (в течение 4–6 лет) установлением в почве равновесия между приходом и расходом углерода. На этом основании сделан вывод [19], что содержание гумуса в старопахотных почвах можно существенно повысить только за счет специальных мероприятий (перевода почвы в залежь, внесения мелиоративных доз навоза или торфа), а значительно снизить – вследствие эрозионных потерь почвы. Поэтому можно полагать, что в современных условиях в старопахотных почвах запасы гумуса находятся в квазиравновесном состоянии, если отсутствуют его эрозионные потери. Отметим также, что надежды на восстановление утраченных пахотными почвами запасов гумуса с помощью так называемых регенеративных технологий [20], нам представляются слишком оптимистичными. Расчет показал [19], что за счет интенсификации агротехнологий в лесостепных черноземах может быть восполнено не более 10% углерода, утраченного после вовлечения их в пашню и длительного использования в зерновых агроценозах.

ВЫВОДЫ

1. Использование чернозема выщелоченного по интенсивной технологии в трехполь-

ном зернопаровом севообороте при глубокой вспашке и поверхностной обработке обеспечило получение на этих фонах обработки близкой среднегодовой урожайности яровой пшеницы (2,49–2,60 т/га) и образование практически одинакового количества растительных остатков.

2. Минимизация обработки не оказала существенного влияния на масштабы среднегодовой минерализации органического вещества и баланс углерода в почве. Оба эти показателя существенно зависели только от количества поступавшего в почву растительного вещества (соломы и корней).

3. В варианте опыта с удалением соломы с поля зарегистрирован наиболее дефицитный баланс углерода в почве (минус 752 кг С/га пашни), при оставлении соломы на поле этот показатель был почти на порядок меньше (минус 88 кг С/га пашни). Следовательно, при урожайности яровой пшеницы в трехпольном зернопаровом севообороте около 2,5 т/га зерна и заделке в почву всей нетоварной части урожая в черноземе выщелоченном обеспечивался близкий к бездефицитному баланс углерода независимо от фона основной обработки.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Регистрационный номер 122111000005-7 из системы ЕГИСУ НИОКТР) в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации № 2515-р от 2 сентября 2022 г. в целях реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения, направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ» и государственного задания СФНЦА РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Синещиков В.Е. Химизация – ключевой фактор в формировании продуктивности колосовых культур в лесостепи // АПК России. – 2018. – Т. 25, № 3. – С. 455–460.
2. Абрамов Н.В., Семизоров С.А., Оксукбаева А.М. Основная обработка почвы и формирование азотного режима в системе точного земледелия // Земледелие. – 2022. – № 3. – С. 32–36. – DOI: 10.24412/0044-3913-2022-3-32-36.
3. Кирюшин В.И., Кирюшин С.В. Агротехнологии: учебник. – СПб.: Лань, 2015. – 464 с.
4. Оцелесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России / А.Л. Иванов, В.В. Кулинцев, В.К. Дридигер [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 4. – С. 8–16. – DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10401.
5. Кирюшин В.И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России // Земледелие. – 2018. – № 3. – С. 3–8. – DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10301
6. *The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions* / S. Hermle, T. Anken, J. Leifeld [et al.] // *Soil and Tillage Research*. – 2008. – Vol. 98. – P. 94. – DOI: 10.1016/j.still.2007.10.010.

7. *Emissions of CO₂, N₂O, and NO in conventional and no-till management practices in Rondônia, Brazil* / C.C. Passianoto, T. Ahrens, B.J. Feigl [et al.] // *Biol. Fertil. Soils*. – 2003. – Vol. 38. – P. 200. – DOI: 10.1007/s00374-003-0653-y.
8. *Синецкеков В.Е., Ткаченко Г.И.* Содержание нитратного азота в почве и продуктивность зерновых культур при длительной минимизации основной обработки по разным предшественникам // *Вестник НГАУ*. – 2019. – № 3 (52). – С. 59–66. – DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-59-66.
9. *Глухих М.А.* Гумус и плодородие почвы // *Через опыт – в науку: материалы регион. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Т.С. Мальцева*. – Курган: Зауралье, 1995. – С. 70–73.
10. *Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Мишина П.В.* Изменение органического вещества чернозема выщелоченного при минимизации обработки в лесостепи Западной Сибири // *Почвоведение*. – 2016. – № 7. – С. 892–899. – DOI: 10.7868/S0032180X16070091.
11. *No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment* / B.D. Soane, B.C. Ball, J. Arvidsson [et al.] // *Soil and Tillage Research*. – 2012. – Vol. 118. – P. 66. – DOI: 10.1016/j.still.2011.10.015.
12. *Генезис, эволюция и география почв Западной Сибири* / И.М. Гаджиев, В.М. Курачев, В.Н. Шоба [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. – 223 с.
13. *Шарков И.Н.* Метод оценки потребности в органических удобрениях для создания бездефицитного баланса углерода в почве пара // *Агрохимия*. – 1986. – № 2. – С. 109–118.
14. *Левин Ф.И.* Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // *Агрохимия*. – 1977. – № 8. – С. 36–42.
15. *Шарков И.Н.* Абсорбционный метод определения эмиссии CO₂ из почв // *Методы исследований органического вещества почв*. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. – С. 401–407.
16. *Шарков И.Н.* Изучение минерализации и баланса органического вещества в почвах агроценозов // *Методы исследований органического вещества почв*. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. – С. 359–376.
17. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере. – Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2008. – 217 с.
18. *Козут Б.М.* Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах // *Почвоведение*. – 2003. – № 3. – С. 308–316.
19. *Шарков И.Г., Антипина П.В.* Некоторые аспекты углерод-секвестирующей способности пахотных почв // *Почвы и окружающая среда*. – 2022. – Т. 5, № 2. – e175. – DOI: 10.31251/pos.v5i2.175.
20. *Столбовой В.С.* Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата // *Достижения науки и техники АПК*. – 2020. – Т. 34, № 7. – С. 19–26. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10703.

REFERENCES

1. Sineshhekov V.E., *APK Rossii*, 2018, T. 25, No. 3, pp. 455–460. (In Russ.)
2. Abramov N.V., Semizorov S.A., Oksukbaeva A.M., *Zemledelie*, 2022, No. 3, pp. 32–36. (In Russ.)
3. Kirjushin V.I., Kirjushin S.V., *Agrotehnologii* (Agrotechnologies), Saint Petersburg: Lan', 2015, 464 p.
4. Ivanov A.L., Kulincev V.V., Dridiger V.K., Belobrov V.P., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2021, T. 35, No. 4, pp. 8–16. (In Russ.)
5. Kirjushin V.I., *Zemledelie*, 2018, No. 3, pp. 3–8. (In Russ.)
6. Hermle S., Anken T., Leifeld J., Weisskopf P., The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions, *Soil and Tillage Research*, 2008, Vol. 98, pp. 94–105, <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.10.010>.
7. Passianoto C.C., Ahrens T., Feigl B.J., Stuedler P.A., do Carmo J.B., Melillo J.M., Emissions of CO₂, N₂O, and NO in conventional and no-till management practices in Rondônia, Brazil, *Biol. Fertil. Soils*, 2003, Vol. 38, pp. 200–208, <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0653-y>.

8. Sineshhekov V.E., Tkachenko G.I., *Vestnik NGAU*, 2019, No. 3 (52), pp. 59–66. (In Russ.)
9. Gluhih M.A., *Cherez opyt – v nauku* (Through experience to science) Proceedings of the regional scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of T.S. Maltsev, Kurgan: Zauralie, 1995, pp. 70–73. (In Russ.)
10. Sharkov I.N., Samohvalova L.M., Mishina P.V., *Pochvovedenie*, 2016, No. 7, pp. 892–899. (In Russ.)
11. Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J., No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment, *Soil and Tillage Research*, 2012, Vol. 118, P. 66–87, <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>.
12. Gadzhiev I.M., Kurachev V.M., Shoba V.N., Dergacheva M.I., *Genezis, jevoljucija i geografija pochv Zapadnoj Sibiri* (Genesis, evolution and geography of soils in Western Siberia), Novosibirsk: Nauka, Sib. otd-nie, 1988, 223 p. (In Russ.)
13. Sharkov I.N., *Agrohimiya*, 1986, No. 2, pp. 109–118. (In Russ.)
14. Levin F.I., *Agrohimiya*, 1977, No. 8, pp. 36–42. (In Russ.)
15. Sharkov I.N., *Metody issledovanij organicheskogo veshhestva pochv* (Methods for studying soil organic matter), Moscow: Rosselhozakademia, GNU VNIPTIOU, 2005, pp. 401–407. (In Russ.)
16. Sharkov I.N., *Metody issledovanij organicheskogo veshhestva pochv* (Methods for studying soil organic matter), Moscow: Rosselhozakademia, GNU VNIPTIOU, 2005, pp. 359–376. (In Russ.)
17. Sorokin O.D., *Prikladnaja statistika na komp'jutere* (Applied statistics on the computer), Krasnoobsk, GUP RPO SO RAAS, 2008, 217 p. (In Russ.)
18. Kogut B.M., *Pochvovedenie*, 2003, No. 3, pp. 308–316. (In Russ.)
19. Sharkov I.G., Antipina P.V., *Pochvy i okruzhajushhaja sreda*, 2022, Vol. 5, No. 2, e175. (In Russ.)
20. Stolbovoj V.S., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2020, T. 34, No. 7, pp. 19–26. (In Russ.)