

УДК 631.417.1:631.153.3 (470.314)

**УПРАВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА  
В УСЛОВИЯХ ПОЧВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ  
ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЬЯ**

<sup>1,3</sup>Мазиров М.А., <sup>2,3</sup>Корчагин А.А., <sup>2</sup>Петросян Р.Д., <sup>2</sup>Зинченко С.И., <sup>3</sup>Соков М.Д.

<sup>1</sup>РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, e-mail: mazirov@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», Владимирская обл., п. Новый, e-mail: adm@vnish.elcom.ru;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: korchagina60@mail.ru

Среди основных подходов сбережения или увеличения запасов углерода в почвах на пахотных землях называют минимизацию обработок почвы, внесение органического вещества, применение корректирующих севооборотов с включением многолетних бобовых трав и сокращению периодов паров, объединение различных культур на одной и той же территории, а также агролесомелиорацию или строительство живых изгородей и лесных буферов в сельскохозяйственных ландшафтах. В статье приведены результаты исследований баланса органического углерода и урожайности многолетних трав 1 и 2 г.п., и овса на фоне без удобрений и с применением удобрений. Одним из ресурсов сбережения и накопления органического углерода является применение ресурсосберегающих безотвальных приемов обработки почвы. Баланс органического углерода, формирующийся под различными культурами севооборота, является одним из факторов регулирования содержания органического углерода в пахотных почвах. Почвенные разности различны между собой по морфологическим, водно-физическим, тепловым и другим свойствам и режимам, что определяет различия в балансе углерода и «пестроту» в формировании урожая сельскохозяйственных культур. Применение минеральных удобрений нивелирует различия между почвенными разностями по балансу углерода и урожайности многолетних трав 2 г.п. и овса. Более высокие показатели по содержанию углерода (1,55%) получены на серой лесной среднеподзоленной почве со вторым гумусовым горизонтом, самое низкое (1,14%) на серой лесной почве. Пестрота почвенного покрова вызывает различия в балансе углерода. Более высокие показатели (0,97 т/га) получены на серой лесной среднеподзоленной почве со вторым гумусовым горизонтом, меньшие (0,63 т/га) на серой лесной почве.

**Ключевые слова:** баланс углерода, почвенная неоднородность, урожайность, многолетние травы, овес

**MANAGEMENT OF THE ORGANIC CARBON CONTENT IN THE CONDITIONS  
OF SOIL HETEROGENEITY OF VLADIMIR OPOLE**

<sup>1,3</sup>Mazirov M.A., <sup>2,3</sup>Korchagin A.A., <sup>2</sup>Petrosyan R.D., <sup>2</sup>Zinchenko S.I., <sup>3</sup>Sokov M.D.

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,

Moscow, e-mail: mazirov@mail.ru;

<sup>2</sup>Upper Volga federal Agricultural Scientific Center, Vladimir region, Novy, e-mail: adm@vnish.elcom.ru;

<sup>3</sup>Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: korchagina60@mail.ru

Minimizing of the soil treatment, application of organic substances, application of corrective rotations with inclusion of perennial legumes and reduction periods of the leas, combining the different cultures on the same territory and the agroforestry or the construction of hedges and forest buffers in agricultural landscapes are among the main approaches to preserving and increasing carbon stocks in soils and biomass on arable land. The article presents the studies' results of the organic carbon balance and the yield of perennial grasses of the 1st and 2d year of use, and oat crop capacity without fertilizers and with the use of fertilizers. One of the resources for the conservation and accumulation of organic carbon is the use of resource-saving soilless tillage techniques. The balance of organic carbon formed under different crops is one of the factors in the regulation of organic carbon content in arable soils. Soil differences are vary by morphological, water-physical, thermal and other properties and regimes, which determines the differences in the balance of carbon and «variety» in the formation of crop yields. The use of fertilizers eliminates the differences between soil differences in carbon balance and productivity of perennial grasses of the 2 year of use and crop capacity of oat. Higher carbon content (1,55%) was obtained on gray forest medium podzolized soil with a second humus horizon, the lowest (1,14%) – on gray forest soil. The variegation of soil cover causes differences in carbon balance. Higher rates (0,97 t / ha) were obtained on gray forest medium podzolized soil with a second humus horizon, lower (0,63 t / ha) – on gray forest soil.

**Keywords:** carbon balance, soil heterogeneity, productivity, perennial grasses, oat capacity

Содержание углерода в пахотных почвах – один из главных показателей их плодородия. Общеизвестно, что экстенсивное сельскохозяйственное производство приводит к снижению содержания углерода и обуславливает снижение запасов питательных веществ, ухудшает водный режим, эрози-

онную устойчивость почв и др. Увеличение запасов углерода является первостепенной задачей при переходе к углерод восстановительному и углерод сберегающему земледелию, а также важнейшим условием устойчивого сельскохозяйственного производства [1].

Отечественная практика сельскохозяйственного производства накопила большой опыт по регулированию содержания органического вещества (ОВ) в пахотных почвах. Наиболее заметными подходами являются улучшение управления пахотными землями, включая восстановление деградированных земель и создание высокопродуктивных почв [2].

Среди основных подходов сбережения или увеличения запасов углерода в почвах на пахотных землях называют минимизацию обработок почвы, внесение органического вещества, применение корректирующих севооборотов с включением многолетних бобовых трав и сокращением периодов паров, объединение различных культур на одной и той же территории, а также агролесомелиорацию или строительство живых изгородей и лесных буферов в сельскохозяйственных ландшафтах [3]. Современные методы сельскохозяйственного мониторинга плодородия почв, земель сельскохозяйственного назначения анализируют среднюю величину изменчивости содержания углерода под действием различных доз удобрений и систем обработки почвы. Практические рекомендации, построенные на использовании средних величин запасов углерода, приводят к неодновременному развитию и созреванию урожая, неэффективному расходованию средств химизации, механизации и др.

Цель исследования: изучить возможности управления накоплением органического углерода в условиях почвенной неоднородности серых лесных пахотных почв.

#### Материалы и методы исследования

Исследования провели в многолетнем стационарном опыте, заложенном в 1996 г. в четвертой ротации шестипольного севооборота:

- 1) овес + многолетние травы;
- 2) многолетние травы 1 г.п.;
- 3) многолетние травы 2 г.п.;
- 4) ячмень;
- 5) черный пар;
- 6) озимая пшеница на овсе и многолетних травах 1 и 2 г.п. в 2015–2017 гг.

Овес возделывали без внесения минеральных удобрений и с внесением минеральных удобрений под предпосевную культивацию в дозе  $N_{30}P_{30}K_{30}$ . На многолетних травах 1 г.п. удобрения не вносили, на травах 2 г.п. вносили азотную подкормку в дозе  $N_{40}$ .

Исследования провели на четырёх системах основной обработки почвы:

1) общепринятой отвальной, включающую ежегодную вспашку плугом ПЛН-5-35 на 20–22 см под все культуры;

2) комбинированно-энергосберегающей, включающей мелкую безотвальную обработку КПС-4 на 10–12 см под овес, черный пар, озимую пшеницу и вспашку плугом ПЛН-5-35 на 20–22 см многолетних трав 2 г.п.;

3) комбинированно-ярусной, включающей мелкую безотвальную обработку КПС-4 на 10–12 см под овес, черный пар, ярусную вспашку плугом ПЯ – 3-35 на 25–27 см многолетних трав 2 г.п. и вспашку плугом ПЛН-5-35 на 20–22 см под озимую пшеницу;

4) противозероизионной, включающей глубокую безотвальную обработку КПГ-250 на 25–27 см под овес, черный пар и озимую пшеницу, вспашку плугом ПЛН-5-35 на 20–22 см многолетних трав 2 г.п.

Почвенное обследование полевого опыта осуществлялось по регулярной сетке с шагом 7 м (всего 120 точек опробования).

Во всех точках отбирались образцы из пахотного и подпахотного горизонтов, с глубин 0–20 и 20–40 см.

Опыт закладывался в четырехкратной повторности. Площадь делянки 140 м<sup>2</sup>, учетная площадь 21 м<sup>2</sup>.

Почвы Владимирского ополья представляют собой контрастные почвенные комплексы, представленные типичными серыми лесными почвами разной степени оподзоленности и серыми лесными со вторым гумусовым горизонтом. Генезис этих почв происходил в разных условиях. Серые лесные типичные почвы формировались в условиях микроповышений, а серые лесные со вторым гумусовым горизонтом – в условиях микропонижений и высокого уровня увлажнения.

Характерной чертой почвенного покрова является полигонально-блочный микрорельеф [4]. Однако в результате длительного сельскохозяйственного использования микрорельеф был выровнен, тем не менее он четко виден на аэрофото снимках (рис. 1).

Комплексность почвенного покрова особенно заметна, когда почва сильно увлажнена и почвы со вторым гумусовым горизонтом, содержащие больше гумуса, окрашены в более темные тона.

Комплексность почвенного покрова хорошо видна на почвенной карте, где на участке площадью 3 га представлено 6 почвенных разностей (рис. 2).

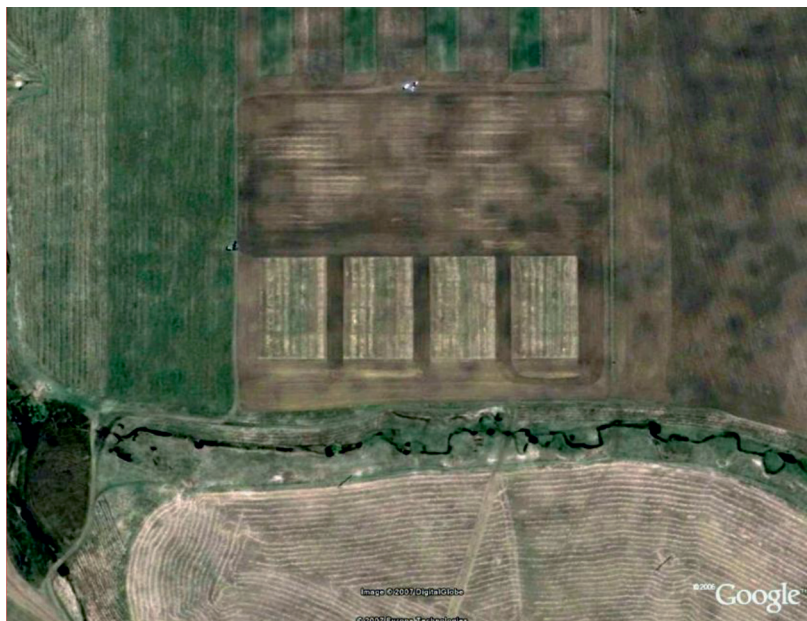


Рис. 1. Фотография опытного стационара (аэрофотосъемка). На пашне (на фото справа) ясно выделяются серые лесные почвы и почвы со вторым гумусовым горизонтом

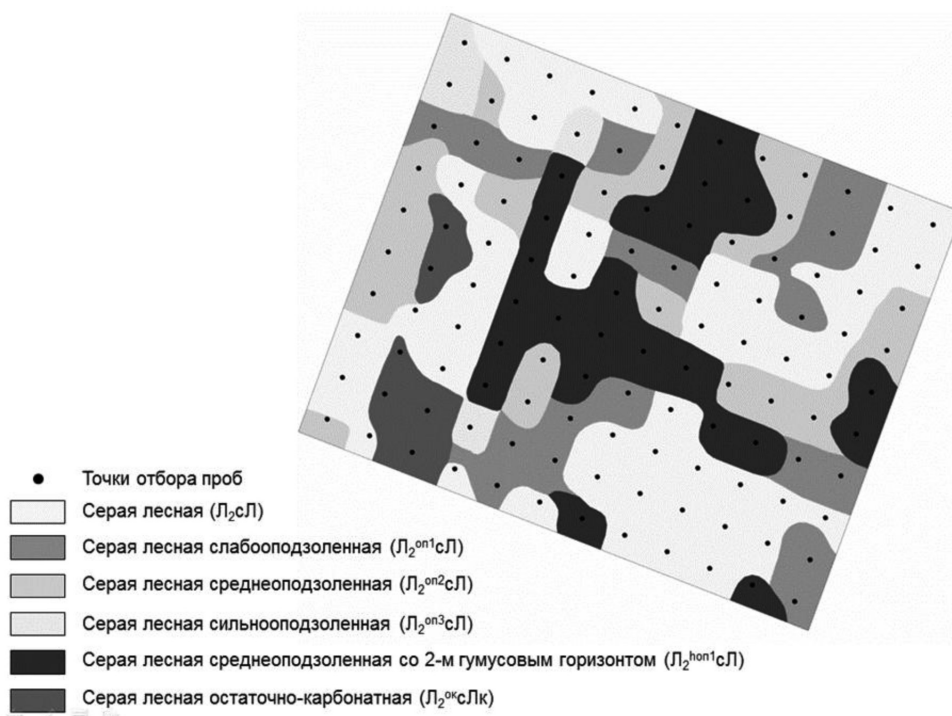


Рис. 2. Почвенная карта опытного стационара (М. 1:2000)

На основе данных урожайности культур рассчитывался баланс ОВ в почве (в пересчете на углерод по И.В. Тюрину). Баланс ОВ рассчитывался на основе методических указаний [5].

Большую часть площади опытного участка занимают серые лесные неоподзоленные почвы и различной степени оподзоленности. Около 21 % территории участка – серые лесные среднеоподзоленные почвы



со вторым гумусовым горизонтом. Сильно оподзоленная и остаточно-карбонатная почвы занимают фрагментарное распространение площадью менее 5%, поэтому в дальнейших расчетах не учитывались.

Почвенные разности различны между собой по морфологическим, водно-физическим, тепловым и другим свойствам и режимам, что определяет различия в балансе углерода и «пестроту» в формировании урожая сельскохозяйственных культур [6].

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследования показали, что на содержание углерода достоверное влияние оказывают системы обработки почвы. На глубине 10 см большее содержание углерода наблюдается на глубокой (2,09%) и мелкой безотвальной обработках (2,03%), меньшее – на вспашке (1,68%) (табл. 1).

На глубине 40 см различия выравниваются, однако большее содержание отмечается при глубокой обработке – 0,80%. Данный факт можно объяснить в первом случае накоплением растительных остатков и их гумификацией в верхнем слое при ежегодных безотвальных обработках, во втором – более глубоким проникновением корневой системы и их гумификацией при глубокой обработке.

**Таблица 1**  
Влияние систем обработки почвы на содержание углерода (%) (2017 г.)

Система обработки почвы	Глубина, см	
	10	40
Общепринятая вспашка	1,68	0,62
Комбинированно-энергосберегающая	2,03	0,53
Комбинированно-ярусная	1,83	0,44
Противоэрозионная	2,09	0,80

Примечание.  $НСР_{05} = 0,31\%$ .

Таким образом одним из ресурсов сбережения углерода является применение ресурсосберегающих безотвальных приемов обработки почвы.

Содержание углерода существенно различается по почвенным разностям. Более высокое содержание углерода в пахотном слое (1,55%) отмечено на среднеоподзоленной почве со вторым гумусовым горизонтом и среднеоподзоленной (1,53%), меньшее (1,14%) – на серой лесной почве.

Баланс углерода под многолетними травами 1 года варьировал в пределах (0,63–0,97 т/га) (табл. 2).

Полученные величины обусловлены высокими значениями приходных статей баланса углерода: гумификации корневых остатков (1,10–1,76 т/га), гумификации пожнивных остатков (0,15–0,22 т/га). Также выявлены относительно небольшие статьи расхода при минерализации ОВ, что составляло от 0,62 до 1,04 т/га, которые полностью компенсировались за счет приходных статей баланса углерода. Почвенная неоднородность оказала влияние на формирование баланса углерода. Наибольшие значения баланса углерода отмечены на почве со вторым гумусовым горизонтом – 0,97 т/га, наименьшие – на серой лесной почве – 0,63 т/га.

В варианте без удобрений основное влияние на урожайность трав оказали почвенные разности. Более высокая урожайность трав получена на почве со вторым гумусовым горизонтом – 64 т/га и среднеоподзоленной почве – 60 т/га. Достоверное снижение урожайности получено на серой лесной – 35 т/га и слабооподзоленной почвах – 48 т/га (при  $НСР_{05} = 8,2$  т/га).

На травах 2 г. п. азотная подкормка выравнивает влияние почвенных разностей на приходные статьи баланса углерода: гумификация корневых остатков составила 2,34 – 2,44 т/га, гумификация пожнивных остатков – от 0,25 до 0,26 т/га. Однако за счет более высоких статей прихода пожнивных и корневых остатков баланс углерода был существенно выше, чем на травах 1 г.п. (1,77–1,83 т/га). При этом различия в урожайности между почвенными разностями были незначительны и варьировали от 85 до 89 т/га (при  $НСР_{05} = 7,4$  т/га).

Баланс углерода под овсом на нулевом фоне был отрицательным и составил от –0,30 т/га до –0,52 т/га. Урожайность по почвенным разностям варьировала незначительно (от 2,72 до 3,06 т/га), однако отмечена тенденция увеличения урожайности на почве со вторым гумусовым горизонтом (3,06 т/га).

Баланс углерода под овсом с применением минеральных удобрений также был отрицательным, но дефицит углерода был меньше от –0,05 т/га до –0,11 т/га, за счет более высоких приходных статей баланса. Возрастает и урожайность овса до 3,37–3,77 т/га (при  $НСР_{0,5} = 0,48$  т/га), что на 0,67 т/га выше, чем без применения удобрений, но различия по почвенным разностям также незначительны.

Таблица 2

Влияние почвенных разностей и удобрений на урожайность культур  
и баланс органического углерода (2015–2017 гг.)

Почвы	Урожайность, т/га	Баланс, т/га	Минерализация ОВ, т/га	Гумификация пожнивных остатков, т/га	Гумификация корневых остатков, т/га	Гумификация соломы, т/га
Многолетние травы 1 г. п.						
Л2сЛ*	35	0,63	0,62	0,15	1,10	–
Л2оп1сЛ	48	0,74	0,84	0,17	1,41	–
Л2оп2сЛ	60	0,87	1,04	0,20	1,71	–
Л2hop2сЛ	64	0,97	1,01	0,22	1,76	–
НСР05	8,2					–
Многолетние травы 2 г. п. с внесением N40						
Л2сЛ	88	1,83	0,84	0,26	2,41	–
Л2оп1сЛ	89	1,77	0,93	0,26	2,44	–
Л2оп2сЛ	85	1,78	0,81	0,25	2,34	–
Л2hop2сЛ	85	1,78	0,81	0,25	2,34	–
НСР05	7,4					–
Овес без внесения удобрений						
Л2сЛ	2,72	–0,41	1,10	0,11	0,20	0,38
Л2оп1сЛ	2,97	–0,52	1,24	0,11	0,21	0,40
Л2оп2сЛ	2,92	–0,30	0,94	0,10	0,19	0,35
Л2hop2сЛ	3,06	–0,52	1,24	0,11	0,21	0,40
НСР05	0,39					
Овес с внесением N30P30K30						
Л2сЛ	3,27	–0,11	0,91	0,12	0,22	0,46
Л2оп1сЛ	3,37	–0,05	0,82	0,12	0,22	0,43
Л2оп2сЛ	3,62	–0,10	0,88	0,12	0,22	0,44
Л2hop2сЛ	3,60	–0,09	0,87	0,12	0,22	0,44
НСР05	0,48					

Примечание. \*Название почвенных разностей представлено на рис. 1.

### Выводы

1) Одним из ресурсов сбережения и накопления органического углерода является применение ресурсосберегающих безотвальных приемов обработки почвы.

2) Почвенные разности существенно различаются по содержанию органического углерода. Более высокое содержание углерода в пахотном слое (1,55%) отмечено на среднеподзоленной почве со вторым гумусовым горизонтом и среднеподзоленной (1,53%), меньшее (1,14%) – на серой лесной почве.

3) Возделывание многолетних трав 1 и 2 г.п. в севообороте обеспечивает положительный баланс углерода (0,63–1,83 т/га).

4) Неоднородность почвенного покрова без применения удобрений приводит к пестроте урожайности многолетних трав 1 г.п.: более высокая урожайность получена на почвах со вторым гумусовым горизонтом – 64 т/га, меньшая (35 т/га) – на серых лесных почвах.

5) Применение минеральных удобрений нивелирует различия между почвенными разностями по балансу углерода и урожайности многолетних трав 2 г.п.

6) Возделывание овса без применения минеральных удобрений приводит к отрицательному балансу углерода (от –0,30 до –0,52 т/га). Почвенные разности не оказали достоверного влияния на варьирование урожайности (2,72–3,06 т/га).

7) Внесение минеральных удобрений снижает дефицит углерода (от –0,05 до –0,11 т/га) и существенно увеличивает урожайность (до 3,27–3,62 т/га).

### Список литературы / References

1. Climate-Smart Agriculture Sourcebook. FAO. Italy. Rome, 2013. 570 с.
2. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 238 с.  
Semenov V.M., Kogut B.M. Soil organic matter. M.: GEOS, 2015. 238 p. (in Russian).
3. Banwart S., Noellemeyer E., Milne E. Soil Carbon: Science, management and policy for multiple benefits. Series 71. Wallingford, 2015. 391 p.

4. Величко А.А., Морозова Т.Д., Нечаев В.П., Порожнякова О.М. Позднеплейстоценовый криогенез и современное почвообразование в зоне южной тайги (на примере Владимирского ополья) // Почвоведение. 1996. № 6. С. 1056–1064.

Velichko A.A., Morozova T.D., Nechaev V.P., Porozhnyakova O.M. late Pleistocene cryogenesis and modern soil formation in the southern taiga zone (on the example of the Vladimir Opole) // Pochvovedenie. 1996. № 6. P. 1056–1064 (in Russian).

5. Титова В.И. Баланс гумуса в земледелии (учебно-методическое пособие). Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2017. 24 с.

Titov V.I. Balance of humus in agriculture (training manual). Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod state agricultural Academy, 2017. 24 p. (in Russian).

6. Шейн Е.В., Кирюшин В.И., Корчагин А.А., Мазиров М.А., Дембовецкий А.В., Ильин Л.И. Оценка агрономической совместимости и однородности почвенного покрова на серых лесных почвах Владимирского Ополья // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1208–1216. DOI: 10.7868/S0032180X17100112.

Shein E.V., Kiryushin V.I., Korchagin A.A., Mazirov M.A., Dembovetskii A.V., Il'in L.I. Assessment of Agronomic Homogeneity and Compatibility of Soils in the Vladimir Opole Region // Eurasian Soil Science. 2017. Vol. 50. № 10. P. 1166–1172. DOI: 10.1134/S1064229317100118.