

УДК 631.8:631.417.1(470.314)

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В РЕГУЛИРОВАНИИ БАЛАНСА УГЛЕРОДА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЯ**Петросян Р.Д., Окорков В.В.***ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», Новый, Владимирская обл., e-mail: petrosyan_rafael@mail.ru*

На основе расчетного баланса приведены результаты исследований возможности накопления органического углерода в серых лесных почвах Владимирского ополя. Использовали данные по влиянию различных систем удобрения на урожайность ячменя и яровой пшеницы, вынос ими азота основной и побочной продукцией, который определял размеры минерализации органического вещества почвы при возделывании сельскохозяйственных культур. В приходной части баланса углерода установлены размеры гумификации пожнивных и корневых остатков, соломы и органических удобрений. Выявлено, что применение $N_{30}P_{30}K_{30}$ под ячмень по сравнению с контролем позволяло снизить размеры отрицательного баланса углерода с $-0,80$ до $-0,02$ т/га. Дальнейший рост доз NPK до $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ обеспечивал положительный баланс органического вещества серых лесных почв. В 1-й год при внесении органических удобрений (40 т/га навоза) под яровую пшеницу расчетное накопление органического углерода составило 1,08 т/га, при сочетании с N_{40-60} – 1,41 т/га. За две ротации 7- и 8-польных зерноотрава и зерноотрава-пропашного севооборотов одни минеральные удобрения в дозах ($N_{43-48}P_{34-42}K_{34-42}$) и одни органические удобрения в дозе 40 т/га навоза за севооборот не обеспечивали положительный баланс гумуса. При двойной дозе NPK сочетании органических удобрений (40, 60 и 80 т/га за севооборот) с одинарной дозой NPK наблюдали положительный баланс гумуса. Органоминеральные системы удобрения являются наиболее эффективными в аккумуляции гумуса в серых лесных почвах Ополя. В выполнении международных обязательств по сокращению выбросов углекислого газа в атмосферу ключевая роль должна отводиться почвам.

Ключевые слова: почвенный органический углерод, изменение климата, Парижское климатическое соглашение, баланс углерода, удобрения

THE INFLUENCE OF FERTILIZER SYSTEMS IN REGULATING THE CARBON BALANCE OF THE GRAY FOREST SOILS OF VLADIMIR OPOLYE**Petrosyan R.D., Okorkov V.V.***Federal State Budgetary Institution «Upper Volga Federal Agrarian Scientific Center», Novyy, Vladimir region, e-mail: petrosyan_rafael@mail.ru*

Taking into account the calculated balance the studies' results of the of accumulation of organic carbon possibility in the gray forest soils of Vladimir Opole are presented. The data on the effect of various fertilizer systems on the yield of barley and spring wheat, the removal of nitrogen by their main and secondary products, which determined the size of mineralization of soil organic matter in the cultivation of crops were used. The size of humification of crop and root residues, straw and organic fertilizers has been established in the input part of the carbon balance. It was found that the use of fertilizer $N_{30}P_{30}K_{30}$ for barley compared with the control allowed to reduce the size of the negative carbon balance from -0.80 to -0.02 t/ha. Further increase in the dose of NPK to $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ provided a positive balance of organic matter of gray forest soils. In the 1st year, when organic fertilizers were applied (40 t / ha manure) for spring wheat, the calculated accumulation of organic carbon was 1.08 t / ha, when combined with N_{40-60} – 1.41 t / ha. For two rotations of 7- and 8-field grain-grass and grain-grass-tilled crop rotations, some mineral fertilizers in doses ($N_{43-48}P_{34-42}K_{34-42}$) and only organic fertilizers in a dose of 40 t / ha of manure per crop rotation did not provide a positive humus balance. At a double dose of NPK, a combination of organic fertilizers (40, 60 and 80 t/ha per crop rotation) with a single dose of NPK, a positive humus balance was observed. Organic-mineral fertilizer systems are the most effective in the accumulation of humus in the gray forest soils of the Opole. Soil should play a key role in meeting international commitments to reduce carbon dioxide emissions into the atmosphere.

Keywords: soil organic carbon, climate change, Paris climate agreement, carbon balance, fertilizers

Основным критерием повышения плодородия почв и производства сельскохозяйственной продукции является сохранение и увеличение запасов почвенного органического углерода. Для достижения этого необходим переход к углерод-сберегающему и углерод-восстановительному земледелию. Этим обеспечивается и смягчение изменений климата за счет уменьшения концентрации парниковых газов в атмосфере.

Международная и отечественная практика сельскохозяйственного производства накопила огромный опыт по регулированию в почвах содержания органического углерода [1–4]. Среди основных мероприятий предлагают: минимизацию обработок почвы, внесение органических удобрений, сокращение паров, применение севооборотов с возделыванием многолетних трав, а также агролесомелиорацию или строительство живых изгородей и буферных лесных полос.

Перечисленные подходы по сохранению и увеличению содержания органического углерода в пахотных почвах могут выступать в качестве ближайшей задачи международной инициативы «4 промилле» по смягчению изменений климата в России [5].

На пахотных серых лесных почвах Нечерноземья ежегодная минерализация органического вещества под различными группами сельскохозяйственных культур, рассчитанная на основании выноса ими почвенного азота и скорректированная данными отечественных и зарубежных длительных опытов, составляет (т/га): под зерновыми культурами 0,5–1,0, пропашными 1,5–2,5, чистым паром 2–3,5. Однако эти усредненные данные не учитывают генетических особенностей серых лесных почв Владимирского ополья и влияния применяемых удобрений, погодных условий.

Цель исследования: оценить возможность управления балансом органического углерода пахотных серых лесных почв путем оптимизации систем удобрения.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования были взяты длительные стационарные полевые опыты, заложенные на серой лесной почве Владимирского ополья на территории Владимирского НИИСХ. В геоморфологическом отношении Ополье представляет собой средневысотную междуречную равнину, перекрытую чехлом лессовидных суглинков, расчлененную густой овражно-балочной сетью. Территория характеризуется умеренно теплым летом, умеренно-холодной зимой и хорошо выраженными осенними и весенними сезонами.

Исследуемый полевой опыт (агроландшафт), заложенный в 1996 г., обладает высоким производственно-технологическим разнообразием (рисунок). Варианты опыта различаются системами обработки почвы (4) и удобрения (4), культурами разного уровня интенсификации 6-польных севооборотов.

Сбор данных выполнялся по регулярной сетке с шагом 7 м. Содержание углерода в слое 0–20 см почвы определяли по методу И.В. Тюрина. Урожайность учитывалась парцеллярным способом (по 3 парцеллы с 1 м² на пробной площадке) на ячмене и яровой пшенице.

В опыте изучали 4 уровня применения минеральных удобрений:

1) нулевой (экстенсивный) – без минеральных удобрений;

2) поддерживающий (нормальный) – $N_{30}P_{30}K_{30}$;

3) интенсивный – $N_{60}P_{60}K_{60}$;

4) высокоинтенсивный – $N_{90}P_{90}K_{90}$.

В схеме опыта было предусмотрено применение различных доз органических удобрений (подстилочный навоз в дозах 40, 60 и 80 т/га за севооборот). Нами оценено применение 40 т/га навоза за севооборот.

На основе данных по урожайности культур рассчитывался баланс органического вещества в почве (в пересчете на углерод). Он выполнялся по методике, предложенной в работах [6]. Детализация приходно-расходных статей баланса сделана на основе рекомендаций Крылатова и др. (1998) [6]. Расчеты выполнены при возделывании культур на серой лесной почве на фоне отвальной (общепринятой) обработки почвы.

В другом стационарном полевом опыте, заложенном в 1991–1993 гг. [7], также изучали влияние различных систем удобрения на изменение гумусового состояния серых лесных почв Ополья. При этом содержание и изменение гумуса оценивали непосредственным определением по методу И.В. Тюрина.

В 1-й ротации 8-польного зернотравно-пропашного севооборота провели известкование по полной гидролитической кислотности (5 т/га известняковой муки). Во 2-й и 3-й ротациях изучали последствие известкования.

Результаты исследования и их обсуждение

Баланс углерода под ячменем варьировал от –0,80 до 0,05 т/га. Отрицательный баланс углерода (–0,80 т/га) отмечен на нулевом фоне применения минеральных удобрений (табл. 1). Его значения определялись незначительными размерами приходных статей баланса, включая относительно небольшое накопление углерода за счет гумификации корневых остатков (0,32 т/га) и поступающих пожнивных остатков (0,11 т/га). За счет измельченной и разбрасываемой соломы накопление углерода составило (0,67 т/га). На фоне перечисленных низких показателей приходных статей баланса углерода выявлены высокие размеры минерализации органического вещества почвы (1,90 т/га углерода). Они вызваны высокой урожайностью ячменя (5,45 т/га зерна), в несколько раз превышающей среднюю урожайность по стране, при отсутствии внесения минеральных удобрений, в первую очередь азотных.

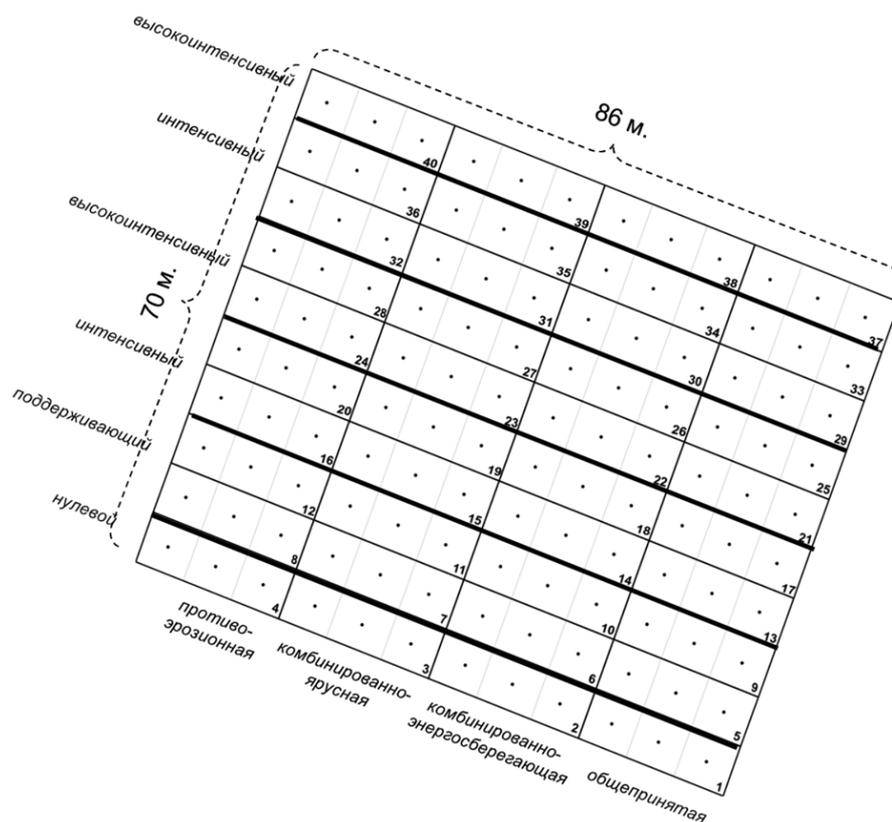


Схема 1-й повторности стационарного полевого опыта

Баланс углерода с применением минеральных удобрений $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$ колебался в пределах нулевых значений (от $-0,02$ до $0,05$ т/га). Приходные статьи баланса также особо не различались между собой. Накопление углерода варьировало за счет гумификации корневых остатков в пределах ($0,32-0,34$ т/га), пожнивных остатков ($-0,1-0,12$ т/га) и гумификации соломы ($-0,65-0,71$ т/га). Значения минерализации органического вещества почвы значительно уменьшились (на 40%) в сравнении с нулевым фоном применения удобрений и варьировали в пределах ($1,04-1,13$ т/га), что объясняет важную роль применения минеральных азотных удобрений в достижении нулевого положительного баланса углерода в почве. Основная роль минеральных удобрений заключалась в снижении размеров минерализации органического вещества почвы при формировании урожая сельскохозяйственных культур. Также выявлено оптимальное количество применяемых минеральных удобрений на поддерживающем фоне ($N_{30}P_{30}K_{30}$), при котором сохраняются высокие значения уро-

жая культуры ячменя ($5,27$ т/га) и нулевой баланс углерода.

Стоит отметить, что с увеличением доз применяемых минеральных удобрений не наблюдали значительных изменений в количестве накапливаемого углерода за счет гумификации растительных остатков (корневые и пожнивные остатки, солома).

Баланс углерода под яровой пшеницей, идущей по унавоженному черному пару (40 т/га), колебался от $1,08$ до $1,41$ т/га. Приходные статьи баланса углерода в зависимости от применяемых систем удобрения значительно не различались между собой. Они составляли: гумификация корневых остатков ($0,19-0,21$ т/га), пожнивных остатков ($0,08-0,09$ т/га), соломы ($0,32-0,35$ т/га).

Значения минерализации органического вещества без применения удобрений составили $0,94$ т/га углерода, что значительно выше (на 30%), чем при их внесении ($0,60-0,68$ т/га С). Снижение урожайности яровой пшеницы по сравнению с ячменем с $5,45$ до $1,93$ т/га зерна уменьшило размеры минерализации органического вещества почвы (с $1,90$ до $0,94$ т/га С). Под яровую пшеницу

было внесено 40 т/га подстильного навоза, что обеспечивало накопление 1,4 т/га углерода. В итоге баланс углерода в этом варианте составил 1,08 т/га.

На поддерживающем фоне применения удобрений внесение 40 т/га с N₄₀ аммиачной селитры привело к значительному снижению минерализации органического вещества почвы (с 0,94 до 0,60 т/га углерода), обеспечив положительно баланс углерода (1,41 т/га).

На высокоинтенсивных фонах при внесении минеральных удобрений в дозах N₉₀P₉₀K₉₀ и N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ произошло существенное увеличение урожайности зерна яровой пшеницы (с 1,93 до 2,53 т/га). Минерализация органического вещества почвы снизилась с 0,94 до 0,63 т/га углерода. Однако без внесения органических удобрений баланс углерода в опыте был близок к нулевому (0,01–0,04 т/га).

В пахотном слое серой лесной почвы 0–20 см запасы углерода варьировали от 39,2 до 42,7 т/га, что свидетельствует о высоком потенциальном плодородии этих почв. На-

блюдается тенденция их увеличения при органо-минеральных системах удобрения.

Полученные расчетные данные баланса углерода органического вещества подтверждаются результатами исследований в длительном полевом стационарном опыте Владимирского НИИСХ (ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ») [7–9]. В нем влияние различных систем удобрения за 15-летний период наблюдений на состояние гумуса изучали непосредственным его определением (табл. 2).

Видно, что без применения минеральных удобрений в период относительной стабилизации органического вещества его содержание в пахотном слое 0–20 см за 15 лет уменьшилось на 0,180% (4,68 т/га гумуса) или 2,72 т/га углерода. Объемная масса серой лесной почвы 1,30 г/см³. Фосфорно-калийное удобрение P₃₄₋₄₂K₃₄₋₄₂ уменьшало размеры снижения гумуса на 27,8, а полное минеральное удобрение (N₄₃₋₄₈P₃₄₋₄₂K₃₄₋₄₂) – на 69,4% (до –0,055%). При использовании двойной дозы NPK баланс гумуса был близок к нулевому значению.

Таблица 1

Эффективность влияния удобрений на структуры баланса углерода

Урожай зерна, т/га	Удобрения	Баланс углерода, т/га	Минерализация, т/га	Запасы углерода, т/га	Гумификация пожнивных остатков, т/га	Гумификация корневых остатков, т/га	Гумификация соломы, т/га
Почва – серая лесная, культура – ячмень, обработка почвы – отвальная							
5,45	–	–0,80	1,90	Не опр.	0,11	0,32	0,67
5,27	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–0,02	1,10		0,11	0,32	0,65
5,89	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,04	1,13		0,12	0,34	0,71
5,44	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,05	1,04		0,11	0,32	0,66
Почва – серая лесная, культура – яровая пшеница, обработка почвы – отвальная							
1,93	Навоз 40 т.	1,08	0,94	41,4	0,08	0,19	0,35
2,06	Навоз 40 т. + N ₄₀	1,41	0,60	42,7	0,08	0,20	0,33
2,27	Навоз 40 т. + N ₆₀	1,41	0,61	42,1	0,09	0,21	0,32
2,35	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,04	0,63	39,5	0,09	0,22	0,36
2,53	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,01	0,68	39,2	0,09	0,23	0,37

Таблица 2

Изменение содержания ОВ в 2013–2014 гг. по сравнению с 1998–1999 гг. на фоне последствий известкования, % (поля 1 и 2, ячмень) [8]

Доза навоза за севооборот, т/га	Минеральные удобрения				Среднее по органическим удобрениям, НСР ₀₅ = 0,020%
	0	PK	NPK	2NPK	
0	–0,180	–0,130	–0,055	0,020	–0,086
40	–0,080	–0,080	0,050	0,080	–0,008
60	–0,015	–0,005	0,070	0,110	0,040
80	0,065	0,070	0,100	0,120	0,089
Среднее по минеральным удобрениям, НСР ₀₅ = 0,020%	–0,052	–0,036	0,041	0,082	

Применение 40 т/га подстилочного навоза за ротацию севооборота и сочетание его с фосфорно-калийными удобрениями не обеспечивало положительный баланс гумуса. Лишь при сочетании 40 т/га навоза за ротацию с применением одинарной и двойной доз полного минерального удобрения наблюдали положительный баланс органического вещества (0,050–0,080 % гумуса).

Близкий к нулевому значению баланс органического вещества и углерода получен при использовании 60 т/га подстилочного навоза за ротацию севооборота и сочетания его с фосфорно-калийными удобрениями (снижение содержания гумуса от –0,015 до –0,005 % от исходного). Применение за ротацию 80 т/га подстилочного навоза увеличивало содержание гумуса на 0,065 % от исходной величины, а сочетания 60 и 80 т/га его с одинарной и двойной дозами полного минерального удобрения – на 0,070–0,120 % (или на 1,06–1,81 т/га С).

На фоне внесения 4-х доз органических удобрений (0, 40, 60 и 80 т/га за ротацию 7- и 8-польных севооборотов) применение одинарной дозы NPK обеспечивало положительный баланс гумуса 0,041 %, а двойной дозы NPK – на 0,082 %. На фоне применения 4-х доз минеральных удобрений (0, PK, NPK и 2NPK) подстилочный навоз в дозах 60 и 80 т/га увеличивал содержание гумуса соответственно на 0,040 и 0,089 % от исходного значения.

В отношении сохранения и повышения содержания органического углерода и повышения окупаемости элементов питания удобрений [7] наиболее эффективны органоминеральные системы удобрения при сочетании одинарной дозы NPK ($N_{43-48}P_{34-42}K_{34-42}$) с 40–80 т/га подстилочного навоза за ротацию 7- и 8-польных зерноотрубных и зерноотрубно-пропашных севооборотов.

Выводы

В многолетнем стационарном опыте изучено влияние систем удобрения на приходные и расходные статьи баланса углерода в серых лесных почвах Владимирского ополья. На контроле (без применения удобрений) под ячменем установлен отрицательный баланс углерода. Он обусловлен высокой минерализацией органического вещества почвы (1,90 т/га С) при получении урожая зерна ячменя 5,45 т/га. Применение полного минерального удобрения под ячмень в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ по сравнению с контролем позволяло снизить разме-

ры отрицательного баланса углерода с –0,80 до –0,02 т/га. Дальнейший рост доз NPK до $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ обеспечивал положительный расчетный баланс органического вещества серых лесных почв.

В первый год при внесении органических удобрений в дозе 40 т/га навоза под яровую пшеницу расчетное накопление углерода органического вещества составило 1,08 т/га, при сочетании их с N_{40-60} – до 1,41 т/га.

За две ротации 7- и 8-польных зерноотрубных и зерноотрубно-пропашных севооборотов одни минеральные удобрения в дозах ($N_{43-48}P_{34-42}K_{34-42}$) и одни органические удобрения в дозе 40 т/га навоза за севооборот не обеспечивали положительный баланс гумуса. При двойной дозе NPK, сочетании органических удобрений (40, 60 и 80 т/га за севооборот) с одинарной дозой NPK наблюдали положительный баланс углерода. Органоминеральные системы удобрения являются наиболее эффективными в накоплении органического вещества в серых лесных почвах Ополя.

Список литературы / References

- Bernoux M., Paustian, K. Climate Change Mitigation. In: Banwart, S.A., Noellemeyer, E., Milne, E., eds. Soil Carbon: Science, management and policy for multiple benefits. SCOPE Series 71. CABI, Wallingford, UK. 2015. P. 224–234.
- Stolbovoy V., Carbon in agricultural soils of Russia. 2002. pp. 301–306. In Smith, C.A.S. (ed.) Soil Organic Carbon and Agriculture: Developing Indicators for Policy Analyses. Proceedings of an OECD expert meeting, Ottawa Canada. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa and Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. 329 p.
- Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 223 с.
- Semenov V.M., Kogut B.M., Soil organic matter. М.: GEOS, 2015. 223 p. (in Russian).
- Столбовой В.С. Почвенные ресурсы России – современные вызовы: материалы научной конференции XXI Докучаевские молодежные чтения «Почвоведение – мост между науками». Санкт-Петербург, 2018. С. 24–41.
- Stolbovoy V.S. Russia's soil resources are modern challenges: proceedings of the scientific conference XXI Dokuchaevsky youth reading «Soil science – the bridge between the sciences». St. Petersburg, 2018. P. 24–41 (in Russian).
- Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B., Field D.J., Odeh I., Padarian J., Stockmann U., Angers D.A., McConkey B.G., Arrouays D., Martin M., Richer-de-Forges A.C., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.-S., Tsui C.-C., Cheng K., Pan G., Das B.S., Gimona A., Savin I., Stolbovoy V. et al., Soil Carbon 4 PER MILLE, Geoderma. 2017. V. 292. P. 59–86.
- Носов С.И., Юдицкий Б.А., Бондарев Б.Е., Первушина В.Н. Динамика баланса гумуса на пахотных землях Российской Федерации. М.: Госкомзем России, 1998. 60 с.
- Nosova S.I., Yuditsky B. A., Bondarev B.E., Pervushina V.N. Dynamics of humus balance in arable lands of the Russian Federation. М.: Goskomzem Rossii, 1998. 60 p. (in Russian).
- Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Приемы комплексного использования средств химизации в севообороте на серых лесных почвах Верхневолжья в агротехно-

логиях различной интенсивности. ФГБНУ «Владимирский НИИСХ». Суздаль, 2017. 176 с.

Okorkov V.V., Fenova O.A., Okorkova L.A. Receptions of the integrated use of chemicals in the crop rotation on the gray forest soils of the Upper Volga region in agricultural technologies of varying intensivity. Vladimirsky Research institute of Agriculture. Suzdal, 2017. 176 p. (in Russian).

8. Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А. Удобрения и тренды в плодородии серых лесных почв Верхневолжья. ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ». Иваново: ПресСто, 2018. 228 с.

Okorkov V.V., Okorkova L.A., Fenova O.A. Fertilizers and trends in fertility of gray forest soils Upper Volga region.

Federal State Budgetary Institution «Upper Volga Federal Agrarian Scientific Center». Ivanovo: PresSto, 2018. 228 p. (in Russian).

9. Петросян Р.Д., Шилов П.М., Ильин А.Л., Марков А.А., Шаркевич В.В. Пространственная неоднородность содержания органического вещества в серых лесных пахотных почвах Владимирского Ополья // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 12. С. 48–50.

Petrosyan R.D., Shilov P.M., Il'in A.L., Markov A.A., Sharkevich V.V. Spatial heterogeneity of the organic matter content in the gray forest arable soil of Vladimir Opolye // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. V. 30. № 12. P. 48–50 (in Russian).