

УДК 631.4

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ФРАКЦИИ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЬЯ И ИХ СВЯЗЬ С УРОЖАЙНОСТЬЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

© 2018 г. **О. Б. Рогова<sup>1,\*</sup>, Н. А. Колобова<sup>1,2</sup>,  
Д. В. Карпова<sup>2</sup>, А. Л. Иванов<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева,  
Россия, 119017 Москва, Пыжевский пер., 7*

*<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, Москва, 119991 Ленинские горы, 1*

*\* <https://orcid.org/0000-0003-2908-0828>, e-mail: [olga\\_rogova@inbox.ru](mailto:olga_rogova@inbox.ru)*

*Поступила в редакцию 08.08.2018, после доработки 27.11.2018,  
принята к публикации 30.11.2018*

В физических фракциях серой лесной почвы (агросерой типичной): илистой, легкой (< 2 г/см<sup>3</sup>) и остатке определяли содержание органического углерода; общего, органического и минерального фосфора. Удобрения (минеральные и органические) повышали содержание органического углерода в почве за 21 год полевого опыта. При этом масса легких фракций также увеличивалась. Внесение извести и органических удобрений снижало содержание илистой фракции, но увеличивало в ней количество органического углерода. Урожайность зерновых культур и многолетних трав мало зависела от количества органического углерода в почве в целом, в илистой и в легкой фракциях. При этом установлена ее обратная связь с содержанием легкой фракции и углерода в остатке. Урожайность зерновых культур пропорциональна доле минеральных фосфатов и слабо зависела от органических форм в подпахотном горизонте. В целом урожайность зерновых повышается при внесении минеральных удобрений, влияние навоза было менее выраженным.

Ключевые слова: длительный полевой опыт, органические и минеральные удобрения, гранулоденсиметрические фракции, органический и минеральный фосфор, органический углерод

**DOI:** 10.19047/0136-1694-2018-95-99-124

### **ВВЕДЕНИЕ**

Физическое гранулоденсиметрическое фракционирование позволяет разделить группы соединений органо-минеральной

системы почв на ассоциированные в органо-глинистые комплексы (илистые) и не связанные с глинистой матрицей (легкие). Выделяемые фракции различаются содержанием и составом органического вещества и важнейших элементов калия и фосфора. Количество фракций, их соотношение и состав в почвах зависят от характера землепользования и технологии обработки почвы ([Артемуева, 2015](#); [Ванюшина, Травникова, 2003](#); [Когут, Травникова и др., 2002](#); [Когут, Щульц и др., 2010](#); [Травникова и др., 1992, 2012](#); [Шаймухаметов и др., 1972, 1984](#)). Изучение зависимости урожайности выращиваемых культур от количества таких фракций и их состава и содержания в длительном полевом опыте дает возможность оценить изменение органо-минеральной системы серых лесных почв под действием применения разных доз минеральных и органо-минеральных удобрений и позволяет расширить представление такой трансформации, оказывающей влияние на продуктивность культур севооборота.

Установлено, что в пахотных почвах по сравнению с целинными, концентрация органического углерода уменьшается во всех гранулоденсиметрических фракциях. При этом доля органического углерода илистой фракции возрастает. Механическая обработка почвы способствует разрушению агрегатов и, как следствие, снижению содержания органического углерода в почве. Удобрение сильнее всего затрагивает легкую фракцию (ЛФ) плотностью  $< 2$  и  $< 1.8$  г/см<sup>3</sup>. Потеря углерода в них в 2–11 раз выше, чем во фракции  $> 2$  г/см<sup>3</sup> ([Ванюшина, Травникова, 2003](#)).

По данным Б.М. Когута и др. ([2010](#)), потеря органического углерода в почвах пара по сравнению с целиной составила 48%. Существенно проявлялись различия по выходу легких фракций – от 2% на целине, до 1.3% в почве севооборота, и до 0.7–0.8% в бесменном пару. По сравнению с целиной содержание ЛФ в почвах севооборота уменьшилось до 50%, в почвах пара – на 60% и более. Органические удобрения в отличие от минеральных вызывают достоверное увеличение содержания  $S_{лф}$  и соотношения  $S_{лф}/S_{ил}$  по отношению к неудобренному контролю ([Когут, Травникова и др., 2002](#)). При возрастании общего содержания органического

углерода в почвах под влиянием удобрений величины коэффициентов обогащения илистых фракций уменьшаются ([Schulz et al., 2002](#)).

Легкая фракция играет большую роль в круговороте углерода в почвах, поскольку является легкоразлагаемым субстратом для микроорганизмов и краткосрочным резервуаром питательных элементов для растений ([Ванюшина, Травникова, 2003](#)). Повышение содержания ЛФ относительно илистой фракции способствует накоплению в почве органического вещества, увеличению количества микробных популяций, снижению плотности почв ([Травникова, 2002](#)).

В первые годы после распашки целинных почв, особенно при нарушении агротехнологий, теряется наиболее лабильная часть их органического вещества, входящая в состав ЛФ. Далее интенсивно минерализуются гумусовые вещества, связанные с илистыми частицами, а затем металлогуминовые комплексы. Этот процесс определяет необходимость описания динамики углерода этих фракций при мониторинге гумусового состояния пахотных почв. Чувствительным индикатором описываемых явлений является отношение во фракциях содержания углерода или азота, в частности показателя  $C_{лф}/C_{ил}$  или  $N_{лф}/N_{ил}$ . [Травниковой и др. \(1992\)](#) была обнаружена обратная зависимость доли углерода легких фракций от содержания ила. Обнаружено, что при вовлечении в агропроизводство серых лесных почв, помимо уменьшения общего содержания органического вещества, изменяется соотношение гранулометрических фракций. Агросерые почвы содержат почти в 2 раза меньше углерода легких фракций по сравнению с нативными аналогами, а основная масса углерода в этих почвах содержится в иле.

Распашка почв приводит к минерализации фосфора органического вещества и повышению содержания минеральных форм ([Гинзбург, 1981](#); [Глазунова и др., 1976](#); [Касицкий и др., 1985](#); [Минеев, Гомонова, 2009](#); [Mejias et al., 2013](#); [McDowell et al., 2016](#); [Blake et al., 2000](#); [Sharpley, 1986](#)). Известно также, что фракции плотностью  $<2 \text{ г/см}^3$  характеризуются слабой прочностью связывания фосфат-иона, в противоположность илистым органо-глинистым комплексам, прочность связи с фосфат-ионом которых выше

([Травникова, Петрова, 1988](#), [Артемьева, 2008](#)). При этом в ряде случаев внесение органических удобрений не приводит к замедлению процесса минерализации, а внесение фосфора в виде минеральных удобрений способствует его аккумуляции ([Макаров, 2009](#)). Уменьшение содержания фосфора органических соединений в почвах не является необратимым процессом и может регулироваться внесением азота в количестве 150–300 кг/га в год в качестве стимулятора биологической активности и увеличения биомассы ([Dodd et al., 2014](#)).

По данным В.В. Окоркова ([2010](#)), при внесении навоза крупного рогатого скота в дозе 100 т/га урожайность зерновых культур на серых лесных почвах Владимирского ополья повышается на 30–47%, что примерно равно действию одинарной дозы NPK, наибольший урожай получен при внесении двойной нормы. Окупаемость органических удобрений по сравнению с минеральными была в несколько раз ниже. Он же рекомендует для более эффективного использования органических удобрений применять их совместно с азотными. При совместном использовании органических удобрений с полным минеральным удобрением коэффициенты использования всех элементов питания существенно возрастают ([Окорков, Окоркова, 2010](#)). При этом авторы подчеркивают, что даже двойная доза минеральных удобрений не всегда обеспечивает положительный баланс азота.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследовали пахотный (0–20 см) и подпахотный (20–40 см) горизонты агросерых тяжелосуглинистых почв длительного полевого опыта, заложенного в 1991 г. на территории землепользования Владимирского НИИСХ во Владимирском ополье. Повторность трехкратная. Участок, на котором находится опыт, занимает очень пологий склон южной экспозиции с уклоном 2°–3°. Опыт заложен в трех несмежных повторностях, размещение делянок рандомизированное, площадь делянки 100 м<sup>2</sup>. Общая агрохимическая характеристика почв, полученная с использованием оборудования Центра коллективного пользования Почвенного института, приведена ранее ([Рогова и др., 2018](#)).

Длительно используется (21 год) 7-польный севооборот: однолетние травы (викоовсяная смесь), озимая пшеница, овес с подсевом трав, травы первого года, травы второго года, озимая пшеница, ячмень. Схема опыта: контроль (без удобрений, без известкования), фон (известь, без удобрений), фон + NPK, фон + 2NPK, фон + навоз, фон + навоз + NPK, фон + навоз + 2NPK. За ротацию вносится: навоз крупного рогатого скота (60 т/га), двойной суперфосфат (одинарная доза  $P_2O_5$  – 340 кг/га), калийная соль (360 кг/га), аммиачная селитра (340 кг/га). В начале первой ротации провели известкование по полной гидролитической кислотности. Подстилочный навоз заделывали под озимую рожь после парозанимающей культуры.

Гранулоденсиметрическое фракционирование осуществляли по методике Шаймухаметова и др. (1984) в два этапа: выделение илистых частиц (<1 мкм) путем обработки образца почвы ультразвуком (Branson digital sonifier 250) при 70% от максимальной мощности в течение 20 мин с дальнейшим центрифугированием. Далее проводили обработку остатка почвы бромформ-этанольной смесью с плотностью 2 г/см<sup>3</sup> для выделения легкой фракции плотностью <2 г/см<sup>3</sup> и остатка. Определение органического углерода осуществляли методом Тюрина, органических и минеральных фосфатов – по Стеварду, Оадису. Статистическую обработку полученных результатов и регрессионный анализ их связи с урожаем сельскохозяйственных культур проводили с использованием стандартного пакета Statistica.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Содержание физических гранулоденсиметрических фракций и органического вещества.** В состав легких фракций почв входят остатки растительного и животного происхождения, микробной биомассы и собственно гумусовые вещества, представленные коагулятами комплексно-гетерополярных солей наиболее высокомолекулярных гуминовых кислот с выраженной ароматической структурой. Более тяжелые фракции включают полиминеральную полидисперсную систему устойчивых адсорбционных комплексов глинистых минералов и гидратов оксидов с

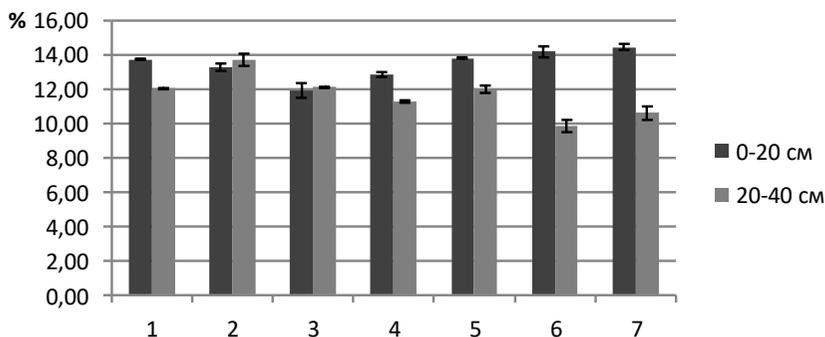
гумусовыми веществами ([Травникова и др., 1992](#); [Травникова, 2012](#); [Артемова, 2010](#); [Семенов и др., 2015](#)).

В данных почвах преобладает фракция остатка (ост), содержащая частицы размером  $>1$  мкм и плотностью  $> 2$  г/см<sup>3</sup> (табл. 1). Фракция характеризуется как включающая, помимо собственно минеральных частиц, микроагрегаты, состоящие из специфических органо-глинистых комплексов, устойчивых к непродолжительному воздействию ультразвуком (труднодиспергируемый ил), содержащие новообразованное или образующееся органическое вещество ([Артемова, 2010](#), [Травникова, 2012](#)). Количество органического вещества в этой фракции дает возможность косвенной оценки содержания труднодиспергируемого ила в исследованных вариантах и тем самым оценить интенсивность процесса возобновления образования органического вещества. Обнаружено, что для всех вариантов опыта во фракции остатка пахотного горизонта содержится почти в 1.5 раза больше органического вещества, чем в подпахотном. Содержание органического вещества в этой фракции максимально в вариантах с внесением минеральных удобрений. При этом содержание самой фракции остатка пахотного горизонта лишь на 4–5% выше (для вариантов без внесения органических удобрений), либо равно содержанию таковой горизонта, лежащего ниже (варианты с внесением навоза и в сочетании с навозом).

Доля илистой фракции, представленной органо-глинистыми комплексами, образованными с участием старого, сформированного органического вещества, преимущественно входящего в эту фракцию, составляет 17–19% от массы почвы в пахотных и 20–26% в подпахотных горизонтах. Увеличение содержания этой фракции в подпахотном слое 20–40 см не согласуется с данными исследований минералогического состава почв смежной территории, но расположенных в плакорных условиях ([Карпова, Чижикова, 2009](#)). По данным этих авторов, в названном слое наблюдается обеднение почвенного материала илистой фракцией, а в нижележащем слое 40–60 см – еще и резкое, до трехкратного, накопление ила. Можно предположить, что эта картина связана с постепенным выносом материала верхнего горизонта и припахиванием нижележащих. Таким образом, обозначенная граница эллювиирования и

Таблица 1. Содержание физических фракций и органического углерода, %

Вариант	Ил, <1 мкм		Легкая фракция, <2 г/см <sup>3</sup>		Остаток		Почва С <sub>орг</sub> , % почвы
	%	С <sub>иль</sub> , % от фракции	%	С <sub>льв</sub> , % от фракции	%	С <sub>ост</sub> , % от фракции	
0–20 см							
Контроль	18.9 ± 0.4	4.23 ± 0.2	4.2 ± 0.2	13.79 ± 0.05	76.9 ± 2.1	0.22 ± 0.03	1.51 ± 0.02
Известь	16.9 ± 0.3	5.47 ± 0.25	6.3 ± 0.3	13.17 ± 0.2	76.8 ± 1.8	0.19 ± 0.01	2.07 ± 0.06
NPK	18.6 ± 0.4	4.12 ± 0.03	5.3 ± 0.3	11.64 ± 0.41	76.2 ± 1.9	0.25 ± 0.04	1.75 ± 0.05
2NPK	17.5 ± 0.5	4.41 ± 0.05	6.0 ± 0.3	12.76 ± 0.15	76.5 ± 2.2	0.30 ± 0.03	1.87 ± 0.06
Навоз	18.3 ± 0.3	5.09 ± 0.06	5.7 ± 0.2	13.83 ± 0.01	76.0 ± 2.5	0.23 ± 0.04	1.83 ± 0.12
Навоз + NPK	17.9 ± 0.4	5.10 ± 0.14	5.7 ± 0.3	14.42 ± 0.32	76.4 ± 1.6	0.19 ± 0.03	2.19 ± 0.12
Навоз + 2NPK	19.3 ± 0.4	4.62 ± 0.28	5.3 ± 0.3	14.33 ± 0.18	75.4 ± 1.9	0.18 ± 0.04	1.80 ± 0.06
20–40 см							
Контроль	26.3 ± 0.6	2.12 ± 0.16	1.5 ± 0.2	12.09 ± 0.03	72.2 ± 2.0	0.08 ± 0.03	0.99 ± 0.07
Известь	23.0 ± 0.5	4.04 ± 0.08	3.9 ± 0.4	13.49 ± 0.33	73.2 ± 2.3	0.18 ± 0.01	1.87 ± 0.06
NPK	24.0 ± 0.5	3.01 ± 0.23	2.3 ± 0.3	12.16 ± 0.02	73.7 ± 1.9	0.13 ± 0.03	1.31 ± 0.15
2NPK	25.4 ± 0.5	2.72 ± 0.24	2.8 ± 0.3	11.33 ± 0.04	71.9 ± 1.7	0.14 ± 0.04	1.23 ± 0.08
Навоз	20.5 ± 0.6	3.95 ± 0.19	3.6 ± 0.2	11.84 ± 0.22	76.0 ± 1.9	0.13 ± 0.03	1.27 ± 0.02
Навоз + NPK	23.4 ± 0.6	2.52 ± 0.11	3.1 ± 0.3	9.62 ± 0.35	73.5 ± 2.5	0.11 ± 0.03	1.99 ± 0.07
Навоз + 2NPK	21.5 ± 0.5	3.03 ± 0.05	3.2 ± 0.2	10.35 ± 0.4	75.4 ± 2.3	0.16 ± 0.06	1.26 ± 0.12



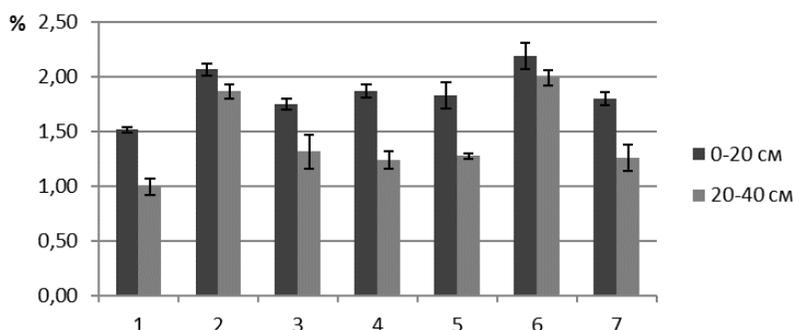
**Рис. 1.** Содержание органического углерода в легкой фракции агросерой тяжелосуглинистой почвы (% от массы фракции). Варианты: 1 – контроль, 2 – известь, 3 – NPK, 4 – 2NPK, 5 – навоз, 6 – навоз + NPK, 7 – навоз + 2NPK.

иллювирирования постепенно смещается вверх по профилю и сглаживается вспашкой.

В пахотных горизонтах содержание ила в почвах разных вариантов опыта варьирует, от минимального в варианте извести до максимального в наиболее удобренном (навоз+2NPK). Для подпахотного слоя можно отметить относительно повышенное содержание (на 7–10%) этой фракции в вариантах без внесения органических удобрений по сравнению с вариантами с навозом. Содержание органического вещества илистых фракций пахотного горизонта выше такового подпахотного соответствующих вариантов опытов в 1.2(вариант с внесением навоза)–2 (контроль) раза.

Содержание ЛФ невысоко, в пахотных горизонтах ее содержится в 2 раза больше, чем в подпахотных. Оно минимально в контрольном варианте опыта, незначительно варьирует в других. Общее содержание углерода ЛФ пахотных и подпахотных горизонтов практически одинаково (рис. 1).

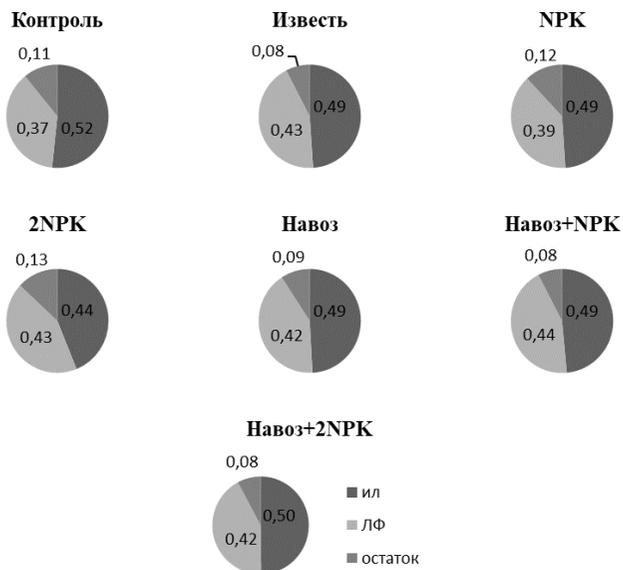
**Содержание углерода и долевое участие углерода фракций в общем пуле.** В целом содержание органического углерода во всех удобряемых вариантах опыта больше, чем в контрольном. Оно варьирует от 1.5 до 2.2%, причем в варианте с внесением одной только извести почти достигает максимального значения (рис. 2).



**Рис. 2.** Содержание органического углерода в агросерой тяжелосуглинистой почве. Варианты: 1 – контроль, 2 – известь, 3 – NPK, 4 – 2NPK, 5 – навоз, 6 – навоз + NPK, 7 – навоз + 2NPK.

Внесение извести, минеральных и органических удобрений способствовало повышению содержания органического углерода в почве. В подповерхностном горизонте содержание органического углерода было в среднем ниже на 0.7% по сравнению с поверхностным горизонтом и изменялось аналогичным образом. Повышенное содержание органического углерода в варианте известкованного фона мы связываем с неоднородностью почвенного покрова, которую трудно учесть при закладке опыта и отборе образцов, в частности, с возможным наличием фрагментов второго гумусового горизонта в этих вариантах опыта.

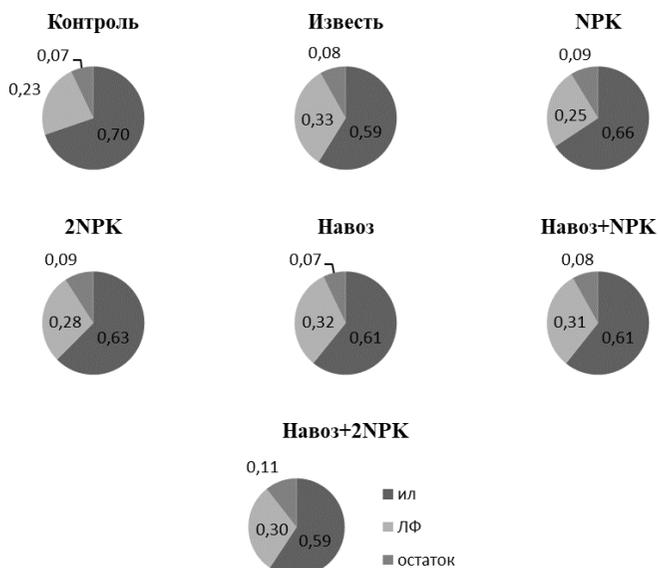
Исследованиями В.В. Окоркова и др. ([2010](#), [2013](#)) показано, что на серых лесных почвах ополья снижение содержания гумуса по сравнению с исходным проявляется при дефицитном азотном режиме (менее 80 кг/га азотных удобрений в год). При положительном балансе азота гумусированность серых лесных почв повышается. В ходе нашего исследования не выявлено уменьшения содержания органического вещества ни в одном из вариантов по сравнению с контрольным, что может служить показателем хорошего баланса азота во всех вариантах применения удобрений. Посев злаковых и бобовых трав, обладающих мощной корневой системой и богатых азотсодержащими веществами (43% в севообороте, применяемом на исследуемом поле), способствуют увеличению интенсивности процесса гумусообразования, а вносимые фосфорные



**Рис. 3.** Содержание органического углерода во фракциях агросерой тяжелоуглинистой почвы (горизонт 0–20 см), % от общего содержания углерода в почве.

удобрения и известь способствуют процессу аккумуляции гумуса. Это подтверждается балансовыми расчетами ([Окорков и др., 2010](#)). Отрицательный баланс гумуса и основных элементов питания (N, P, K) отмечен только в контрольном варианте четырехпольного севооборота. При этом вынос выращиваемыми культурами этих питательных элементов в контрольном варианте минимален. Вероятно, высокие урожаи трав, наблюдаемые на контрольных и известкованных делянках, связаны с биологическими особенностями трав к извлечению необходимого количества питательных веществ из минералов.

С учетом массы фракций рассчитали вклад углерода каждой фракции в общее содержание органического углерода в почве (рис. 3). В поверхностном горизонте органическое вещество большей частью содержится в илистой фракции.



**Рис. 4.** Содержание органического углерода во фракциях агросерой тяжелоуглинистой почвы (горизонт 20–40 см) (% от общего содержания углерода в почве).

Доля органического вещества илистой фракции составляет 44–52%. Также велика доля органического вещества легкой фракции (37–44%), причем внесение органических и минеральных удобрений увеличивает долю органического вещества легкой фракции. На долю остатка приходится 8–13% органического вещества почв.

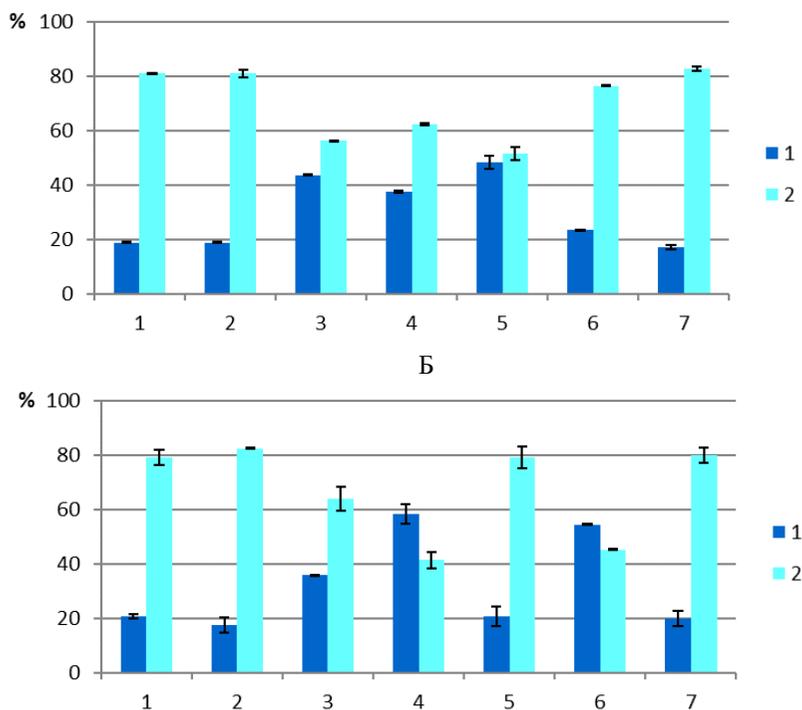
В подпахотном горизонте органическое вещество в большей степени сосредоточено в илистой фракции (рис. 4). Доля органического вещества илистой фракции составляет 59–70%. При внесении извести, органических и минеральных удобрений, несмотря на повышенное содержание углерода в илистой фракции по сравнению с контролем наблюдается снижение доли органического углерода илистой фракции за счет уменьшения содержания самой фракции в почве. При этом Л.С. Травниковой и др. (1992) доказано, что органо-глинистые комплексы являются главным источником лабильного гумуса и питательных элементов, т.е. именно они

обуславливают почвенное плодородие. Вдвое ниже доля органического вещества ЛФ (23–33%), а внесение навоза с минеральными удобрениями и в чистом виде увеличивает долю органического вещества ЛФ. На долю остатка приходится 7–11%. Это согласуется с ранее полученными данными ([Травникова и др., 2012](#)).

Расчет показателя  $C_{ил}/C_{лф}$  (табл. 2) показал, что внесение минеральных и органических удобрений приводит к повышению содержания углерода в легких фракциях по сравнению с илистыми. Минимальным данный показатель был в варианте контроль. Аналогичные результаты ранее получены на дерново-подзолистых и черноземных почвах ([Травникова и др., 1992](#)). По другим данным, на черноземных почвах органические удобрения в отличие от минеральных вызывают достоверное увеличение содержания  $C_{лф}$  и отношения  $C_{лф}/C_{ил}$  по отношению к неудобренному контролю, однако в данном исследовании изучалась только одинарная доза минеральных удобрений ([Когут и др., 2002](#)). Этот показатель более адекватно, чем  $C_{общ}$ , отражает уровень плодородия почвы, давая представление не только о качественном, но и о количественном составе органического вещества почв, и может использоваться для определения степени обеспеченности почв гумусом ([Травникова и др., 1992](#)).

**Таблица 2.** Соотношение содержания органического углерода в илистой и легкой фракциях

Вариант	$C_{лф}/C_{ил}$	
	0–20 см	20–40 см
Контроль	0.72	0.33
Известь	0.89	0.56
НПК	0.80	0.39
2НПК	0.98	0.45
Навоз	0.85	0.52
Навоз + НПК	0.90	0.51
Навоз + 2НПК	0.85	0.50



**Рис. 5.** Соотношение долей минерального (1) и органического (2) фосфора в пахотном (А) и подпахотном (Б) горизонтах. Варианты: 1 – контроль, 2 – известь, 3 – NPK, 4 – 2NPK, 5 – навоз, 6 – навоз + NPK, 7 – навоз + 2NPK.

Определение содержания органических и минеральных фосфатов показало, что в пахотном горизонте при внесении минеральных удобрений доля минерального фосфора повышается по сравнению с контролем от 18.9 до 43.7% (рис. 5). Внесение навоза приводит к уравниванию долей минерального и органического фосфора – 48.4 и 51.6% соответственно. Внесение органо-минеральных удобрений не изменяет соотношения органического и минерального фосфора по сравнению с контрольным вариантом.

В подпахотном горизонте доля фосфора минеральных соединений высока в вариантах с внесением минеральных удобрений (рис. 5Б), максимальна в варианте с двойной дозой фосфора (58.4%). Внесение навоза не изменяло соотношение минерального

и органического фосфора по сравнению с контролем. В вариантах с внесением органо-минеральных удобрений доля минеральных фосфатов повышается до 54.6%.

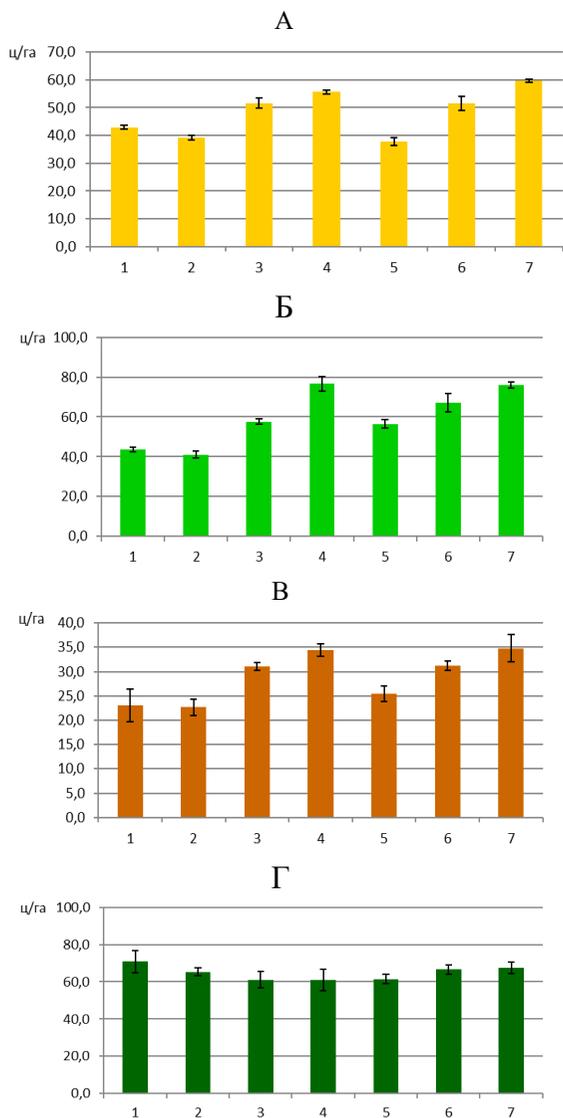
Наибольшая прибавка урожая озимой пшеницы (рис. 6А) получена при внесении двойной дозы NPK в сочетании с органическими удобрениями (59.7 ц/га) и без (55.6 ц/га). Одинарная доза NPK повысила урожай озимой пшеницы на 8.6 ц/га по сравнению с контрольным вариантом. От дальнейшего повышения дозы минеральных удобрений возрастание прибавки замедлилось примерно в 2 раза.

Сочетание 60 т/га навоза КРС с одинарной дозой NPK не повышало урожайности пшеницы по сравнению с действием одних минеральных удобрений. Действие 60 т/га навоза приводило даже к небольшому снижению урожая по сравнению с контрольным вариантом. По данным Окоркова и др. (2010), эффективность одних органических удобрений на серых лесных почвах может быть в 2 раза более низкой, чем эквивалентных доз минеральных удобрений\*.

Урожайность овса обыкновенного (рис. 6Б) также была максимальной в вариантах навоз + 2NPK и 2NPK (76.0 и 76.6 ц/га соответственно). Одинарная доза минеральных удобрений повышала урожайность овса на 14 ц/га, примерно такую же прибавку давало внесение органических удобрений по сравнению с контролем (56.5 и 43.7 ц/га соответственно). В варианте навоз + NPK урожайность была на 23.3 ц/га выше, чем в контрольном варианте. Внесение двойной дозы минеральных удобрений по сравнению с одинарной дозой не приводило к замедлению прироста урожайности. Коэффициент корреляции урожайностей пшеницы и овса – 0.85. Урожайность ярового ячменя варьировала аналогичным образом с урожайностью пшеницы и овса (рис. 6В): коэффициент корреляции урожайностей ячменя и овса – 0.96, ячменя и пшеницы – 0.94. Максимальная урожайность наблюдалась в варианте навоз + 2NPK и 2NPK (34.8 и 34.4 ц/га соответственно). Внесение одинарной дозы

---

\* Урожайности культур с 2009 по 2013 гг. любезно предоставлены сотрудниками Владимирского НИИСХ В.В. Окорковым, О.А. Феновой, Л.А. Окорковой.



**Рис. 6.** Урожайность пшеницы озимой (А), овса обыкновенного (Б), ячменя ярового (В), сена многолетних трав (Г). Планками погрешностей на графике показано стандартное отклонение. Варианты: 1 – контроль, 2 – известь, 3 – NPK, 4 – 2NPK, 5 – навоз, 6 – навоз + NPK, 7 – навоз + 2NPK.

минеральных удобрений повышало урожайность на 8 ц/га. При внесении 2NPK прирост урожайности замедлялся в 2 раза по сравнению с внесением одинарной дозы минеральных удобрений. Внесение навоза слабо повлияло на урожайность ячменя по сравнению с контрольным вариантом (25.4 и 23.0 ц/га соответственно). В варианте навоз + NPK урожайность повышалась на 8 ц/га – также, как и в варианте NPK.

Урожайность сена многолетних трав распределялась в зависимости от вариантов опыта иначе, нежели урожайность зерновых культур (рис. 6Г). Урожай клевера и тимopheевки первого года пользования был выше на вариантах без удобрений, что связано с высоким урожаем покровной культуры (овса обыкновенного) в вариантах с внесением удобрений. Кроме того, в вариантах с удобрениями наблюдаются худшие условия для развития многолетних трав в год их посева из-за угнетения покровной культурой. Максимальный урожай многолетних трав наблюдался в варианте контроль (70.9 ц/га). Внесение минеральных удобрений в одинарной и двойной дозе, а также навоза, позволило получить урожай 61–61.5 ц/га. Органо-минеральные системы удобрений обеспечивали урожайность 66.6–67.4 ц/га. При внесении извести урожайность была примерно такой же, как и при внесении органо-минеральных удобрений (65.3 ц/га). Аналогичные данные получены на дерново-подзолистых почвах ([Прохорова, Титова, 1986](#)).

Анализ данных урожайности культур, содержания гранулоденсиметрических фракций, содержания органического вещества и фосфатов позволил выявить некоторые закономерности (рис. 7). Урожайность и зерновых культур, и многолетних трав слабо коррелировала с содержанием органического углерода в почве (коэффициенты корреляции 0.2). Также слабой была взаимосвязь урожайностей зерновых культур и содержания илистой фракции и ЛФ в почве (коэффициенты корреляции 0.36 и ниже).

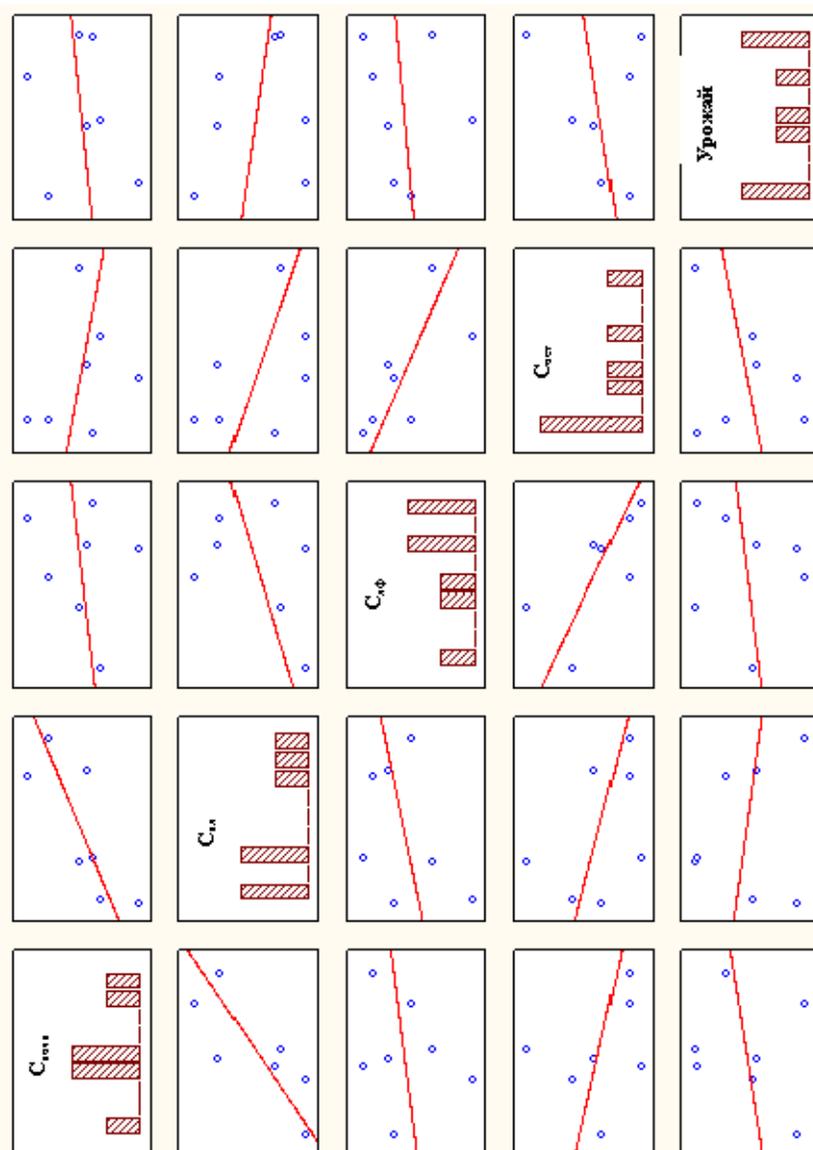
Урожайность зерновых культур была слабо связана с

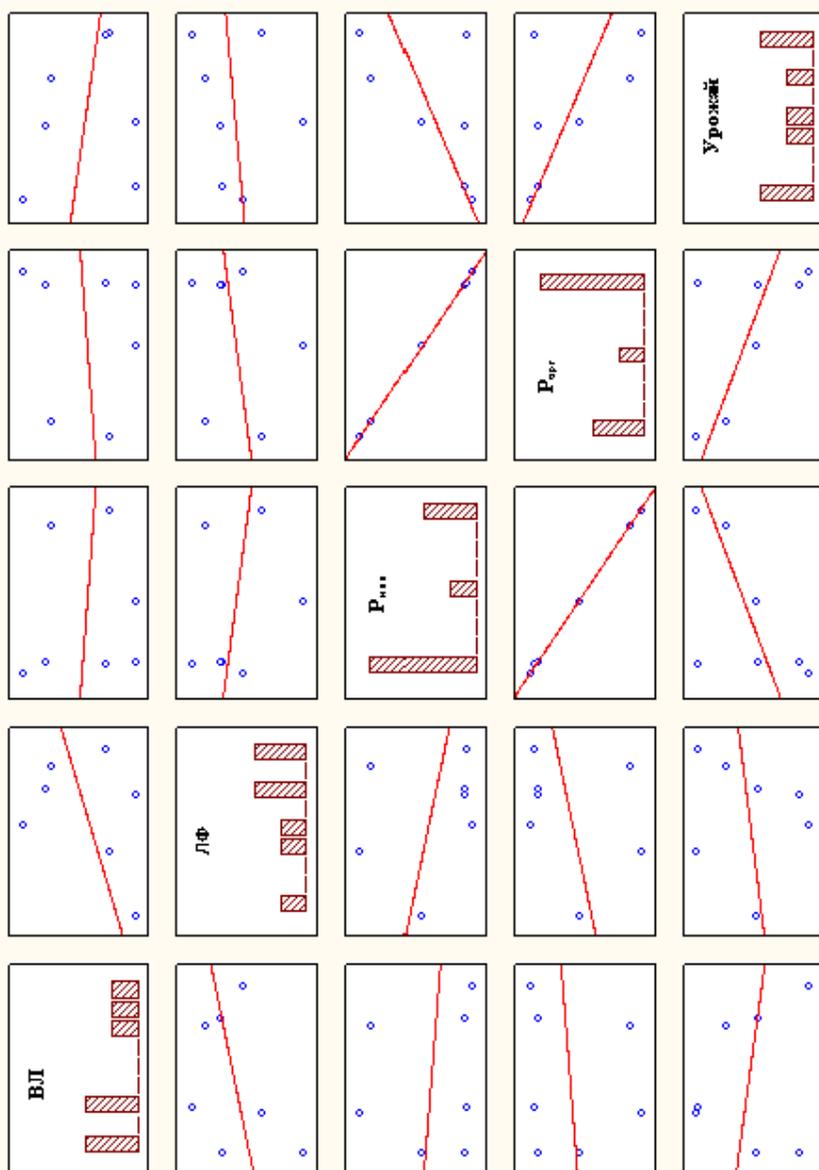
содержанием илистой фракции (коэффициент корреляции 0.37) и обратно пропорциональна содержанию ЛФ в почве (коэффициент корреляции  $-0.6$ ), что может объясняться той границей плотности, которую мы брали для выделения легких фракций ( $<2$  г/см<sup>3</sup>). Вероятно, что в данном случае эта объединенная фракция содержит значительное количество вещества и плотностью 1.8-2 г/см<sup>3</sup>, устойчивого и пассивного. Кроме того, урожайность зерновых культур была обратно пропорциональна содержанию остатка в почве (коэффициенты корреляции  $-0.63$ ,  $-0.65$  и  $-0.65$ ). Наблюдалась обратная связь урожайности зерновых культур и содержания углерода в ЛФ подпахотного горизонта (коэффициенты корреляции  $-0.69$ ,  $-0.72$  и  $-0.78$ ). Урожайность многолетних трав, напротив, положительно коррелировала с содержанием углерода в ЛФ (коэффициент корреляции 0.63), и обратной – с содержанием углерода в остатке (коэффициент корреляции  $-0.65$ ).

Изучение взаимосвязи урожайности культур и содержания органического и минерального фосфора в почве показало, что урожайность зерновых культур прямо пропорциональна доле минеральных фосфатов и обратно пропорциональна доле органических (коэффициенты корреляции 0.61 и  $-0.61$ ) в подпахотном горизонте. Урожайность сена трав, напротив, связана прямой связью с долей органических фосфатов (коэффициент корреляции 0.86) и обратной – с долей минеральных фосфатов (коэффициент корреляции  $-0.86$ ) поверхностного горизонта. Также обнаружена прямая зависимость между содержанием в почве легкой фракции и долей органических фосфатов (коэффициент корреляции 0.57).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение извести, органических и минеральных удобрений повышает содержание углерода и легкой фракции в серой лесной почве. Внесение навоза наилучшим образом повышало содержание легкой фракции и содержание в ней органического углерода, а минеральные удобрения снижали содержание органического углерода в ЛФ.





**Рис. 7.** Множественная регрессия зависимостей. Обозначения: урожай – урожайность овса обыкновенного,  $S_{\text{почв}}$  – общее содержание углерода в почве,  $S_{\text{ил}}$  – общее содержание углерода в илистой фракции,  $S_{\text{лф}}$  – общее содержание углерода в легкой фракции,  $S_{\text{ост}}$  – общее содержание углерода во фракции остатка;  $R_{\text{орг}}$  – доля органических фосфатов,  $R_{\text{мин}}$  – доля минеральных фосфатов.

Известь и навоз способствовали уменьшению содержания илистой фракции, при этом повышая содержание углерода в ней.

Минеральные удобрения повышали количество доли участия минерального фосфора в общем пуле в 2–3 раза в пахотном и нижележащем горизонте. Внесение навоза уравнивало соотношение минерального и органического фосфора в пахотном горизонте.

Изучение взаимосвязи урожайности культур и содержания гранулоденсиметрических фракций, органического углерода и фосфора в почве и во фракциях показало, что урожайность зерновых культур слабо пропорциональна содержанию органического углерода в почве, содержанию илистой и легкой фракции, но при этом обратно пропорциональна содержанию остатка и содержанию углерода в легкой фракции. Урожайность сена многолетних трав слабо коррелировала с содержанием углерода в почве и количеством илистой фракции, при этом была обратно пропорциональна содержанию легкой фракции и содержанию углерода в остатке, но прямо пропорциональна содержанию углерода в легкой фракции. Урожайность зерновых культур прямо пропорциональна доле минеральных фосфатов и обратно пропорциональна доле органических фосфатов в подпахотном горизонте. Урожайность сена трав, напротив, связана прямой связью с долей органических фосфатов и обратной – с долей минеральных фосфатов поверхностного горизонта. Обнаружена прямая зависимость между содержанием в почве легкой фракции и доли органических фосфатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемова З.С.* Органические и органо-глинистые комплексы агрогенно-деградированных почв. Автореферат дис. ... докт. с.-х. наук. М., 2008. 49 с.
2. *Артемова З.С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М., 2010.
3. *Артемова З.С.* Роль органических и органо-минеральных составляющих в формировании фосфатного режима пахотных горизонтов эрозивно-деградированных агродерново-подзолистых почв // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 78. С. 70–86.
4. *Ванюшина А.Я., Травникова Л.С.* Органо-минеральные взаимодействия в почвах (обзор литературы) // Почвоведение. 2003. № 4. С. 418–428.
5. *Гинзбург К.Е.* Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 244 с.
6. *Глазунова Н.М., Плешкова А.П., Похлебкина П.П.* Изучение доступности остаточных фосфатов дерново-подзолистой почвы в условиях микрополевого опыта // Бюллетень ВИУА. 1976. № 28. С. 36–42.
7. *Карпова Д.В., Чижикова Н.П.* Минералогический состав илистой фракции тяжелосуглинистой почвы Владимирского ополья // Плодородие. 2009. № 1. С. 11–13.
8. *Касицкий Ю.И., Любомудрова Г.В., Айрунова Л.П. и др.* Влияние фосфорных удобрений на плодородие дерново-подзолистых почв. // Химия в с.-х. 1985. Т. 23. № 1. С. 26–30.
9. *Козут Б.М., Травникова Л.С., Титова Н.А., Куваева Ю.В., Шевцова Л.К., Шульц Э.* Экспресс-показатель агроэкологического мониторинга гумусового состояния черноземов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2002. Вып. 56. С. 65–71.
10. *Козут Б.М., Шульц Э., Титова Н.А., Холодов В.А.* Органическое вещество гранулоденсиметрических фракций целинного и пахотного типичного чернозема // Агрохимия. 2010. № 8. С. 3–9.
11. *Козут Б.М., Яшин М.А., Семенов В.М., Авдеева Т.Н., Маркина Л.Г., Лукин С.М., Тарасов С.И.* Распределение трансформированного органического вещества в структурных отдельностях дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение. 2016. № 1. С. 52–63. doi: 10.7868/S0032180X1601007X
12. *Макаров М.И.* Фосфор органического вещества почв. М.: ГЕОС, 2009. 397 с.
13. *Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф.* Значение фосфора в улучшении свойств дерново-подзолистой почвы при действии и последствии длительного

применения минеральных удобрений // Проблемы агрохимии и экологии, 2009. № 2. С. 3–10.

14. *Окорков В.В.* О возможности экологически безопасного применения высоких доз органических удобрений на серых лесных почвах ополья // Владимирский земледелец. 2010. № 1–2. С. 7–16.

15. *Окорков В.В., Окоркова Л.А.* Обоснование эффективности применения органомных отходов на почвах ополья // Владимирский земледелец. 2010. № 1–2. С. 21–26.

16. *Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А.* Влияние удобрений на кислотность серых лесных почв ополья // Владимирский земледелец. 2010. № 1–2. С. 16–21.

17. *Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А., Семин И.В.* Использование местных органических удобрений на серых лесных почвах Владимирского ополья // Агрохимия. 2013. № 4. С. 34–47.

18. *Прохорова З.А., Титова Е.Н.* Эффективность удобрений и баланс элементов питания на эродированных дерново-подзолистых почвах. М., 1986.

19. *Рогова О.Б., Колобова Н.А., Иванов А.Л.* Сорбционная способность серой лесной почвы в отношении фосфора в зависимости от системы удобрения // Почвоведение. 2018. № 5. С. 573–579. doi: 10.7868/S0032180X18050064

20. *Семенов В.М., Козут Б.М. и др.* Почвенное органическое вещество. М., 2015.

21. *Травникова Л.С.* Закономерности гумусонакопления: новые данные и их интерпретация // Почвоведение. 2002. № 7. С. 832–843.

22. *Травникова Л.С.* Органоминеральные взаимодействия: роль в процессах формирования почв, их плодородия и устойчивости к деградации. М., 2012. 295 с.

23. *Травникова Л.С., Петрова Л.В.* Роль продуктов органо-минерального взаимодействия в формировании фосфатного режима дерново-подзолистой почвы // Физико-химия почв и их плодородие. М., 1988. С. 39–47.

24. *Травникова Л.С., Титова Н.А., Шаймухаметов М.Ш.* Роль продуктов взаимодействия органической и минеральной составляющей в генезисе и плодородии почв // Почвоведение. 1992. №10. С. 81–94.

25. *Шаймухаметов М.Ш., Воронина К.А.* Методика фракционирования органо-глинистых комплексов почв с помощью лабораторных центрифуг // Почвоведение. 1972. № 8. С. 134–139.

26. *Шаймухаметов М.Ш., Титова Н.А., Травникова Л.С., Лабанец Е.М.* Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. 1984. № 8. С. 131–141.

27. *Blake L., Mercik S., Koerschens M., Moskal S., Poulton P.R., Goulding K.W.T., Weigel A., Powlson D.S.* Phosphorus content in soil, uptake by plants

and balance in three European long-term field experiments // *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 2000. V. 56 (3). P. 263–275.

28. *Dodd R.J., McDowell R.W., Condon L.M.* Manipulation of fertiliser regimes in phosphorus enriched soils can reduce phosphorus loss to leachate through an increase in pasture and microbial biomass production // *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014. V. 185. P. 65–76.

29. *Mejias J.H., Alfaro M.A., Harsh J.B.* Approaching environmental phosphorus limits on a volcanic soil of Southern Chile // *Geoderma.* 2013. V. 207–208(1). P. 49–57.

30. *McDowell R.W., Condon L.M., Stewart I.* Variation in environmentally- and agronomically-significant soil phosphorus concentrations with time since stopping the application of phosphorus fertilisers // *Geoderma.* 2016. V. 280. P. 67–72.

31. *Schulz E., Travnikova L.S., Titova N.A., Kogut B.M., Korschens M.* Influence of soil type and fertilization on accumulation and stabilization of organic carbon in different SOM fractions // *Proc. 12<sup>th</sup> Internat. soil conservation organization conference.* China: Beijing, 2002. P. 304–308.

32. *Sharpley A.N.* Disposition of fertilizer phosphorus applied to winter wheat // *Soil Sci. Soc. Am.* 1986. V. 50. P. 953–958.

## **PHYSICAL FRACTIONS OF GRAY FOREST SOIL OF VLADIMIR'S OPOLE AND ITS RELATIONSHIP WITH CROP PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROPS**

**O. B. Rogova<sup>1,\*</sup>, N. A. Kolobova<sup>1,2</sup>,  
D. V. Karpova<sup>2</sup>, A. L. Ivanov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russia, 119017 Moscow, Pyzhevskii 7, bld. 2*

<sup>2</sup>*M.V. Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991 Moscow, Leninskiye Gory 1*

\* <https://orcid.org/0000-0003-2908-0828>, e-mail: [olga\\_rogova@inbox.ru](mailto:olga_rogova@inbox.ru)

Received 08.08.2018, Revised 27.11.2018, Accepted 30.11. 2018

In the physical fractions of gray forest soil (agroserya typical): clay (up to  $d = 0.001$  mm), light (lighter than  $2 \text{ g/cm}^3$ ) and the residue fraction, the contents of total carbon and phosphorus (total, organic and mineral forms) were determined. We have found that fertilizing increased the content of total carbon in the soil after 20 years of rotation system. Content of light fractions also increased. Mineral fertilizers reduced the content of organic carbon in the light fractions of this soils, this effect

requires further study. The application of lime and manure reduced the content of clay fraction, but increased the content of total carbon in it. The yield of cereals and perennial grasses depended little on the amount of total carbon in the soil and its clay and light fractions. In this case, its feedback is established with the content of light fraction and carbon in the residue. The yield of grain crops is proportional to the proportion of mineral phosphates and weakly dependent on organic forms in the sub-surface horizon. In general, the yield of cereals increases with the application of mineral fertilizers. The effect of manure was less pronounced.

*Keywords:* long field experiment, manure and mineral fertilizers, granular and density fractions, organic and mineral phosphorus

## REFERENCES

1. Blake L., Mercik S., Koerschens M., Moskal S., Poulton P.R., Goulding K.W.T., Weigel A., Powlson D.S. Phosphorus content in soil, uptake by plants and balance in three European long-term field experiments. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2000, No. 56 (3), pp. 263–275.
2. Dodd R.J., McDowell R.W., Condron L.M. Manipulation of fertiliser regimes in phosphorus enriched soils can reduce phosphorus loss to leachate through an increase in pasture and microbial biomass production, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2014, No. 185, pp. 65–76.
3. Jaime H. Mejias, Marta A. Alfaro, James B Harsh. Approaching environmental phosphorus limits on a volcanic soil of Southern Chile, *Geoderma*, 2013, No. 207–208(1), pp. 49–57. doi: 10.1016
4. McDowell R.W., L.M. Condron and I. Stewart. Variation in environmentally- and agronomically-significant soil phosphorus concentrations with time since stopping the application of phosphorus fertilisers, *Geoderma*, 2016, V. 280, pp. 67–72.
5. Schulz E., Travnikova L.S., Titova N.A., Kogut B.M., Korschens M. Influence of soil type and fertilization on accumulation and stabilization of organic carbon in different SOM fractions // *Proc. 12th Internat. soil conservation organization conference*, 2002, China: Beijing, pp. 304–308.
6. Sharpley A.N. Disposition of fertilizer phosphorus applied to winter wheat, *Soil Sci. Soc. Am.*, 1986, V. 50, pp. 953–958.
7. Artemeva Z.S. *Organic and organic clay complexes of agrogen-degraded soils*. Moscow, 2008, 49 p.
8. Artemeva Z.S. *Organic matter and particle size distribution of the soil system*. Moscow, 2010.
9. Artemieva Z. S. The role of organic and organomineral components in

theformation of the phosphate regime in plough horizons of erosion-degraded agro soddy-podzolic soils, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2015, V. 78, pp. e59–e71.

10. Vanyushina A.Ya., L.S. Travnikova. Organic-Mineral Interactions in Soils: A Review, *Eurasian Soil Science*, 2003, V. 36, № 4, pp. 379–387.
11. Ginzburg K.E. *Phosphorus of main soil types of USSR*. Moscow, Nauka, 1981, 244 p.
12. Glazunova N.M., Pleshkova A.P., Pokhlebkina P.P. Study of the availability of residual phosphates of sod-podzolic soils under conditions of microfield experience, *Byulleten' VIUA*, 1976, No. 28, pp. 36–42. (in Russian)
13. Karpova D.V., Chizhikova N.P. The mineralogical composition of the clay fraction of the heavy loamy soil of the Vladimir Opole, *Plodorodie*, 2009, No. 1, pp. 11–13. (in Russian)
14. Kasitskii Yu.I., Lyubomudrova G.V., Airunova L.P. Influence of phosphorus fertilizers on the fertility of sod-podzolic soils, *Khimiya v s.-kh.*, 1985, V. 23, No. 1, pp. 26–30. (in Russian)
15. Kogut B.M., Travnikova L.S., Titova N.A., Kuvaeva Yu.V., Shevtsova L.K., Shul'ts E. Express indicator of agroecological monitoring of the humus condition of chernozems, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2002, No. 56, pp. 65–71. (in Russian)
16. Kogut B.M., Shul'ts E., Titova N.A., Kholodov V.A. Organic Matter of Granulodensimetric Fractions from Virgin and Arable Typical Chernozems, *Agrokhimiya*, 2010, No. 8, pp. 3–9. (in Russian)
17. Kogut B.M., Yashin M.A., Semenov V.M., Avdeeva T.N., Markina L.G., Lukin S.M., Tarasov S.I. Distribution of transformed organic matter in structural units of loamy sandy soddy-podzolic soil, *Eurasian Soil Science*, 2016, T. 49, No. 1, pp. 45–55. doi: 10.1134/S1064229316010075
18. Makarov M.I. *Phosphorus organic matter of soils*. Moscow: GEOS, 2009, 397 p.
19. Mineev V.G., Gomonova N.F. The importance of phosphorus in improving the properties of sod-podzolic soils under the action and aftereffect of prolonged application of mineral fertilizers, *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2009, No. 2, p. 3–9. (in Russian)
20. Okorkov V.V. On the possibility of environmentally safe application of high doses of organic fertilizers on gray forest soils of opole, *Vladimirskii zemledelets*, 2010, No. 1–2, pp. 7–16. (in Russian)
21. Okorkov V.V., Okorkova L.A. Substantiation of the effectiveness of application of organic waste on soils of the opole, *Vladimirskii zemledelets*, 2010, No. 1–2, pp. 21–26. (in Russian)
22. Okorkov V.V., Okorkova L.A., Fenova O.A. Effect of fertilizers on the acidity of gray forest soils in Opole, *Vladimirskii zemledelets*, 2010, No. 1–2, pp. 16–21. (in Russian)

23. Okorkov V.V., Okorkova L.A., Fenova O.A., Semin I.V. Use of Local Organic Fertilizers on Gray Forest Soils of the Vladimir Opol'e Region, *Agrokhimiya*, 2013, No. 4, s. 34–47. (in Russian)
24. Prokhorova Z.A., Titova E.N. *Efficiency of fertilizers and balance of nutrients on eroded sod-podzolic soils*. Moscow, 1986, 244 p.
25. Rogova O.B., Kolobova N.A., Ivanov A.L. Phosphorus sorption capacity of gray forest soil as dependent on fertilization system, *Eurasian Soil Science*, 2018, V. 51, No. 5, pp. 536–541. doi: 10.1134/S1064229318050101
26. Travnikova L.S. Patterns of humus accumulation: New data and their interpretation, *Eurasian Soil Science*, 2002, V. 35, No. 7, pp. 737–748.
27. Travnikova L.S. *Organomineral interactions: a role in the processes of soil formation, their fertility and resistance to degradation*. Moscow, 2012, 295 p.
28. Travnikova L.S., Petrova L.V. The role of products of the organo-mineral interaction in the formation of the phosphate regime of sod-podzolic soils, *Fiziko-khimiya pochv i ikh plodorodie*, Moscow, 1988, pp. 39–47. (in Russian)
29. Travnikova L.S., Titova N.A., Shaimukhametov M.Sh. The role of products of interaction of the organic and mineral constituents in the genesis and fertility of soils, *Pochvovedenie*, 1992, No. 10, pp. 81–94. (in Russian)
30. Semyonov V. M., Kogut B. M. et al. *Soil organic matter*. Moscow, 2015.
31. Shaimukhametov M.Sh., Voronina K.A. Method for fractionation of organoclay complexes of soils using laboratory centrifuges, *Pochvovedenie*, 1972, No. 8, pp. 134–139. (in Russian)
32. Shaimukhametov M.Sh., Titova N.A., Travnikova L.S., Labanets E.M. The application of physical fractionation methods for characterizing the organic matter of soils, *Pochvovedenie*, 1984, No. 8, pp. 131–141. (in Russian)

### **Ссылки для цитирования**

Рогова О. Б., Колобова Н. А., Карпова Д. В., Иванов А. Л. Физические фракции серой лесной почвы Владимирского ополья и их связь с урожайностью сельскохозяйственных культур // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 95. С. 99-124. doi: 10.19047/0136-1694-95-99-124

### **For citation:**

Rogova O. B., Kolobova N. A., Karpova D. V., Ivanov A. L. Physical fractions of gray forest soil of Vladimir's opole and its relationship with crop productivity of agricultural crops, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, V. 95, pp. 99-124. doi:10.19047/0136-1694-95-99-124