

УДК 631.4

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СВОЙСТВ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ ДОЛОМИТОВОЙ МУКИ И ДОМЕННОГО ШЛАКА ЧЕРЕПОВЕЦКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

А. В. Литвинович¹, З. П. Небольсина², А. В. Лаврищев¹, О. Ю. Павлова¹,
А. О. Ковлева¹, И. А. Кузёмкин¹

¹ ГНУ Агрофизический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии
Гражданский проспект, 14, Санкт-Петербург, 195220

² Северо-Западный НИИ сельского хозяйства Россельхозакадемии
ул. Институтская, 1, п. Белогорка, Гатчинский р-н, Ленинградская обл., 188231
E-mail: avlavr@rambler.ru

Поступила в редакцию 29 апреля 2013 г., принята к печати 28 мая 2013 г.

В 4-летнем вегетационном опыте проведено сравнительное изучение удобрительной ценности и мелиоративных свойств доломитовой муки и доменного шлака, измельчённых до одинакового размера. Установлено, что использование доломитовой муки в дозах, эквивалентных по нейтрализующей способности доменному шлаку, способствовало большему сдвигу величины рН_{KCl}, более полному осаждению фитотоксичных катионов алюминия, марганца и железа и большему накоплению в почве поглощённых оснований ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$). Тем не менее, значимых различий по урожайности рапса, вики и соломы пшеницы между вариантами, удобренными средними дозами мелиорантов, выявлено не было. По влиянию на продуктивность зерна пшеницы доменный шлак уступал доломитовой муке.

Ключевые слова: почвы, растения, доломитовая мука, доменный шлак.

ВВЕДЕНИЕ

Кислые почвы на территории Российской Федерации занимают 73 млн. га сельскохозяйственных угодий (Деградация..., 2002). В естественном состоянии они обладают целым рядом неблагоприятных свойств, лимитирующих получение на них высоких и устойчивых урожаев. На сельскохозяйственных угодьях с повышенной кислотностью в России ежегодно недобирают 16–18 млн. тонн продукции растениеводства в пересчёте на зерно (Шильников и др., 2010).

Средством коренного улучшения кислых почв является известкование. В Северо-Западном регионе России перспективными для известкования являются три группы мелиорантов: (1) известковые удобрения, получаемые в результате переработки карбонатных пород, – известняковая и доломитовая мука; (2) рыхлые (лёгкие) карбонатные породы – мел, туф, гажа; (3) известьсодержащие отходы промышленности – цементная пыль, сланцевая зола, шлаки и др. (Небольсин, Небольсина, 2005).

Перечисленные известковые материалы обладают разным химическим составом, плотностью, пористостью, скоростью растворения, поэтому эффективность и продол-

жительность их воздействия на почву и влияние на растения должны существенно различаться.

По степени растворимости все формы известковых удобрений можно расположить в следующий ряд по убыванию: оксид кальция > карбонат кальция > силикат кальция.

Наибольшей химической активностью (скоростью нейтрализации почвенной кислотности) обладают мелкоразмолотые частицы мелиорантов (Литвинович, Небольсина, 2012). Регулируя тонину помола мелиорантов, можно гипотетически снивелировать их различия в воздействии на почвы и растения, вызванные неоднородностью их химического состава.

Цель исследования – провести сравнительное изучение мелиоративных свойств тонкодисперсных фракций доломитовой муки месторождения Елизаветино Ленинградской области и доменного шлака Череповецкого металлургического комбината. В составе доломитовой муки кальций и магний присутствуют в форме карбонатов, в составе доменного шлака – в форме силикатов, различной активности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Изучение проводилось в 4-летнем вегетационном опыте с возрастающими дозами мелиорантов. Схема опыта включала 9 вариантов (табл. 1). Повторность опыта 4-кратная. Сосуды в опыте вмещали 5 кг почвы, использовалась сильноокислая легкосуглинистая дерново-подзолистая почва со следующими физико-химическими показателями: pH_{KCl} – 4.1; Нг – 4.75 ммоль(экв.) 100 г^{-1} почвы; гумус – 1.75%; содержание фракций < 0.01 мм – 24.1%.

В опыте последовательно выращивались пшеница (сорт «Ленинградская-97»), рапс (сорт «Оредеж-4») и вика (сорт «Вера»). Пшеница доводилась до полной спелости, рапс и вика убирались в фазу цветения.

Кислотно-основные свойства, содержание Al, Mn и Fe в почве определялись после извлечения с помощью раствора 1н KCl. Использование 1н KCl даёт возможность выяснить все взаимосвязи между основными элементами, определяющими кислотно-щелочное состояние почвы. Кроме того, вытяжкой 1н KCl извлекаются 2-х валентные

(легкоподвижные) соединения Mn и Fe, оказывающие наибольшее токсическое воздействие на растения (Небольсин, Небольсина, 2005).

В качестве мелиорантов применялись доломитовая мука и доменный шлак с размером частиц менее 0.25 мм. Нейтрализующая способность доломитовой муки составляла 93%, доменного шлака – 80%. Дозы мелиорантов в опыте выравнивались по их нейтрализующей способности. Полученные результаты измерений обрабатывались статистически.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные о химическом составе доменного шлака Череповецкого металлургического комбината представлены в табл. 2. Они показывают, что содержание тяжёлых металлов в составе доменного шлака не превышает ПДК, установленной гигиеническими нормативами для почв. Согласно ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2042-06, применение шлака не должно привести к загрязнению почв ТМ.

Таблица 1. Изменение кислотно-основных свойств почвы под действием возрастающих доз доломитовой муки и доменного шлака

Вариант опыта	pH_{KCl}				$Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ммоль(экв.)/100 г							
	Пшеница	Рапс	Рапс	Вика	Пшеница	Рапс	Рапс	Вика	Пшеница	Рапс	Рапс	Вика
1. Фон (НРК)	4.14	4.38	4.39	4.40	1.39	0.98	0.97	0.74	1.45	2.01	2.58	2.10
2. Фон + ДМ по 0.375 Нг	4.52	4.60	4.79	4.49	0.55	0.38	0.88	0.67	3.71	4.24	4.29	3.48
3. Фон + ДМ по 0.75 Нг	4.97	5.04	5.98	4.81	0.12	0.14	0.55	0.50	5.36	5.39	5.99	5.86
4. Фон + ДМ по 1 Нг	5.38	5.42	6.58	5.17	0.04	0.02	0.14	0.27	6.63	5.76	6.56	6.27
5. Фон + ДШ по 0.1 Нг	4.30	4.44	4.38	4.58	1.18	0.64	0.76	0.92	2.06	2.46	2.63	2.67
6. Фон + ДШ по 0.25 Нг	4.39	4.62	4.39	4.49	0.91	0.45	0.49	1.03	2.54	2.24	3.53	3.44
7. Фон + ДШ по 0.375 Нг	4.42	4.69	4.40	4.47	0.81	0.53	0.57	1.01	3.05	3.56	3.44	3.79
8. Фон + ДШ по 0.75 Нг	4.69	4.78	4.44	4.76	0.51	0.25	0.32	0.62	3.84	4.31	5.40	5.31
9. Фон + ДШ по 1 Нг	4.83	5.23	4.56	5.05	0.28	0.09	0.31	0.33	4.71	5.04	6.15	5.29
НСР ₀₅	–	–	–	–	0.076	0.103	0.297	0.015	0.545	0.481	0.555	0.445

ДМ – доломитовая мука, ДШ – доменный шлак, НСР – наименьшая существенная разница.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в доменном шлаке Череповецкого металлургического комбината, мг $кг^{-1}$.

As	Ag	Pb	Cu	Zn	Mn	Cd	Ni
0.14	0.018	27.2	9.0	4.1	1105	< 0.01	11.6

Результаты изучения динамики величины рН в почве сосудов за 4 года эксперимента представлены в табл. 2. Материалы свидетельствуют, что применение мелиорантов привело к снижению величины рН почв, измеряемой в растворе 1н КСl, во всех вариантах с известкованием. В почвах, удобренных доломитовой мукой, в первые три года наблюдений отмечен рост величины рН вне зависимости от дозы её внесения. На четвёртый год после начала эксперимента величина рН снижалась во всех вариантах опыта. Рост величины рН в вариантах с доменным шлаком отмечен до второго года эксперимента. С третьего года эксперимента величина рН снижалась. Из-за лучшей растворимости доломитовая мука способствовала большему снижению почвенной кислотности, чем доменный шлак.

Использование мелиорантов существенно повлияло на величину суммы поглощённых оснований (табл. 1): чем выше была доза применения, тем больше оснований накапливалось в исследуемой почве.

Максимальное содержание суммы поглощённых оснований в почве установлено в варианте с применением полной по гидролитической кислотности (Нг) дозы доломитовой муки. В почвах, мелиорируемых доломитовой мукой, сумма Ca^{2+} и Mg^{2+} возраста-

ла до третьего года эксперимента, снижаясь на 4-й год наблюдений. Использование доломитовой муки приводило к более заметному увеличению концентрации обменного кальция и магния в почве в год внесения, чем использование доменного шлака, что связано с лучшей растворимостью карбонатов Са и Mg по сравнению с силикатами. В аналогичных вариантах с доменным шлаком увеличение было постепенным. Исключение составляют варианты с применением шлака в дозах 0.1 и 0.375Нг, где содержание суммы обменных оснований возрастало на протяжении всех 4 лет наблюдений.

Согласно современным представлениям, в сильно-кислых дерново-подзолистых почвах Северо-Западного региона алюминию принадлежит ведущая роль в формировании обменной кислотности (85–98%) (Небольсин, Небольсина, 2005). В структуре обменной кислотности выбранной для исследования почвы на долю подвижного алюминия приходится 95–96%. По своему воздействию на растения алюминий – типичный корневой яд, приводящий к ослизнению корней растений и замедляющий их рост. Различия в формировании корневой системы пшеницы в вариантах опыта без известкования и с известкованием представлены на рисунке.



Рис. Внешний вид корневой системы пшеницы при известковании доломитовой мукой

Отрицательное действие повышенного содержания Al устраняется в малогумусовых почвах при значении pH_{KCl} 4.9–5.2 ед.; в почвах с высоким содержанием органического вещества – при pH_{KCl} 4.5–4.7 ед. (Небольсин, Небольсина, 2010).

Данные об изменении содержания подвижного Al в сосудах опыта под действием возрастающих доз мелиорантов представлены в табл. 2.

Исследования показали, что чем выше доза применения мелиорантов, тем меньше подвижного Al обнаруживалось в почве. Использование доломитовой муки было более эффективно.

Полного осаждения Al в результате известкования достичь не удалось. Это согласуется с имеющимися в литературе сведениями, что осаждение Al достигается при $pH_{KCl} \geq 5.5$ ед. (Орлов, 1985).

Марганец – безусловно необходимый растениям элемент. Важная физиологическая роль его связана с участием в ферментативных реакциях растений (Небольсин, Небольсина, 2010). Однако на кислых дерново-подзолистых почвах Северо-Западного региона чаще приходится сталкиваться с избытком, чем с недостатком марганца. По данным В. К. Пестрякова (1977), валовое содержание Mn в пахотных горизонтах может колебаться от 0.03 до 0.5%. Содержание легкоподвижного Mn, по данным А. Н. Небольсина и З. П. Небольсиной (2005), колеблется от 0.008 до 0.4 ммоль(экв.) 100 г^{-1} почвы.

В длительных опытах установлен оптимальный уровень содержания Mn в почвах для различных культур. Для яровой пшеницы в интервале pH от 4.7 до 6.9 он составляет 0.022 ммоль (экв.) 100 г^{-1} почвы. В отличие от Al, максимальное снижение подвижности Mn достигается при уровнях реакции pH_{KCl} 6.5–7.2 ед. (Небольсин, Небольсина, 2005).

Данные о динамике изменения содержания легкорастворимого Mn под действием возрастающих доз мелиорантов приведены в табл. 3. Они показывают, что с увеличением дозы мелиорантов концентрация Mn в почве снижается. Оптимальное содержание Mn в почве установлено в год известкования в варианте опыта с использованием доломитовой муки по полной дозе Нг, во всех остальных вариантах концентрация Mn была выше.

На второй, третий и четвертый годы после известкования концентрация Mn во всех вариантах опыта возрастала. Сравнительный анализ данных свидетельствует, что при осаждении Mn доломитовая мука была более эффективна, чем шлак. Следует, однако, иметь в виду, что при использовании доменного шлака происходит дополнительное обогащение почвы марганцем, присутствующим в составе шлака.

Физиологическая роль железа в растениях связана с его участием в окислении углеводов, в восстановлении сульфатов и нитратов. Важную роль железо играет в фотосинтезе растений, являясь незаменимым элементом в составе хлорофилла (Небольсин, Небольсина, 2010).

По данным В. К. Пестрякова (1977), валовое содержание Fe в верхних горизонтах почв колеблется от 0.7 до 5% и более от массы почвы. Экспериментально установлено, что оптимальным уровнем содержания легкоподвижного Fe для яровой пшеницы в почвах является концентрация, равная $3.1 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы.

Данные об изменении содержания легкоподвижного Fe под действием возрастающих доз мелиорантов представлены в табл. 3. Минимальное содержание Fe во всех вариантах опыта было установлено в год применения мелиорантов. Концентрация Fe в год применения доломитовой муки варьировалась от 0.21 до $0.03 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Таблица 3. Влияние разных доз доломитовой муки и доменного шлака на содержание железа и марганца

Вариант опыта	Fe, мг/кг				Mn, моль(экв)/100 г			
	Пшеница	Рапс	Рапс	Вика	Пшеница	Рапс	Рапс	Вика
1. Фон NPK	0.21	0.39	0.72	0.35	0.11	0.13	0.16	0.12
2. Фон + ДМ по 0.375 Нг	0.10	0.32	0.59	0.35	0.05	0.09	0.10	0.13
3. Фон + ДМ по 0.75 Нг	0.05	0.29	0.52	0.27	0.03	0.07	0.09	0.11
4. Фон + ДМ по 1 Нг	0.03	0.20	0.42	0.29	0.02	0.05	0.07	0.09
5. Фон + ДШ по 0.1 Нг	0.18	0.40	0.63	0.47	0.10	0.11	0.11	0.32
6. Фон + ДШ по 0.25 Нг	0.18	0.29	0.59	0.48	0.08	0.08	0.11	0.13
7. Фон + ДШ по 0.375 Нг	0.14	0.38	0.61	0.62	0.08	0.10	0.09	0.14
8. Фон + ДШ по 0.75 Нг	0.13	0.31	0.58	0.40	0.06	0.07	0.09	0.13
9. Фон + ДШ по 1 Нг	0.12	0.25	0.50	0.51	0.04	0.06	0.08	0.10
НСР05	0.024	0.048	0.070	0.07	0.013	0.012	0.014	0.015

ДМ – доломитовая мука, ДШ – доменный шлак, НСР – наименьшая существенная разница.

Осаждение Fe при использовании доломитовой муки протекало более интенсивно, чем при применении доменного шлака. На второй и третий годы проведения эксперимента концентрация Fe увеличивалась вне зависимости от дозы и формы мелиоранта. На четвёртый год после известкования содержание Fe снижалось. Исключение составляют варианты с использованием доменного шлака в дозах 0.375 и 1Нг. В указанных вариантах установлен дальнейший рост концентрации железа. Вероятно, это связано с дополнительным внесом железа в почвы при использовании доменного шлака в отмеченных дозах.

В целом, за 4 года эксперимента влияние доломитовой муки на кислотно-основные свойства почв и содержание легкоподвижных соединений Mn и Fe в почве сосудов опыта было более существенно, чем при использовании доменного шлака.

Данных о продолжительности воздействия шлаков на почвы и растения не слишком много. В опытах Н. А. Зеленова с соавт. (2010) продолжительность воздействия полной по Нг кислотности дозы металлургического шлака составила 34 года. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что воздействие металлургического шлака на кислотность почвы было слабее, чем воздействие известняковой и доломитовой муки.

Продуктивность же сельскохозяйственных культур при использовании шлака была выше.

В опытах А. Н. Небольсина и З. П. Небольсиной (2005) было проведено изучение мелиоративных свойств мелкоразмолотого и гранулированного доменного шлака. Установлено, что даже спустя 39 лет после применения мелкоразмолотый доменный шлак продолжал оказывать положительное воздействие на почву. Наибольшее снижение величины pH_{KCl} при использовании гранулированного шлака наблюдалось на 7–9 годы после применения.

Во все годы изучения действие гранулированного шлака было очень слабым и даже спустя 39 лет после его применения в почве находили зёрна непрореагировавшего мелиоранта. Вероятно, растения способны поглощать Са и Mg из локальных очагов нейтрализованной почвы, прилегающих к крупным частицам известкового материала.

Основываясь на данных экспериментов А. Н. Небольсина и З. П. Небольсиной (2005), Н. А. Зеленова с соавт. (2010), в описанном опыте следует ожидать длительного последствия доменного шлака. При этом тонкий размол (< 0.25 мм) является обязательным условием эффективного применения доменного шлака.

Данные о влиянии известкования на урожайность растений пшеницы приведены в табл. 4. Минимальный выход соломы растений характерен для контрольного варианта. Устранение почвенной кислотности и связанной с ней фитотоксичности Al, Mn и Fe способствовало увеличению выхода соломы растений. В вариантах, удобренных доломитовой мукой в дозах 0.375–1 Нг, урожайность соломы была в 2.3–2.5 раза выше, чем в контроле. Применение доменного шлака в эквивалентных дозах с доломитовой мукой было не менее эффективно.

Таблица 4. Влияние возрастающих доз доломитовой муки и доменного шлака на урожайность зерна и соломы пшеницы (г на сосуд).

Вариант опыта	Зерно	Солома
1. Фон NPK	2.2	4.7
2. Фон + ДМ по 0.375 Нг	9.7	10.8
3. Фон + ДМ по 0.75 Нг	11.9	11.4
4. Фон + ДМ по 1 Нг	12.5	11.6
5. Фон + ДШ по 0.1 Нг	6.0	7.3
6. Фон + ДШ по 0.25 Нг	8.8	8.7
7. Фон + ДШ по 0.375 Нг	8.4	10.0
8. Фон + ДШ по 0.75 Нг	9.2	11.8
9. Фон + ДШ по 1 Нг	9.4	12.7
НСР05	2.69	1.60

ДМ – доломитовая мука, ДШ – доменный шлак, НСР – наименьшая существенная разница.

Влияние известкования доломитовой мукой на выход зерна растений оказалось более значимо, чем влияние доменного шлака. В сосудах, где использовалась доломитовая мука в дозах, соответствующих 0.75 и 1 Нг, прибавки урожая зерна были достоверно выше, чем в аналогичных вариантах со шлаком. По всей вероятности, это связано с наличием в составе доломитовой муки магния. Физиологическая роль магния для растений определяется его участием в фотосинтезе и деятельности ферментов. Аккумуляция магния происходит преимущественно в

генеративных органах (Небольсин, Небольсина, 2010).

Напротив, на 2, 3 и 4-й годы наблюдений, по мере растворения мелиорантов различий между доломитовой мукой и доменным шлаком по влиянию на рапс и вику выявить не удалось (табл. 5). Важно при этом подчеркнуть, что рапс и вика относятся к представителям семейства капустных и бобовых, характеризующихся высоким потреблением кальция. Вынос СаО с гектара у рапса составляет 300–500 кг, у вики – 120–150 кг (Небольсин, Небольсина, 2005).

Таблица 5. Влияние возрастающих доз доломитовой муки и доменного шлака на урожайность рапса и вики, г на сосуд.

Вариант опыта	Рапс		Вика 2012 г.	Суммарный выход вегетативной массы	% к контролю
	1-й срок	2-й срок			
1. Фон НРК	5.1	7.0	5.1	17.2	–
2. Фон + ДМ по 0.375 Нг	9.3	8.7	6.3	24.3	141
3. Фон + ДМ по 0.75 Нг	10.3	7.2	7.2	24.7	144
4. Фон + ДМ по 1 Нг	12.8	10.4	6.3	29.5	172
5. Фон + ДШ по 0.1 Нг	8.2	7.2	4.5	19.9	116
6. Фон + ДШ по 0.25 Нг	10.1	8.4	5.8	24.3	141
7. Фон + ДШ по 0.375 Нг	10.3	9.5	5.1	24.9	145
8. Фон + ДШ по 0.75 Нг	10.6	7.0	6.5	24.1	140
9. Фон + ДШ по 1 Нг	9.5	8.0	7.0	24.5	142
НСР05	1.21	1.48	2.02	–	–

ДМ – доломитовая мука, ДШ – доменный шлак, НСР – наименьшая существенная разница.

В большинстве известкованных вариантов прибавки урожая за три срока наблюдений колебались в зависимости от варианта опыта от 140 до 145% к контролю. Исключение составляет вариант, где доменный шлак был внесён в минимальной дозе – 0.1Нг (112% к контролю). Максимальная прибавка урожая зелёной массы рапса и вики была

характерна для почвы, произвесткованной доломитовой мукой по полной дозе Нг.

В целом, различия между мелиорантами по влиянию на химические свойства почвы были более значимыми, чем по воздействию на продуктивность растений. По удобрительной ценности мелкоразмолотый шлак мало уступает доломитовой муке.

Лишь в варианте с использованием карбонатной формы мелиоранта по 1Нг её эффективность за 4 года эксперимента превосходила эффективность доменного шлака. Следует ожидать длительного последствия шлака.

ВЫВОДЫ

1. Использование доломитовой муки и доменного шлака привело к возрастанию величины $pH_{КС1}$ исследуемой почвы. Чем выше была доза применения мелиорантов, тем больший сдвиг pH почвы был достигнут в опыте. Карбонатная форма мелиорантов способствовала большему сдвигу pH, чем их силикатная форма.

2. Использование обоих мелиорантов способствовало обогащению почвы катионами кальция и магния. Чем выше была доза применения, тем больше данных катионов накапливалось в почве. Почва, удобренная доломитовой мукой, характеризовалась большим содержанием обменных оснований, чем почва, удобренная доменным шлаком.

3. Влияние доломитовой муки на содержание алюминия, марганца и железа было более эффективным, чем воздействие доменного шлака. При использовании доломитовой муки в дозах, равных по нейтрализующей способности шлаку, было достигну-

то более полное осаждение алюминия, марганца и железа.

4. Известкование привело к росту продуктивности растений. В вариантах, удобренных доломитовой мукой, урожайность соломы пшеницы была в 2.3–2.5 раза выше, чем в контроле. Варианты с доменным шлаком по продуктивности соломы пшеницы не уступали вариантам с доломитовой мукой. Влияние известкования доломитовой мукой на выход зерна было более существенным, чем влияние доменного шлака.

5. Урожайность вегетативной массы рапса и вики при внесении мелиорантов колебалась от 140 до 145% к контролю в зависимости от варианта опыта. Достоверных различий в продуктивности между вариантами, удобренными средними дозами доменного шлака и доломитовой муки, выявлено не было. При использовании высоких доз доломитовая мука превосходила доменный шлак по эффективности за 4 года эксперимента.

6. Различия между влиянием доменного шлака и доломитовой муки на химические свойства почвы были более значимыми, чем различия в их влиянии на продуктивность растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Деградация и охрана почв. 2002. М.: Изд. МГУ. 652 с.
- Зеленов Н. А., Шильников И. А., Аканова Н. И., Швырков Д. А. 2010. Резерв химических мелиорантов и их агроэкологическая эффективность. В кн.: Современные проблемы и перспективы известкования кислых почв. Санкт-Петербург. С. 30–34.
- Литвинович А. В., Небольсина З. П. 2012. Продолжительность действия известковых мелиорантов в почвах и эффективность известкования. Обзор. Агрохимия. 10: 79–94.
- Небольсин А. Н., Небольсина З. П. 2005. Теоретические основы известкования почв. Санкт-Петербург. 252 с.
- Небольсин А. Н., Небольсина З. П. 2010. Известкование почв, Санкт-Петербург. 254 с.
- Орлов Д.С. 1985. Химия почв. Изд. МГУ. 1985. 376 с.
- Пестряков В. К. 1977. Окультуривание почв Северо-Запада Нечерноземной зоны России. М.: Колос. 347 с.