

## ДИНАМИКА КИСЛОТНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗЫ ИЗВЕСТКОВОГО МЕЛИОРАНТА

С. Е. Витковская<sup>1,2</sup>, К. Ф. Шаврина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет  
192007, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79, Россия;

<sup>2</sup>Агрофизический научно-исследовательский институт,  
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14, Россия  
E-mail: s.vitkovskaya@mail.ru

Поступила в редакцию 09 декабря 2020 г., принята к печати 25 февраля 2021 г.

Влияние возрастающих в интервале 0–1,5 Нг доз доломитовой муки (ДМ) на динамику рН<sub>KCl</sub> и гидролитической кислотности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы изучалось в условиях микрополевого эксперимента в течение шести лет. На протяжении всего срока наблюдений прослеживалась тесная корреляционная связь между реакцией почвы и дозой известкового мелиоранта. В контрольном варианте (без мелиоранта) в период от 0 до 2191-х суток после закладки опыта рН<sub>KCl</sub> почвы линейно снижалась от 4,65 до 4,20 ( $r = -0,839$ ) со скоростью  $1,44 \cdot 10^{-4}$  ед. рН в сутки. Характер зависимости рН<sub>KCl</sub> почвы от времени взаимодействия мелиоранта с почвой существенно изменялся в интервале доз ДМ 0,2–1,5 Нг. Через шесть лет после внесения ДМ потребность в известковании по вариантам опыта характеризовалась следующим образом: сильная – варианты 1–2; средняя – варианты 3–6; слабая – варианты 7–9; очень слабая – вариант 10. В интервале доз ДМ 0–1,5 Нг на протяжении всего срока наблюдений прослеживалась тесная корреляционная связь между дозой доломитовой муки и гидролитической кислотностью почвы: коэффициенты корреляции составили –0,935 и –0,955 на 841-е и 2191-е сутки соответственно.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, известкование, доломитовая мука, доза мелиоранта, реакция почвы, динамика кислотности почвы.

## DYNAMICS OF THE ACIDITY OF SOD-PODZOLIC SOIL DEPENDING ON THE LIME AMELIORANT DOSE

S. E. Vitkovskaya<sup>1,2</sup>, K. F. Shavrina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University  
79, Voronezhskaya St., Saint-Petersburg, 192007, Russia;

<sup>2</sup>Agrophysical Research Institute  
14, Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, 195220, Russia  
E-mail: s.vitkovskaya@mail.ru

The influence of doses of dolomite flour (DM) increasing in the range of 0–1,5 of hydrolytic acid on the dynamics of рН<sub>KCl</sub> and hydrolytic acidity of sod-podzolic light loamy soil has studied in a microfield experiment for six years. A close correlation between the reaction of the soil and the dose of lime ameliorant was traced throughout the observation period. In the control variant (without ameliorant), in the period from 0 to 2191 days after the start of the experiment, the soil рН<sub>KCl</sub> decreased linearly from 4,65 to 4,20 ( $r = -0,839$ ) at a rate of  $1,44 \cdot 10^{-4}$  pH units per day. The character of the dependence of the soil рН<sub>KCl</sub> on the time of the ameliorant interaction with the soil changed significantly in the range of DF doses of 0,2–1,5 of hydrolytic acid. Six years after the application of DF, the need for liming according to the variants of the experiment was characterized as follows: strong – variants 1–2; medium – variants 3–6; weak – variants 7–9; very weak – variant 10. A close correlation between the dose of dolomite flour and the hydrolytic acidity of the soil was observed in the range of DM doses of 0–1,5 of hydrolytic acid throughout the entire observation period: the correlation coefficients were –0,935 and –0,955 on the 841st and 2191st days, respectively.

**Keywords:** sod-podzolic soil, liming, dolomite flour, ameliorant dose, soil reaction, soil acidity dynamics.

**ВВЕДЕНИЕ**

В Российской Федерации доля кислых почв в пахотном фонде за период с 1990 по 2019 гг. увеличилась на 2% и составила 35,1 млн. га, или 30% площади пашни страны, что связано с резким сокращением площади известкования, восстановлением ранее известкованных генетически кислых почв, а также с возвратом в сельскохозяйственный оборот части кислых почв, перелогов и залежей (Иванов и др., 2020). По некоторым оценкам (Аканова и др., 2017), площадь периодически известкуемых почв составляет около 50 млн. га.

Известно (Витковская, 2017), что на кислых почвах эффективность минеральных удобрений снижается на 30–40%, а накопление в растениеводческой продукции тяжелых металлов и радионуклидов увеличивается в 3–5 раз. Потери сельскохозяйственной продукции на кислых почвах составляют 15–16 млн. т в год в пересчете на зерно (Проблемы..., 2008; Navlin et al., 1999).

Важной задачей полевых опытов с известковыми мелиорантами является установление доз, которые можно рассматривать как агрономически эффективные и экологически безопасные (Витковская, 2017). Основные критерии оценки эффективности известкования — достигнутая величина показателя pH почвы и скорость возврата реакции произвесткованной почвы к исходному значению (продолжительность действия мелиоранта). Известно (Шильников и др., 2008; Небольсин, Небольсина, 2010; Литвинович, Павлова, 2011; Комиссарова, Варламова, 2018), что эффективность известкования существенно зависит от факторов внешней среды, а также от особенностей состава и свойств мелиоранта. Продолжительность действия мелиоранта, в зависимости от конкретных условий, может составлять 15–20 лет и более (Шильников и др., 2008).

Оптимальная реакция почв не является строго фиксированной величиной и зависит от отношения возделываемой культуры к кислотности почвы и ряда свойств почв (Bergmann, 1992; Богдевич и др., 2014). Например, в Беларуси дозы известкового мелиоранта устанавливаются с учетом гранулометрического состава почв, исходной степени кислотности  $pH_{KCl}$ , содержания гумуса, плотности загрязнения территорий радионуклидами, типа севооборота. В зависимости от перечисленных факторов, оптимальные интервалы значений  $pH_{KCl}$  варьируются от 5,3–5,8 до 5,8–6,2 (Инструкция..., 2008). Оптимальные показатели кислотности для возделывания сельскохозяйственных культур на торфяных почвах соответствуют значениям pH 5,0–5,3 (Бамбалов, 2012). Общепринято считать, что при pH солевой вытяжки 5,1–5,5 потребность в известковании является слабой (Иванов и др., 2020).

Цель работы — в условиях многолетнего микрополевого эксперимента установить зависимость кислотности дерново-подзолистой почвы от дозы доломитовой муки (ДМ) и времени взаимодействия мелиоранта с почвой.

**ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ**

Влияние возрастающих доз доломитовой муки на динамику  $pH_{KCl}$  и гидролитической кислотности

дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы изучалось в условиях микрополевого опыта, заложенного в Меньковском филиале Агрофизического института (Ленинградская область, Гатчинский район) в полиэтиленовых сосудах без дна ( $S = 1 \text{ м}^2$ , глубина 25 см,  $\approx 300 \text{ кг}$  почвы на сосуд) в мае 2012 г. (Витковская и др., 2014; Витковская и др., 2016; Витковская, Яковлев, 2017; Витковская и др., 2020).

Перед закладкой опыта из каждой делянки (сосуда площадью  $1 \text{ м}^2$ ) была вынута почва на глубину пахотного слоя (25 см). По периметру делянок размещались полиэтиленовые сосуды без дна, наполненные кислой легкосуглинистой дерново-подзолистой почвой: pH-4,6; Нг-3,96; сумма обменных оснований —  $0,87 \text{ ммоль } 100 \text{ г}^{-1}$  ( $\approx 300 \text{ кг}$  почвы на сосуд). Схема опыта: 1) Контроль (Фон: NPK); 2) Фон + ДМ 0,2 Нг; 3) Фон + ДМ 0,3 Нг; 4) Фон + ДМ 0,4 Нг; 5) Фон + ДМ 0,5 Нг; 6) Фон + ДМ 0,6 Нг; 7) Фон + ДМ 0,7 Нг; 8) Фон + ДМ 0,8 Нг; 9) Фон + ДМ 0,9 Нг; 10) Фон + ДМ 1,5 Нг.

Размещение делянок систематическое, 2-рядное. Доза доломитовой муки ( $\text{CaCO}_3$  — 50,4%;  $\text{MgCO}_3$  — 48,9%) по 1 Нг составила  $5,54 \text{ т га}^{-1}$ . Отбор смешанных почвенных проб из каждого сосуда проводился тростевым буром два раза в год: 1-й отбор — 22 мая 2012 г., до внесения удобрений и мелиоранта, далее — через 63, 359, 414, 713, 841, 1078, 1211, 1452, 1575, 1834 и 2191 суток после закладки опыта.

В 2012 г. опытной культурой являлась викоовсяная смесь (овес сорта Борус, вика сорта Нововятская), в 2013 г. — рапс сорта Оредеж-4, в 2014 г. — овощные бобы сорта Белорусские, в 2015 г. — ячмень сорта Ленинградский, в 2016 г. — викоовсяная смесь (вика сорта Льговская-22, овес сорта Аргомак), в 2017 г. — кормовые бобы сорта Русский черный, в 2018 г. почва находилась под паром.

Суммарная (за 2012–2018 гг.) доза внесенных минеральных удобрений составила  $N_{470}P_{390}K_{390}$  кг д.в.  $\text{га}^{-1}$ . Определялись  $pH_{KCl}$  (потенциометрическим методом) и гидролитическая кислотность (по Каппену) почвы. Математическая обработка данных проводилась в программе ORIGIN 7,5.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Исследование проводилось в течение шести лет после внесения ДМ в почву (2012–2018 гг.). За указанный период было выполнено двенадцать отборов смешанных почвенных проб (табл. 1). Обменная кислотность почвы опыта до внесения мелиоранта характеризовалась  $pH_{KCl} 4,64 \pm 0,04$  (Витковская и др., 2016).

Тесная корреляционная связь между реакцией почвы и дозой мелиоранта прослеживалась на протяжении всего срока наблюдений (табл. 2). В интервале доз ДМ 0–1,5 Нг зависимость  $pH_{KCl} = f$  (доза ДМ) характеризовалась по линейной модели коэффициентами корреляции ( $r$ ) 0,844 и 0,974 на 63-и и 2191-е сутки взаимодействия мелиоранта с почвой соответственно (при критическом значении на 5%-м уровне значимости и  $r = 0,632$ ) (рис.).

Таблица 1. Динамика рН<sub>КС1</sub> почвы в зависимости от дозы доломитовой муки

Вариант	Сутки											
	0	63	359	414	713	841	1079	1211	1452	1575	1834	2191
1. Контроль	4,65	4,55	4,45	4,4	4,51	4,35	4,4	4,4	4,3	4,3	4,4	4,2
2. Фон+ДМ 0,2 Нг	4,6	4,85	4,75	4,7	4,71	4,62	4,6	4,6	4,6	4,5	4,4	4,4
3. Фон+ДМ 0,3 Нг	4,62	4,9	4,9	5,0	5,09	4,98	4,9	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7
4. Фон+ДМ 0,4 Нг	4,64	5,0	5,0	5,05	5,12	4,9	4,9	5,0	4,9	4,8	4,7	4,7
5. Фон+ДМ 0,5 Нг	4,62	5,05	5,25	5,3	5,31	5,21	5,2	5,2	5,2	5,1	5,1	5,0
6. Фон+ДМ 0,6 Нг	4,71	5,15	5,35	5,25	5,19	5,32	5,3	5,2	5,2	5,1	5,1	5,0
7. Фон+ДМ 0,7 Нг	4,64	5,05	5,25	5,55	5,56	5,35	5,5	5,4	5,3	5,3	5,3	5,2
8. Фон+ДМ 0,8 Нг	4,67	5,2	5,5	5,45	5,27	5,4	5,4	5,5	5,3	5,4	5,4	5,2
9. Фон+ДМ 0,9 Нг	4,59	5,0	5,1	5,8	5,76	5,49	5,6	5,5	5,6	5,5	5,4	5,2
10. Фон+ДМ 1,5 Нг	4,62	5,3	5,3	6,0	5,93	6,0	6,2	6,1	6,1	6,1	6,1	5,8

Таблица 2. Коэффициенты корреляции, характеризующие зависимость рН<sub>КС1</sub> почвы от дозы мелиоранта на различных этапах эксперимента

Сутки	г рН=f(доза)
63	0,843
359	0,722
414	0,946
713	0,922
841	0,966
1079	0,981
1211	0,982
1452	0,982
1575	0,988
1834	0,979
2191	0,973

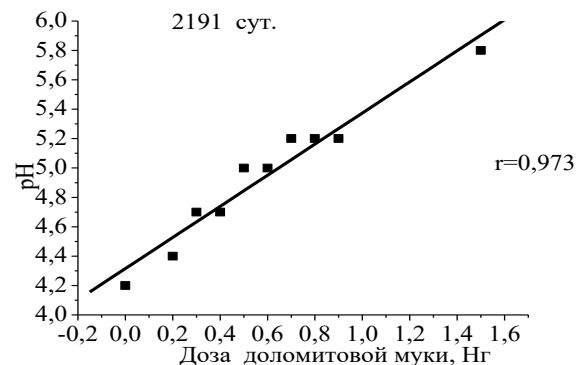
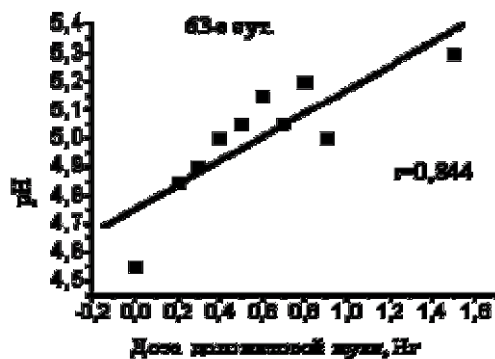


Рис. Зависимость рН<sub>КС1</sub> почвы от дозы доломитовой муки

Известно (Шильников и др., 2010; Небольсин, Небольсина, 2010; Шамрикова, 2013; Витковская и др., 2016), что динамика кислотно-основных свойств производственной почвы зависит от дозы, химического состава, размера фракций и нейтрализующей способности мелиоранта, скорости выноса оснований растениями и водами, внесения физиологически кислых минеральных удобрений, кислотных атмосферных осадений, изменения форм нахождения Са и Mg в почве.

В контрольном варианте опыта было выявлено подкисление почвы в результате применения минеральных удобрений (суммарная за шесть лет доза составила N<sub>470</sub>P<sub>390</sub>K<sub>390</sub> кг д.в. га<sup>-1</sup>), а также выноса оснований растениями и водами. Через два года (841-е

сутки) почва из категории «среднекислая» перешла в категорию «сильнокислая». Динамика рН почвы в контрольном варианте опыта хорошо аппроксимировалась линейной моделью:

$$pH(t) = pH_0 + bt,$$

где рН<sub>0</sub> – значение водородного показателя в почве на момент закладки опыта; b – скорость изменения реакции почвы, ед. рН·сут.<sup>-1</sup>.

Установлено, что в контрольном варианте в период 0–2191-е сутки после закладки опыта рН<sub>КС1</sub> линейно снижалась от 4,65 до 4,2 (r = -0,839, при критическом значении на 5%-м уровне значимости r = 0,632) со скоростью (b) 1,44·10<sup>-4</sup> в сутки. Авторы работы (Аканова и др., 2017) предлагают запретить

применение минеральных удобрений на почвах с сильнокислой реакцией среды ( $pH < 4,5$ ) при высоком содержании активного алюминия в связи с их возможным отрицательным воздействием на урожай сельскохозяйственных культур и угрозой загрязнения грунтовых вод.

Характер зависимости  $pH_{KCl}$  от времени взаимодействия ДМ с почвой существенно изменялся в интервале доз ДМ 0,2–1,5 Нг. При применении ДМ в дозе 0,2 Нг на 63-и сутки после внесения мелиоранта значение  $pH$  увеличилось от 4,6 до 4,85 (табл. 1), а затем линейно снижалось ( $r = -0,856$ , при критическом значении на 5%-м уровне значимости  $r = 0,666$ ), достигнув 4,4 к 2191-м суткам. При дозе 0,2 Нг слабое нейтрализующее действие доломитовой муки продолжалось не более двух лет. Согласно градации почв по уровню кислотности (Методические указания..., 2003), в варианте 2 через четыре года после внесения мелиоранта почва перешла в категорию «сильнокислая».

Установлено, что при внесении ДМ в дозах 0,3 и 0,4 Нг нейтрализующее действие мелиоранта продолжалось не менее 900 суток:  $pH_{KCl}$  почвы в период 0–71-е сутки линейно повышалась от 4,62 до 5,09 ( $r = 0,853$ ) и от 4,64 до 5,12 ( $r = 0,767$ ) соответственно, затем проявилась устойчивая тенденция к подкислению: через шесть лет взаимодействия ДМ с почвой значение  $pH_{KCl}$  не превышало 4,7 (табл. 1). На протяжении всего срока наблюдений почва в вариантах опыта 3 и 4 характеризовалась как среднекислая со средней потребностью в известковании.

При внесении ДМ в дозах 0,5 и 0,6 Нг (варианты 5 и 6) максимальные величины  $pH_{KCl}$  почвы были зафиксированы на 713-е ( $pH 5,31$ ) и 359-е ( $pH 5,35$ ) сутки соответственно (категория «слабокислая», потребность в известковании слабая). Устойчивая тенденция к подкислению почвы в вариантах 5 и 6 наблюдалась в периоды 713–2191-е и 1079–2191-е сутки взаимодействия мелиоранта с почвой соответственно. Снижение величины  $pH$  в указанные периоды по линейной модели характеризовалось значениями коэффициента корреляции ( $r$ )  $-0,938$  и  $-0,950$  в вариантах 5 и 6 соответственно. К 2191-м суткам почва перешла в категорию «среднекислая» (значение  $pH$  достигло 5,0) (табл. 1).

Внесение ДМ в дозах 0,7–0,8 Нг позволило достичь величины  $pH_{KCl}$  5,5: почва характеризовалась как слабокислая до 1079-х и 1211-х суток в вариантах 7 и 8 соответственно. В последующий период наблюдений снижение величины  $pH$  по линейной модели характеризовалось значениями коэффициента корреляции ( $r$ )  $-0,916$  и  $-0,769$  в вариантах 7 и 8 соответственно. В указанных вариантах через шесть лет после внесения мелиоранта продолжалось его нейтрализующее действие, значение  $pH$  составляло 5,2 (слабая потребность в известковании) (табл. 1).

При увеличении дозы ДМ до 0,9 Нг реакция почвы перешла в категорию близкой к нейтральной ( $pH_{KCl}$  5,6–6,0), максимальная величина  $pH_{KCl}$  составила 5,8 (414-е сутки). Далее наблюдалась тенденция к подкислению почвы, к 2191-м суткам значение водородного показателя не превышало 5,2 (табл. 1). Установлено, что при внесении доломитовой муки в дозе 0,9 Нг значение  $pH_{KCl}$  находилось на уровне 5,5 более 4-х лет.

При применении ДМ в дозе 1,5 Нг значение  $pH_{KCl}$  достигло 6 через 414 суток взаимодействия мелиоранта с почвой и оставалось на уровне 6,1 до пяти лет после внесения мелиоранта (1834 суток). К 2191-м суткам значение  $pH$  снизилось до 5,8 (табл. 1).

До закладки опыта средняя по вариантам гидролитическая кислотность почвы составляла  $4,11 \pm 0,08$  ммоль  $100 \text{ г}^{-1}$  (табл. 3), что соответствует средней потребности в известковании. В интервале доз ДМ 0–1,5 Нг на протяжении всего срока наблюдений прослеживалась тесная корреляционная связь между дозой ДМ и значением Нг: коэффициенты корреляции составили  $-0,935$  и  $-0,955$  на 841-е и 2191-е сутки соответственно. На 841-е сутки в контрольном варианте опыта Нг увеличилась с 4,1 до 4,6 ммоль  $100 \text{ г}^{-1}$ . При внесении ДМ в дозе 1,5 Нг на протяжении всего срока наблюдений значение Нг составляло менее 2,0 (потребность в известковании отсутствовала (Иванов и др., 2020)). Общеизвестно считать, что данный вид кислотности обусловлен кислыми функциональными группами органического вещества. Ранее в условиях стационарного полевого опыта авторами установлено (Витковская и др., 2014), что повышение дозы органических удобрений практически нивелировало влияние известкования на величину Нг.

**Таблица 3.** Влияние возрастающих доз доломитовой муки на гидролитическую кислотность почвы (Нг, ммоль  $100 \text{ г}^{-1}$ )

Вариант	Сутки							
	0	841	1079	1211	1452	1575	1834	2191
1. Контроль	4,14	4,61	5,03	5,25	5,14	3,79	4,61	4,61
2. Фон+ДМ 0,2 Нг	4,23	4,14	4,52	5,03	4,61	4,82	4,32	4,05
3. Фон+ДМ 0,3 Нг	4,23	3,26	3,63	4,05	3,96	3,96	3,71	3,48
4. Фон+ДМ 0,4 Нг	4,14	3,56	3,71	3,82	3,96	4,42	3,79	3,40
5. Фон+ДМ 0,5 Нг	4,14	2,86	3,26	3,48	3,40	3,63	3,13	3,05
6. Фон+ДМ 0,6 Нг	4,14	2,74	3,05	3,63	3,33	3,48	2,99	2,99
7. Фон+д.м. ДМ Нг	4,05	2,62	2,68	3,26	3,26	3,13	2,46	2,86
8. Фон+ДМ 0,8 Нг	3,96	2,62	2,92	3,13	3,13	3,05	2,57	2,62
9. Фон+ ДМ 0,9 Нг	4,05	2,31	2,57	2,99	2,74	2,80	2,41	2,57
10. Фон+ДМ 1,5 Нг	4,05	1,67	1,82	1,98	1,94	1,70	1,43	1,86

## ВЫВОДЫ

1. На протяжении всего срока наблюдений прослеживалась тесная корреляционная связь между реакцией почвы и дозой известкового мелиоранта. В интервале доз доломитовой муки 0–1,5 Нг зависимость  $pH_{KCl} = f(\text{доза ДМ})$  характеризовалась по линейной модели коэффициентами корреляции ( $r$ ) 0,844 и 0,974 на 63 и 2191-е сутки взаимодействия мелиоранта с почвой соответственно.
2. В контрольном варианте опыта в период от 0 до 2191-х суток после закладки опыта  $pH_{KCl}$  почвы линейно снижалась от 4,65 до 4,2 ( $r = -0,839$ ) со скоростью ( $b$ )  $1,44 \cdot 10^{-4}$  ед. рН в сутки.
3. Характер зависимости  $pH_{KCl}$  почвы от времени взаимодействия мелиоранта с почвой существенно изменялся в интервале доз ДМ 0,2–1,5 Нг.
4. Через шесть лет после внесения ДМ потребность в известковании по вариантам опыта определялась следующим образом: сильная – варианты 1–2; средняя – варианты 3–6; слабая – варианты 7–9; очень слабая – вариант 10.
5. В интервале доз ДМ 0–1,5 Нг на протяжении всего срока наблюдений гидролитическая кислотность почвы линейно снижалась.

## Список литературы

- Аканова Н.И., Шильников И.А., Ефремова С.Ю., Аваков М.С. Значение химической мелиорации в земледелии и потери кальция и магния из почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 1. С. 28–35.
- Бамбалов Н.Н. Взаимодействие известковых удобрений с органическим веществом торфяных почв // Почвоведение и агрохимия. 2012. № 2(49). С. 65–73.
- Богдевич И.М., Ломонос О.Л., Таврыкина О.М. Динамика степени кислотности, обеспеченности кальцием и магнием пахотных и луговых почв Беларуси в результате известкования // Почвоведение и агрохимия. 2014. № 1(52). С. 159–172.
- Витковская С.Е., Яковлев О.Н., Оглуздин А.С., Дубовицкая В.И. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на поведение тяжелых металлов в системе почва-растение // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 3. С. 31–34.
- Витковская С.Е., Иванов А.И., Филиппова П.А. Изменение строения профиля и агрохимических параметров дерново-подзолистой почвы при окультуривании // Агрохимия. 2014. № 7. С. 9–16.
- Витковская С.Е., Яковлев О.Н., Шаврина К.Ф. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2016. № 7. С. 3–11.
- Витковская С.Е., Яковлев О.Н. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на распределение марганца и железа в системе «почва – растение» // Агрохимия. 2017. № 11. С. 44–51.
- Витковская С.Е. Методы оценки эффективности и экологической безопасности химических мелиорантов. СПб.: АФИ, 2017. 76 с.
- Витковская С.Е., Шаврина К.Ф., Яковлев О.Н. Продуктивность растений ячменя и взаимодействие цинка, кальция и магния в системе почва-растение при нейтрализации кислотности почвы доломитовой мукой // Агрохимия. 2020. № 1. С. 50–57.
- Иванов А.Л., Столбовой В.С., Гребенников А.М., Оглезнев А.К., Петросян Р.Д., Шилов П.М. Ранжирование кислых почв по приоритетности проведения известкования в Российской Федерации // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 168–187.
- Инструкция о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель. Утв. Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. Минск, 2008. 30 с.
- Комиссарова В.С., Варламова Л.Д. Влияние последствия известкования на продуктивность культур пятой ротации севооборота и содержание подвижных форм фосфора и калия в пахотном слое светло-серой лесной почвы // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2(18). С. 10–15.
- Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Динамика почвенной кислотности в дерново-подзолистой супесчаной почве, произвесткованной различными дозами конверсионного мела // Агрофизика. 2011. № 2. С. 13–18.
- Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Под ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
- Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов). СПб.: ГНУ ЛНИИСХ Россельхозакадемии, 2010. 254 с.
- Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / Под ред. А. В. Гордеева, Г. А. Романенко. М.: Росинформагротех, 2008. 67 с.
- Шамрикова Е.В. Кислотность почв таежной и тундровой зон Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 2013. 157 с.
- Шильников И.А., Сычѳв В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. 340 с.
- Шильников И.А., Аканова Н.И., Гришин Г.Е., Зеленов Н.А. Эффективность воздействия известкования почв на урожай и качество картофеля // Нива Поволжья. 2010. № 3(16). С. 50–53.
- Bergmann W. Nutritional disorders of plants. New York: G. Fisher, 1992. 741 p.
- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., Nelson W.R. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 6th ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc., 1999. 499 p.

## References

- Akanova N.I., SHil'nikov I.A., Efremova S.Yu., Avakov M.S. Znachenie khimicheskoy melioratsii v zemledelii i poteri kal'tsiya i magniya iz pochvy [The importance of chemical melioration in agriculture and the loss of calcium and magnesium from the soil] // *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2017, no. 1, pp. 28–35.
- Bambalov N.N. Vzaimodeystviye izvestkovykh udobreniy s organicheskim veshchestvom torfyanykh pochv [Interaction of lime fertilizers with organic matter of peat soils] // *Pochvovedeniye i agrokhiymiya*, 2012, no. 2(49), pp. 65–73.
- Bogdevich I.M., Lomonos O.L., Tavrykina O.M. Dinamika stepeni kislotnosti, obespechennosti kal'tsiyem i magniyem pakhotnykh i lugovykh pochv Belarusi v rezul'tate izvestkovaniya [Dynamics of acidity, calcium and magnesium content of arable and meadow soils in Belarus as a result of liming] // *Pochvovedeniye i agrokhiymiya*, 2014, no. (52), pp. 159–172.
- Vitkovskaya S.E., Yakovlev O.N., Ogluzdin A.S., Dubovitskaya V.I. Vliyaniye vozras-tayuschikh doz dolomitovoy muki na povedeniye tyazhelykh metallov v sisteme pochva-rasteniye [Influence of increasing doses of dolomite flour on the behavior of heavy metals in the soil-plant system] // *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2014, no. 3, pp. 31–34.
- Vitkovskaya S.E., Ivanov A.I., Filippova P.A. Izmeneniye stroeniya profilya i agrokhimicheskikh parametrov dervno-podzolistoy pochvy pri okul'turivaniy [Changes in the structure of the profile and agrochemical parameters of sod-podzolic soil during cultivation] // *Agrokhiymiya*, 2014, no. 7, pp. 9–16.
- Vitkovskaya S.E., Yakovlev O.N., Shavrina K.F. Vliyaniye vozrastayuschikh doz dolomi-tovoy muki na kislотно-osnovnyye svoystva dervno-podzolistoy pochvy [Influence of increasing doses of dolomite flour on acid-base properties of sod-podzolic soil] // *Agrokhiymiya*, 2016, no. 7, pp. 3–11.
- Vitkovskaya S.E., Yakovlev O.N. Vliyaniye vozrastayuschikh doz dolomitovoy muki na raspredeleniye margantsa i zheleza v sisteme «pochva – rasteniye» [Influence of increasing doses of dolomite flour on the distribution of manganese and iron in the soil – plant system] // *Agrokhiymiya*, 2017, no. 11, pp. 44–51.
- Vitkovskaya S.E. Metody otsenki effektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti khimicheskikh meliorantov [Methods for evaluating the effectiveness and environmental safety of chemical ameliorants]. Saint-Petersburg: AFI, 2017, 76 p.
- Vitkovskaya S.E., Shavrina K.F., Yakovlev O.N. Produktivnost' rasteniy yachmenya i vzaimodeystviye tsinka, kal'tsiya i magniya v sisteme pochva-rasteniye pri neytraliza-tsii kislotnosti pochvy dolomitovoy mukoy [Productivity of barley plants and interaction of zinc, calcium and magnesium in the soil-plant system when soil acidity is neutralized with dolomite flour] // *Agrokhiymiya*, 2020, no. 1, pp. 50–57.
- Ivanov A.L., Stolbovoy V.S., Grebennikov A.M., Ogleznev A.K., Petrosyan R.D., Shilov P.M. Ranzhirovaniye kislolykh pochv po prioritetnosti provedeniya izvestkovaniya v Rossiyskoy Federatsii [Ranking of acidic soils by priority of liming in the Russian Federation] // *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchayeva*, 2020, vyp. 103, pp. 168–187.
- Instruktsiya o poryadke izvestkovaniya kislolykh pochv sel'skokhozyaystvennykh zemel'. Utv. Ministerstvom sel'skogo khozyaystva i prodovol'stviya Respubliki Belarus* [Instructions on the procedure of liming acidic soils of agricultural land. Approved by the Ministry of agriculture and food of the Republic of Belarus]. Minsk, 2008, 30 p.
- Komissarova V.S., Varlamova L.D. Vliyaniye posledeystviya izvestkovaniya na pro-duktivnost' kul'tur pyatoy rotatsii sevooborota i sodержaniye podvizhnykh form fosfora i kaliya v pakhotnom sloye svetlo-seroy lesnoy pochvy [Influence of liming aftereffect on crop productivity of the fifth crop rotation and the content of mobile forms of phosphorus and potassium in the arable layer of light gray forest soil] // *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2018, no. 2(18), pp. 10–15.
- Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu. Dinamika pochvennoy kislotnosti v dervno-podzolistoy supeschanoy pochve, proizvestkovannoy razlichnymi dozami konversionnogo mela [Dynamics of soil acidity in sod-podzolic sandy loam soil limed with different doses of conversion chalk] // *Agrofizika*, 2011, no. 2, pp. 13–18.
- Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Methodological guidelines for the comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands] / Pod red. L. M. Derzhavina, D. S. Bulgakova. M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2003, 240 p.
- Nebol'sin A.N., Nebol'sina Z.P. *Izvestkovaniye pochv (rezul'taty 50-letnikh polevykh opytov)* [Liming of soils (results of 50-year field experiments)]. Saint-Petersburg: GNU LNIISKH Rossel'khozakademii, 2010, 254 p.
- Problemy degradatsii i vosstanovleniya produktivnosti zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v Rossii* [Problems of degradation and restoration of agricultural land productivity in Russia] / Pod red. akademikov Rossel'khozakademii A. V. Gordeeva, G. A. Romanenko. Moscow: Rosinformagrotekh, 2008, 67 p.
- Shamrikova E.V. *Kislotnost' pochv tayezhnoy i tundrovoy zon Yevropeyskogo Severo-Vostoka Rossii* [Soil acidity in the taiga and tundra zones of the European North-East of Russia]. Saint-Petersburg: Nauka, 2013, 157 p.
- Shil'nikov I.A., Sychov V.G., Zelenov N.A., Akanova N.I., Fedotova L.S. *Izvestkovaniye kak faktor urozhaynosti i pochvennogo plodorodiya* [Liming as a factor of productivity and soil fertility]. Moscow: VNIIA, 2008, 340 p.
- Shil'nikov I.A., Akanova N.I., Grishin G.E., Zelenov N.A. Effektivnost' vozdeystviya izvestkovaniya pochv na urozhay i kachestvo kartofelya [Effectiveness of soil liming on potato yield and quality] // *Niva Povolzh'ya*, 2010, no. 3(16), pp. 50–53.
- Bergmann W. Nutritional disorders of plants. New York, G. Fisher, 1992, 741 p.
- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S., Nelson W.R. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 6th ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc., 1999, 499 p.