

РАЗЛОЖЕНИЕ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ ДОЛОМИТА В КИСЛОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ; ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ И РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПШЕНИЦЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ И УРОЖАЙНОСТЬ РАСТЕНИЙ (ПО ДАННЫМ МОДЕЛЬНОГО ОПЫТА)

А. В. Литвинович¹, А. О. Берсенева², О. Ю. Павлова¹, А. В. Лаврищев², Ю. В. Хомяков¹, В. И. Дубовицкая¹

¹ ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, Россия;

² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
196601, Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2, Россия

Поступила в редакцию 28 декабря 2020 г., принята к печати 25 февраля 2021 г.

В условиях лабораторного опыта, заложенного на очень сильнокислой дерново-подзолистой супесчаной почве с растениями пшеницы, проведено изучение убыли массы крупных частиц доломита, внесённых в качестве известкового удобрения. Выявлено, что за 30 дней взаимодействия мелиоранта с почвой убыль массы частиц в зависимости от вариантов опыта составила от 0,025 до 0,031 г (1,23-1,58% от внесённого количества). Установлено изменение величины pH_{KCl} почвы на начальном этапе выращивания пшеницы. Влияния используемых в опыте минеральных удобрений на растворение доломита выявить не удалось. Приведены данные об урожайности растений по вариантам опыта, в которых применялись различные минеральные удобрения. Максимальный выход зелёной массы растений зафиксирован в варианте с использованием полного минерального удобрения. Урожайность растений в вариантах с применением азотных и калийных удобрений была ниже. По влиянию на урожай изученные варианты образуют следующий убывающий ряд: азофоска > KCl > NH_4NO_3 > контроль. По сравнению с контрольным вариантом суммарный выход зелёной массы растений в вариантах опыта с применением удобрений был выше в 1,49; 1,22 и 1,3 раза соответственно.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, кислотные свойства, урожайность пшеницы.

DECOMPOSITION OF LARGE DOLOMITE PARTICLES IN ACIDIC SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL; INFLUENCE OF LIMING AND DIFFERENT LEVELS OF WHEAT MINERAL NUTRITION ON CHANGES IN SOIL ACID-BASE PROPERTIES AND PLANT PRODUCTIVITY (ACCORDING TO LABORTORY EXPERIMENT DATA)

A. V. Litvinovich¹, A. O. Berseneva², O. Yu. Pavlova¹, A. V. Lavrishev², Yu. V. Khomyakov¹,
V. I. Dubovitskaya¹

¹Agrophysical Research Institute
14, Grazhdanskiy pr., Saint Petersburg, 195220, Russia;

²Saint Petersburg State Agrarian University
² Peterburgskoye highway, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russia

Under the conditions of a laboratory experiment using a very strongly acidic sod-podzolic sandy loam soil with wheat plants, the gravimetric loss of dolomite large particles applied as a lime fertilizer has been studied. It was revealed that for 30 days of the ameliorant - soil interaction, the decrease in the mass of the particles, depending on the treatment of the experiment, was from 0.025 to 0.031 g (1.23-1.58% of the applied amount). The pH_{KCl} value of the soil changed at the initial stage of wheat cultivation. The effect of mineral fertilizers, used in the experiment, on the dolomite dissolution was not revealed. The data on the productivity of wheat according to the experiment treatments, where various mineral fertilizers were used, are presented in the paper. The maximum yield of wheat green mass was recorded in the treatment with the full mineral fertilizer. The productivity of wheat in the treatments with nitrogen and potassium fertilizers was lower. According to the effect on the yield, the studied treatments form the following decreasing order: azophoska > KCl > NH_4NO_3 > control. In comparison with the control treatment, the total yield of wheat green mass in the treatments of the experiment with the fertilizers was, respectively, 1.49, 1.22 and 1.3 times higher.

Keywords: sod-podzolic soil, acid-base properties, wheat productivity.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день можно считать установленным, что растворение известковых мелиорантов в почвах является продолжительным процессом (Кирнштейн, 1941; Корнилов, 1955; Амелянчик и др., 1991; Окорков, 2004; Небольсин и др., 2005, 2010; Литвинович и др., 2001, 2012, 2015; 2016; Аканова и др., 2017; Лаврищев и др., 2019; Яковлева, 2012; Павлова и др., 2020). На скорость растворения оказывают влияние такие факторы, как доза внесения мелиоранта, продолжительность его нахождения в почве, количество выпадающих осадков, тонина помолы, равномерность перемешивания известки с почвой и др.

Известно, что от 20 до 40% органических веществ растения выделяют через корневую систему (Физиология растений, 1976). В составе корневых выделений присутствуют низкомолекулярные органические кислоты, аминокислоты, белки и др., оказывающие растворяющее воздействие на карбонаты. Можно предположить, что при выращивании растений процессы растворения карбонатов в почве будут протекать быстрее.

Сортовые особенности растений оказывают существенное влияние на скорость растворения мелиорантов в почвах. Установлено, что при выращивании семь сортов яровой пшеницы количество непрореагировавших карбонатов после

уборки растений колебалось от 9,3 до 25% от внесённого количества (Литвинович и др., 2015).

Почвенный воздух в естественных почвах содержит в 10–100 раз больше углекислоты по сравнению с атмосферным за счёт дыхания живых организмов. Углекислота, а также анионы удобрений NO_3 , Cl и SO_4 активно участвуют в процессе растворения мелиорантов на пашне. Весьма важным представляется разложение частиц мелиоранта за счёт контактного обмена поверхности известки и почвы.

Цель настоящего исследования заключалась в том, чтобы в лабораторном эксперименте на кислой дерново-подзолистой супесчаной почве провести изучение убыли массы крупных частиц доломита на начальном этапе выращивания пшеницы.

Задачи исследований:

– определить влияние локального внесения крупных частиц доломита на кислотно-основные свойства почвы;

– установить влияние известкования и минерального питания растений на урожайность пшеницы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лабораторный опыт проводился на очень сильнокислой дерново-подзолистой супесчаной почве. Валовой химический и гранулометрический состав почвы представлен в табл. 1 и 2. Исследования показали, что валовое содержание Ca и Mg в почве незначительно и составляет 0,44 и 0,47%.

Таблица 1. Валовой химический состав почвы, %

Потеря при прокаливании	SiO ₂	R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	Σ
6,15	81,09	9,28	1,19	7,97	0,44	0,47	0,11	0,51	99,43

Таблица 2. Гранулометрический состав почвы

Размер фракций (мм) и их содержание (%)							Название почвы по гранулометрическому составу
1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	< 0,01	
1,77	58,14	21,50	5,95	7,04	6,86	18,6	супесчаная пылевато-песчаная

Физико-химическая характеристика почвы следующая: $\text{pH}_{\text{KCl}} - 3,75$; $\text{Hг} - 11,75$ ммоль(экв) 100 г^{-1} ; содержание обменного Ca – 2,25 ммоль(экв) 100 г^{-1} ; содержание гумуса – 3,02%. Высокое содержание гумуса в выбранной для исследования почве объясняется тем, что её формирование протекает под влиянием многолетней травянистой растительности (дерновый процесс).

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. В сосуды помещалось по 300 г воздушно-сухой почвы, предварительно пропущенной через сито с ячейками 1 мм. Почва в поддоне разделялась на четыре равных сегмента. В каждый сегмент помещалась крупная доломитовая частица строго определённой массы (от 1,5 до 2,8 г). Содержание CaCO_3 в доломите составляло 46,1%, $\text{MgCO}_3 - 38,4\%$. Теоретической предпосылкой проводимых исследований являлся известный факт, что процесс растворения крупных частиц известки в почве протекает за счёт контактного обмена поверхности частиц мелиоранта с почвой, не

затрагивая внутренние слои гранул (Небольсин и др., 2010).

В качестве удобрений использовались азофоска (NPK 16:16:16) и химически чистые соли NH_4NO_3 и KCl . Удобрения перед помещением в сосуды тщательно перемешивались с почвой. Доза внесения удобрений: азофоска – 0,360; $\text{NH}_4\text{NO}_3 - 80$; $\text{KCl} - 0,90$ мг сосуд⁻¹.

Схема опыта приведена в табл. 3. Повторность – 4-кратная. В опыте использовались откалиброванные семена пшеницы (сорт Дарья). Посев проводился наклонившимися семенами растений. Норма высева составляла 100 семян на сосуд. Уборка растений проводилась спустя 30 дней после появления всходов.

Сразу после уборки пшеницы из почвы извлекались частицы доломита. С поверхности при помощи кисти удалялась налипшая почва. После этого доломит помещался в термостат и высушивался при температуре 105°C. Далее проводилось взвешивание. Убыль массы частиц определялась по разности. Почва из каждого поддона высушивалась, тщательно

перемешивалась, из нее удалялись корни растений, затем почва пропускалась через сито с отверстиями 1 мм.

Определялись pH_{KCl} , гидролитическая кислотность почвы и содержание в ней обменного кальция.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В работе (Павлова и др., 2020) установлено, что за 22 дня компостирования крупных частиц доломита с почвой, соответствующей используемой в лабораторном опыте, но без выращивания растений, растворения доломита в большинстве сосудов не произошло. Напротив, при выращивании пшеницы убыль массы частиц доломита за 30 дней установлена во всех вариантах опыта (табл. 3). Колебания составляли от 0,025 до 0,031 г (1,23–1,58% от внесённого количества).

Таким образом, поверхность доломитовых частиц уже на начальном этапе взаимодействия с почвой подвергается растворению под влиянием растений, в результате чего катионы Ca и Mg переходят в подвижное состояние. При этом убыль массы частиц доломита в результате их разложения под действием растений превосходит её потери в результате компостирования с почвой. Роль

используемых в опыте минеральных удобрений определить не удалось. Изучение величины pH водных растворов используемых в опыте удобрений показало, что для азофоски она составляла 5,38; для KCl – 6,0; для NH_4NO_3 – 5,09 ед. pH , то есть они характеризовались слабокислой или нейтральной реакцией. По всей вероятности, степень агрессивности водных растворов азофоски, KCl и NH_4NO_3 невелика, а их роль в разложении карбонатов на начальном этапе проведения эксперимента, по-видимому, незначительна.

Почва в естественном состоянии характеризовалась очень сильнокислой реакцией почвенного раствора ($pH_{KCl} = 3,75$ ед). Выращивание растений привело к изменению величины pH_{KCl} (табл. 4). Во всех вариантах опыта за 30 дней эксперимента почва из категории очень сильнокислых перешла в категорию сильнокислых. Минимальное значение величины pH_{KCl} было характерно для почвы в контрольном варианте. В вариантах с использованием минеральных удобрений и доломита значения pH_{KCl} были выше. В целом незначительный мелиоративный эффект от применения крупных фракций доломита объясняется слабой скоростью их разложения за 30 дней проведения эксперимента.

Таблица 3. Убыль массы частиц доломита при выращивании растений пшеницы за 30 дней вегетации.

Вариант	*Масса частиц при закладке опыта, г	Масса частиц после растворения, г	Убыль массы частиц, г	Убыль массы частиц, % от исходной массы
Контроль	–	–	–	–
Азофоска	1,838	1,809	0,029	1,58
NH_4NO_3	2,127	2,096	0,031	1,45
KCl	2,024	1,999	0,025	1,23

Примечание. * Масса частиц доломита, средняя из 4-х повторностей каждого варианта опыта.

Таблица 4. Урожайность зелёной массы пшеницы и кислотно-основные свойства дерново-подзолистой суглинистой почвы

Вариант	Урожайность, г сосуд ⁻¹	Ca ммоль(экв) 100 г ⁻¹	Hг ммоль(экв) 100 г ⁻¹	pH_{KCl}
Контроль	0,79	2,06	10,95	4,04
Азофоска	1,18	2,06	10,4	4,14
NH_4NO_3	0,96	1,94	11,33	4,19
KCl	1,06	1,81	11,88	4,09
HCP ₀₅	0,12	0,54	0,543	0,06

Весь возможный спектр присутствующих в почве кислот можно определить при помощи потенциметрического титрования почвенной суспензии (Амельянчик и др., 1991). Гидролитическая кислотность в опытах на кислых почвах с внесением извести является обязательным агротехническим показателем. Большая часть гидролитической кислотности связана с гумусом почв. Главную роль в формировании Hг играют фракции 1 гуминовых кислот и 1a + 1 фульвокислот (Небольсин и др., 2005).

Выбранная для проведения эксперимента дерново-подзолистая супесчаная почва характеризовалась очень высоким значением Hг – 11,75 ммоль(экв) 100 г⁻¹ почвы. В процессе проведения эксперимента величина гидролитической кислотности изменялась незначительно. Колебания по вариантам опыта составили от 10,4 до

11,88 ммоль(экв) 100 г⁻¹ почвы. Достоверное снижение по сравнению с контролем установлено в варианте с азофоской.

Содержание кальция после уборки растений в отдельных вариантах опыта колебалось от 1,81 до 2,06 ммоль(экв) 100 г⁻¹ почвы. Значимых различий между сравниваемыми вариантами не установлено.

В целом можно констатировать, что известкование крупными частицами доломита на фоне применения минеральных удобрений оказало незначительное влияние на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы на начальном этапе развития растений. Почва за 30 дней выращивания пшеницы перешла из категории очень сильнокислых в категорию сильнокислых. Значимого увеличения содержания обменного кальция и

снижения гидролитической кислотности в отдельных вариантах опыта установить не удалось.

В работе Н. И. Акановой с соавт. (2017) предложено исключить применение минеральных удобрений на почвах с сильноокислой реакцией среды ($pH_{KCl} < 4,5$) и высоким содержанием активного алюминия из-за их возможного негативного воздействия на урожай сельскохозяйственных культур и загрязнения грунтовых вод. В рамках настоящего исследования установлено, что несмотря на весьма незначительное влияние известкования на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы (показатели pH_{KCl} почвы оставались в интервале сильноокислых значений), применение минеральных удобрений оказало положительное воздействие на продуктивность пшеницы. Максимальный выход зелёной массы растений зафиксирован в варианте с применением полного минерального удобрения. Урожайность растений в вариантах с внесением азотных и калийных удобрений была ниже. По влиянию на урожай изученные варианты можно выстроить в следующий убывающий ряд: азофоска > KCl > NH_4NO_3 > контроль. Суммарный выход зелёной массы растений в вариантах опыта с применением удобрений был выше в 1,49; 1,22 и 1,3 раза соответственно по сравнению с контролем. Следует отметить, что использование только азотных или только калийных удобрений положительно сказалось на продуктивности растений, однако значимых различий между указанными вариантами не установлено.

В целом результаты проведённого исследования позволяют сделать вывод, что крупные частицы доломита, локально внесённые в почву в качестве известкового удобрения, не являются «балластом». Они постепенно растворяются, в результате чего содержащиеся в их составе катионы кальция и магния становятся доступными для растений. При этом скорость разложения карбонатных частиц в процессе развития растений увеличивается (Павлова и др., 2020), что положительно сказывается на продуктивности растений. Последнее обстоятельство открывает возможность для использования крупных частиц доломита в качестве известкового мелиоранта.

ВЫВОДЫ

1. Во всех вариантах опыта установлена потеря массы частиц доломита в процессе взаимодействия с почвой. Колебания составили от 0,025 до 0,031 г сосуд⁻¹ (1,23–1,58% от внесённого количества доломита).

2. Выращивание растений привело к изменению величины pH_{KCl} . За 30 дней вегетации пшеницы почва перешла из категории очень сильноокислых в категорию сильноокислых. Содержание кальция в отдельных вариантах опыта колебалось от 1,8 до 2,1 ммоль(экв) 100 г⁻¹ почвы. Значимых различий между вариантами не установлено.

3. Внесение минеральных удобрений и доломита оказало положительное влияние на продуктивность растений. По влиянию на урожайность пшеницы изученные варианты можно выстроить в следующий убывающий ряд: азофоска > KCl > NH_4NO_3 > контроль. Суммарный выход зелёной массы растений в вариантах с применением удобрений был выше соответственно в 1,49; 1,22 и 1,3 раза по сравнению с контролем. Достоверных различий по урожайности между вариантами с применением NH_4NO_3 и KCl не выявлено.

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.
- Амельянич О.А., Воробьёва Л.А. Показатели и методы оценки почвенной кислотности и потребности почв в извести // Агрохимия. 1991. № 2. С. 123–135.
- Кирнштейн Ф.Э. К вопросу о способах внесения извести // Химизация социалистического земледелия. 1941. № 5. С. 40–44.
- Корнилов М.Ф., Благовидов М.Л. Известкование почв Северо-Западной зоны Нечерноземной полосы СССР. М.-Л., 1955. 215 с.
- Лаврищев А.В., Литвинович А.В. Стабильный стронций в агроэкосистемах. СПб.-Краснодар-Москва, 2019. 192 с.
- Литвинович А.В., Ковлева А.О., Павлова О.Ю. Влияние известкования на накопление марганца и железа растениями яровой пшеницы // Агрохимия. 2015. № 5. С. 61–68.
- Литвинович А.В., Небольсина З.П. Продолжительность действия мелиорантов в почвах и эффективность известкования // Агрохимия. 2012. № 10. С. 79–94.
- Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Бирюков В.А. Разложение конверсионного мела в дерново-подзолистой почве в связи с угрозой её загрязнения стабильным стронцием // Агрохимия. 2001. № 11. С. 64–68.
- Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Ковлева А.О. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства // Агрохимия. 2016. № 2. С. 31–41.
- Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Салаев И.В. Скорость растворения в почвах мелиорантов карбонатной природы (эмпирические модели динамики растворения) // Агрохимия. 2016. № 12. С. 42–50.
- Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Известкование почв. Результаты 50-летних полевых опытов. СПб., 2010. 253 с.

- Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб., 2005. 252 с.
- Окорков В.В. О механизме и эффективности взаимодействия извести с кислыми почвами // *Агрохимия*. 2004. № 7. С. 11–21.
- Павлова О.Ю., Берсенева А.О., Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Салаев И.В., Буре В.М. Исследование скорости растворения крупных частиц доломита в кислой дерново-подзолистой супесчаной почве по данным лабораторного опыта // *Агрофизика*. 2020. № 3. С. 23–28.
- Физиология растений. М.: Изд-во Колос, 1976. 420 с.
- Яковлева Л.В. Миграция оснований в дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России. СПб., 2012. 106 с.

References

- Akanova N.I., Shil'nikov I.A., Efremova S.Yu., Avakov M.S. Znachenije khimicheskoy milioratsii v zemledelii i poteri kal'tsiya i magniya iz pochvy [The significance of chemical perforation in agriculture and the loss of calcium and magnesium from the soil] // *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2017, no. 1, pp. 28–35.
- Amel'yanchik O.A., Vorob'yeva L.A. Pokazateli i metody otsenki pochvennoy kislotnosti i potrebnosti pochv v izvesti [Indicators and methods for assessing soil acidity and needs in liming] // *Agrokhimiya*, 1991, no. 2, pp. 123–135.
- Kirnshteyn F.E. K voprosu o sposobakh vneseniya izvesti [On the question of methods of lime application] // *Khimizatsiya sotsialisticheskogo zemledeliya*, 1941, no. 5, pp. 40–44.
- Kornilov M.F., Blagovidov M.L. *Izvestkovaniye pochv Severo-Zapadnoy zony Nechernozemnoy polosy SSSR* [Liming of soils of the North-Western zone of the non-Chernozem zone of the USSR]. Moscow-Leningrad, 1955, 215 p.
- Lavrishchev A.V., Litvinovich A.V. *Stabil'nyy strontsiy v agroekosistemakh* [Stable strontium in agroecosystems]. St.-Petersburg-Krasnodar-Moscow, 2019, 192 p.
- Litvinovich A.V., Kovleva A.O., Pavlova O.Yu. Vliyaniye izvestkovaniya na nakopleniye margantsa i zheleza rasteniyami yarovoy pshenitsy [Influence of liming on the accumulation of manganese and iron in spring wheat plants] // *Agrokhimiya*, 2015, no. 5, pp. 61–68.
- Litvinovich A.V., Nebol'sina Z.P. Prodolzhitel'nost' deystviya meliorantov v pochvakh i effektivnost' izvestkovaniya [Duration of ameliorant action in soils and the effectiveness of liming] // *Agrokhimiya*, 2012, no. 10, pp. 79–94.
- Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Lavrishev A.V., Biryukov V.A. Razlozheniye konversionnogo mela v dernovo-podzolistoy pochve v svyazi s ugrozoy yeye zagryazneniya stabil'nyy strontsiyem [Decomposition of conversion chalk in sod-podzolic soil in connection with the threat of its contamination with stable strontium] // *Agrokhimiya*, 2001, no. 11, pp. 64–68.
- Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Lavrishev A.V., Bure V.M., Kovleva A.O. Meliorativnyye svoystva, udobritel'naya tsennost' i skorost' rastvoreniya v pochvakh razlichnykh po razmeru fraktsiy otseva dolomita, ispol'zuyemogo dlya dorozhnogo stroitel'stva [Reclamation properties, fertilizing value and rate of dissolution in soils of various size fractions of dolomite screening used for road construction] // *Agrokhimiya*, 2016, no. 2, pp. 31–41.
- Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Lavrishev A.V., Bure V.M., Salayev I.V. Skorost' rastvoreniya v pochvakh meliorantov karbonatnoy prirody (empiricheskiye modeli dinamiki rastvoreniya) [The rate of dissolution of carbonate ameliorants in soils (empirical models of dissolution dynamics)] // *Agrokhimiya*, 2016, no. 12, pp. 42–50.
- 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, 2010, 253 p.
- Nebol'sin A.N., Nebol'sina Z.P. *Teoreticheskiye osnovy izvestkovaniya pochv* [Theoretical basis of soil liming]. Saint-Petersburg, 2005, 252 p.
- Okorkov V.V. O mekhanizme i effektivnosti vzaimodeystviya izvesti s kislymi pochvami [On the mechanism and efficiency of interaction of lime with acidic soils] // *Agrokhimiya*, 2004, no. 7, pp. 11–21.
- Pavlova O.Yu., Berseneva A.O., Litvinovich A.V., Lavrishev A.V., Salayev I.V., Bure V.M. Issledovaniye skorosti rastvoreniya krupnykh chastits dolomita v kisloy dernovo-podzolistoy supeschanoy pochve po dannym laboratornogo opyta [Research of the rate of dissolution of large dolomite particles in acidic sod-podzolic sandy loam soil according to laboratory experience data] // *Agrofizika*, 2020, no. 3, pp. 23–28.
- Fiziologiya rasteniy [Physiology of plants]. Moscow: Kolos, 1976, 420 p.
- Yakovleva L.V. Migratsiya osnovaniy v dernovo-podzolistykh pochvakh Severo-Zapada Rossii [Migration of bases in sod-podzolic soils of the North-West of Russia]. Saint-Petersburg, 2012, 106 p.