

Научная статья
УДК 631.821.1
Код ВАК 4.1.3
doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-17-26

ВЛИЯНИЕ СЫРОМОЛОТОГО ДОЛОМИТА НА КИСЛОТНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТНОЙ ПОЧВЫ И УРОЖАЙ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО

А.И. Осипов¹✉, Н.И. Воробьев²

¹Агрофизический научно-исследовательский институт
г. Санкт-Петербург, Россия

✉ aosipov2006@mail.ru

²Всероссийский Научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной микробиологии,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат. К настоящему времени убедительно доказано, что известкование кислых почв является ведущим традиционным мероприятием, которое, устраняя излишнюю кислотность, оказывает положительное действие на свойства почв и почвенную микрофлору. Патогенная грибная микрофлора сменяется на бактериальную. Растет число фосфатмобилизирующих бактерий, азотфиксаторов, целлюлозоразлагающих микроорганизмов. В конце XX в. для удешевления известкования кислых почв ученые предложили использовать сыромолотые мелиоранты грубого помола. Они значительно дешевле пылевидных аналогов, не сносятся ветром в процессе внесения, обладают пролонгированным действием и в меньшей степени вымываются. Для оценки эффективности нового мелиоранта доломита сыромолотого грубого помола в 2012 г. на Меньковском филиале АФИ был заложен многолетний полевой опыт с козлятником восточным. Исследования показали, что используемый в опыте агрохимикат обладает пролонгированным действием и может применяться для известкования кислых почв. Применение доломита сыромолотого грубого помола и компоста многоцелевого назначения повышало эффективность козлятника восточного в течение 2015-2018 гг. За все годы проведения опыта за счет фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями дополнительный прирост урожая козлятника при совместном использовании КМН с известью в дозе 6,4 т/га на его фоне колебался в пределах 2,2–5,4 т/га. При внесении доломита сыромолотого в дозе 3,2 т/га величина дополнительного прироста урожая возделываемой культуры была в пределах 0,8–4,3 т/га (только в первые годы выращивания козлятника). Это свидетельствует о том, что одинарная доза мелиоранта не обеспечила оптимальной реакции среды для эффективной работы азотфиксирующих клубеньковых бактерий.

Ключевые слова: кислотность почв, известкование, доломит сыромолотый, периодичность известкования, дозы и сроки внесения извести

Цитирование. Осипов А.И., Воробьев Н.И. Влияние сыромолотого доломита на кислотность дерново-подзолистой почвы и урожай козлятника восточного // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1. – С. 17–26, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-17-26.

EFFECT OF RAW GROUND DOLOMITE ON SOD-PODZOLIC SOIL
ACIDITY AND YIELD OF EASTERN GALEGAA.I. Osipov¹✉, N.I. Vorobyev²¹Agrophysical Research Institute

St. Petersburg, Russia

✉ aosipov2006@mail.ru

²All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology,

Pushkin, St. Petersburg, Russia

Abstract. By now, it has been convincingly proven that liming acidic soils is a leading and traditional measure that, by eliminating excessive acidity, has a positive effect on soil properties and soil microflora. A bacterial one replaces pathogenic fungal microflora. The number of phosphate-mobilizing bacteria, nitrogen fixators, and cellulose-decomposing microorganisms is growing. At the end of the 20th century, scientists proposed to use coarse ground raw ameliorants to reduce the cost of liming acidic soils. They are much cheaper than dusty analogues, are not carried away by wind during application, have prolonged action and are less washed out. To evaluate the effectiveness of the new ameliorant dolomite raw ground coarse grinding, in 2012 at the Menkov branch of AFI was laid a long-term field experiment with eastern galega. Studies have shown that the agrochemical used in the experiment has a prolonged action and can be used for liming acidic soils. The application of raw ground coarse dolomite and multi-purpose compost increased the efficiency of eastern galega during 2015-2018. During all years of the experiment due to fixation of atmospheric nitrogen by nodule bacteria, the additional yield increase of eastern galega at the joint use of KMN with lime at a dose of 6.4 t/ha on its background ranged from 2.2-5.4 t/ha. At application of raw ground dolomite at a dose of 3.2 t/ha the value of additional yield increase of cultivated crop was within 0.8-4.3 t/ha (and only in the first years of eastern galega cultivation). This indicates that a single dose of meliorant did not provide an optimal reaction of the medium for the effective work of nitrogen-fixing nodule bacteria.

Keywords: soil acidity, acidic soils, chemical ameliorants, liming, acidity, humus, calcium balance, raw ground dolomite, frequency of liming, doses and timing of lime application

Citation. Osipov A.I., Vorobyov N.I. (2024), "Effect of raw ground dolomite on sod-podzolic soil acidity and yield of eastern galega", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 17–26. (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-17-26.

Введение. Известкование кислых почв является неременным условием интенсификации сельскохозяйственного производства. Многолетний мировой опыт и практика земледелия свидетельствуют о постоянном подкислении почв в результате применения минеральных удобрений, корневых выделений, кислотных дождей. Из-за этого существенно снижается продуктивность возделываемых культур, падает качество сельскохозяйственной продукции, ухудшается экологическая обстановка окружающей среды. При высокой кислотности в почвах повышается содержание физиологически токсичных для растений алюминия, марганца и железа, ухудшается питание их фосфором, азотом, калием, микроэлементами (за исключением молибдена), развивается фитопатогенная микрофлора, снижаются все протекающие в почве биологические, физико-химические и биохимические процессы, замедляется рост корней растений. Резко снижается эффективность минеральных удобрений [1–6].

Хорошо известно, что скорость физико-химического взаимодействия известковых удобрений с почвой и продолжительность их действия в большей степени зависят от

химических свойств вносимой извести и ее гранулометрического состава. С увеличением диаметра известковых частиц взаимодействие их с почвой замедляется. Поэтому для того, чтобы уровень реакции почвы поддерживался относительно постоянным в течение продолжительного времени, известковые материалы должны содержать широкий спектр частиц различного размера [7–11].

Цель исследования – получить экспериментальные данные по пролонгированному действию нового мелиоранта доломита сыромолотого грубого помола в многолетнем полевом опыте с козлятником восточным на фоне применения компоста многоцелевого назначения и без его применения. В последующем на основании полученных результатов разработать эмпирические модели скорости снижения кислотности в дерново-подзолистой почве с целью создания технических средств прецизионного земледелия.

Методика проведения исследований. В 2012 г. на Меньковском филиале АФИ был заложен полевой опыт по приведенной ниже схеме. Повторность в опыте двукратная. Изучаемый химический мелиорант и компост многоцелевого назначения (КМН) вносились однократно в этом же году.

Делянки первого порядка (200×16):

- 1) без известкования – контроль;
- 2) доломит сыромолотый грубого помола – 3,2 т/га;
- 3) доломит сыромолотый грубого помола – 6,4 т/га.

Делянки второго порядка (100×16):

- 1) без внесения компоста многоцелевого назначения (КМН);
- 2) С «КМН» – 5 т/га.

Последующие 9 лет мы изучали последствие указанных удобрений на кислотные свойства почвы и урожайность козлятника восточного. Перед посевом семена козлятника обрабатывали ризоторфином, что способствовало приоритетному развитию азотфиксирующих клубеньковых бактерий в ризосфере растений. Высеивали козлятник восточный в первой декаде мая безпокровно в дозе 30 кг/га, что составляло 4,5–5,0 млн семян на гектар с глубиной заделки 2 см.

Математическую обработку данных об урожаях проводили с помощью процедуры двухфакторного дисперсионного анализа подпрограммы ANOVA Statistica v.12, была рассчитана НСР₀₅. Совместное влияние известкования и КМН на урожай козлятника оценивали по величине и знаку синергетической прибавки урожая козлятника, рассчитываемой по следующей формуле:

$$Y_4 = Y_3 - (Y_2 + Y_1),$$

где Y_4 – синергетическая прибавка урожайности козлятника, определяемая совместным применением известкования и КМН;

Y_3 – прибавка урожайности козлятника, полученная при совместном известковании и применении КМН на фоне КМН;

Y_2 – прибавка урожайности козлятника при применении известкования на фоне КМН;

Y_1 – прибавка урожайности козлятника при применении только КМН.

Результаты исследований. Исследования показали, что через год после внесения сыромолотого доломита обменная кислотность почвы уменьшилась в варианте с одинарной дозой с 4,8 до 5,3 рН, а в варианте с двойной дозой мелиоранта – с 4,8 до 5,4–5,6 рН (табл. 1). На протяжении 10 лет опыта в контрольном варианте без внесения КМН (компоста

многоцелевого назначения) кислотность почвы изменялась от среднекислой до сильнокислой, а pH в ней колебалась в пределах 4,8–4,3.

Таблица 1. Влияние доломита сыромолотого на обменную кислотность
дерново-подзолистой почвы
 Table 1. Effect of raw ground dolomite on exchangeable acidity of sod-podzolic soil

Год опыта	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2022
Без КМН							
Фон	4,8	4,4	4,6	4,4	4,6	4,7	4,3
Фон +3,2	5,3	5,1	4,8	4,8	5,2	5,3	4,8
Фон+6,4	5,6	5,6	5,4	5,4	5,6	5,7	5,3
КМН							
Фон	4,8	5,1	5,0	4,4	4,8	4,6	4,6
Фон +3,2	5,3	5,5	5,1	5,1	5,3	5,4	5,0
Фон+6,4	5,4	5,8	5,6	5,6	5,4	5,6	5,8

При внесении КМН степень кислотности сохранилась на уровне среднекислой. При одинарной дозе извести на фоне внесения КМН и без него кислотность почвы уже на второй год опыта из среднекислой степени перешла в слабокислую. Пролонгированное действие данной дозы доломита прослеживалось до 2018 г. В 2022 г. кислотность почвы вернулась к исходному фоновому состоянию (рН_{ксл} – 4,8). При внесении двойной дозы извести процесс известкования был более эффективным, уже в 2014 г. почва из среднекислой степени кислотности перешла в близкую к нейтральной (рН_{кс} 5,6–5,8). Уменьшение кислотности от этой дозы мелиоранта продолжалась до 2022 г. (табл. 1). Следует отметить, что на фоне КМН процесс подкисления был менее заметным. Это объясняется тем, что компост многоцелевого назначения имел слабокислую реакцию рН_{ксл} – 7,2, поэтому совместное действие двойной дозы извести и КМН сдерживало подкисление почвы в данном варианте.

Внесение доломита сыромолотого грубого помола оказало существенное влияние и на гидролитическую кислотность исследуемой почвы (табл. 2).

Таблица 2. Влияние доломита сыромолотого на гидролитическую кислотность
дерново-подзолистой почвы
 Table 2. Effect of raw ground dolomite on hydrolytic acidity of sod-podzolic soil

Год опыта	2013	2015	2016	2017	2018	2022
Без КМН						
Фон	3,02	3,86	3,72	3,46	3,06	4,78
Фон +3,2	2,56	3,84	3,23	2,44	2,41	3,63
Фон+6,4	2,06	2,42	2,36	1,76	1,96	2,44
КМН						
Фон	3,18	2,74	3,94	3,56	3,88	4,02
Фон +3,2	2,11	2,54	3,24	2,36	2,38	3,28
Фон+6,4	2,19	3,07	2,16	2,34	2,21	1,96

В 2013 г. гидролитическая кислотность почвы уменьшилась с 3,02 ммоль/100 г в контроле до 2,56 и 2,06 в опытных вариантах с одинарной и двойной дозами доломита. На фоне КМН – с 3,18 до 2,11 и 2,19 ммоль/100 г соответственно.

За 10 лет проведения опыта гидролитическая кислотность в контрольных вариантах увеличивалась с 3,02 до 4,78 ммоль/100 г без внесения компоста и с 3,18 до 4,02 ммоль/100 г на фоне 5 тонн КМН. Внесение одинарной и двойной доз извести на протяжении всего опыта снижало гидролитическую кислотность в почве по сравнению с контролем, как без компоста многоцелевого назначения, так и на его фоне. Таким образом, полученные результаты подтверждают нашу гипотезу о том, что доломит сыромолотый грубого помола может являться эффективным мелиорантом пролонгированного действия.

Таблица 3. Урожайность сена (т/га) козлятника восточного (2015 г.)
Table 3. Hay yield (t/ha) of eastern galega (2015)

Фон	Варианты опыта	Урожайность, т/га	прибавка	
			т/га	%
Без КМН	Фон	5,3	-	-
	Фон + 3,2	8,5	3,2	60
	Фон + 6,4	11,4	6,1	115
С КМН	Фон	6,7	-	-
	Фон + 3,2	10,7	4,0	60
	Фон + 6,4	11,2	4,5	67
	НСР ₀₅	1,74		

Первый учет урожая сена козлятника восточного был проведен на третий год проведения опыта (2015 г.). Исследования показали, что известкование доломитом сыромолотым грубого помола существенно увеличивает этот показатель. Так, в контрольном варианте урожайность данной культуры была равной 5,3 т/га. На вариантах с одинарной и двойной дозой мелиоранта она составила 8,5 и 11,4 т/га соответственно. Прибавка достигла 60–115%. На фоне 5 т КМН показатели урожайности сена козлятника восточного практически не изменились и были в пределах ошибки опыта, а именно: 6,7; 10,7 и 11,2 т/га, за исключением варианта с одинарной дозой удобрения, где прибавка составила 2,2 т/га (табл. 3).

Таблица 4. Урожайность сена (т/га) козлятника восточного (2016 г.)
Table 4. Hay yield (t/ha) of the eastern galega (2016)

Фон	Варианты опыта	Урожайность, т/га	прибавка	
			т/га	%
Без КМН	Фон	5,0	-	-
	Фон + 3,2	7,3	2,3	46
	Фон + 6,4	11,3	6,3	126
С КМН	Фон	6,5	-	-
	Фон + 3,2	9,5	3,0	46
	Фон + 6,4	9,1	2,6	40
	НСР ₀₅	1,53		

Анализ урожайности сена козлятника восточного в 2016 г. показал аналогичные закономерности. В известкованном контрольном варианте она составила 5,0 т/га, а на фоне 5 тонн КМН – 6,5 т/га. Внесение одинарной и двойной дозы доломита сыромолотого грубого помола существенно увеличили урожайность сена козлятника восточного до 7,3 и 11,3 т/га, а прибавка составила 46–126% соответственно. На фоне 5 т КМН урожайность возделываемой культуры была равной 9,5 и 9,1 т/га, а прибавка 46–40% (табл. 4). В 2017 г. урожайность зеленой массы козлятника на контрольном варианте была получена в размере 19,8 т/га, а на фоне 5 т КМН – 21,7 т/га (табл. 5).

Таблица 5. Урожайность зеленой массы (т/га) козлятника восточного (2017 г.)
Table 5. Yield of green mass (t/ha) of eastern galega (2017)

Фон	Варианты опыта	Урожайность, т/га	прибавка	
			т/га	%
Без КМН	Фон	19,8	-	-
	Фон + 3,2	26,0	6,2	31
	Фон + 6,4	27,1	7,3	37
С КМН	Фон	21,7	-	-
	Фон + 3,2	26,0	4,3	20
	Фон + 6,4	29,5	7,8	36
	НСР ₀₅	4,45		

При внесении одинарной дозы изучаемого мелиоранта урожайность зеленой массы данной культуры увеличилась до 26,0 т/га (на 31%). Аналогичные результаты получены и по фону 5 тонн КМН. Двойная доза мелиоранта не оказала существенного влияния на урожайность зеленой массы козлятника восточного, которая составила 27,1 т/га. Однако на фоне 5 тонн КМН она увеличилась с 26,0 до 29,5 т/га (16%).

Анализируя данные по урожайности зеленой массы козлятника восточного, полученные в 2018 г., можно отметить, что закономерности, изучаемые в опыте, практически сохраняются. Эффективность последствия компоста многоцелевого назначения проявляется как в контрольном варианте, так и в вариантах с одинарной и двойной дозой химического мелиоранта (табл. 6). Так, на контрольном варианте (без КМН) урожайность зеленой массы козлятника составила 30,3 т/га, при известковании одинарной дозой извести получена прибавка 7,4 т/га, а при двойной дозе – 34,1 т/га, на фоне 5 т КМН прибавка составила 10,8 и 25,1 т/га (17–40%) соответственно (табл. 6).

Таблица 6. Урожайность зеленой массы (т/га) козлятника восточного (2018 г.)
 Table 6. Yield of green mass (t/ha) of eastern galega (2018)

Фон	Варианты опыта	Урожайность т/га	прибавка	
			т/га	%
Без КМН	Фон	30,3	-	-
	Фон + 3,2	37,7	7,4	24
	Фон + 6,4	64,4	34,1	112
С КМН	Фон	62,2	-	-
	Фон + 3,2	73,0	10,8	17
	Фон + 6,4	87,3	25,1	40
	НСР ₀₅	5,34		

В табл. 7 приведены данные расчета синергетической прибавки урожайности культуры при использовании одинарной дозы мелиоранта. В качестве примера для их расчетов мы взяли результаты за 2015 г. (табл. 3). Прибавка урожайности козлятника восточного в 2015 г. только от применения КМН (Y1) составила 1,4 (6,7–5,3) т/га, а прирост только от использования извести 3,2 на фоне КМН (Y2) имеет значение 2,2 (10,7–8,5) т/га. Прибавка же от совместного применения КМН и извести 3,2 на фоне КМН (Y3) составила 5,4 (10,7–5,3) т/га. Таким образом, совместное использование КМН и извести 3,2 на его фоне (Y4) создает синергетическую прибавку урожая козлятника в размере 1,8 [5,4 – (1,4+2,2)] т/га. Аналогично были рассчитаны синергетические прибавки, полученные при выращивании козлятника восточного в остальные годы (табл. 7 и 8). Как видно из данных, представленных в табл. 7, синергетическая прибавка урожая козлятника в 2015-2017 гг. при внесении доломита сыромолотого в дозе 3,2 т/га колеблется в пределах 0,8–4,3 т/га. В 2018 г. синергетическая прибавка становится отрицательной. Это свидетельствует о том, что одинарная доза мелиоранта не обеспечила оптимальной реакции среды, необходимой для эффективной работы азотфиксирующих клубеньковых бактерий.

Таблица 7. Синергетическая прибавка урожайности козлятника восточного
 при одинарной дозе мелиоранта

Table 7. Synergistic increase in the yield of the eastern galega
 with a single dose of meliorant

Год опыта	Факторы прироста урожайности в т/га				Синергетическая прибавка урожая козлятника, Y4=Y3-(Y1+Y2)
	КМН, Y1	известь 3,2 на фоне КМН, Y2	КМН + известь 3,2 на фоне КМН, Y1+Y2	КМН и известь 3,2 на фоне КМН Y3	
	1	2	1 + 2	3	
2015	1,4	2,2	3,6	5,4	1,8
2016	1,5	2,2	3,7	4,5	0,8
2017	1,9	0,0	1,9	6,2	4,3
2018	31,9	35,3	67,2	42,7	-24,5

Таблица 8. Синергетическая прибавка урожайности козлятника восточного
при двойной дозе мелиоранта
Table 8. Synergistic increase in the yield of the eastern galega with a double dose of meliorant

Год опыта	Факторы прироста урожайности в т/га				Синергетическая прибавка урожая козлятника, $Y_4 = Y_3 - (Y_1 + Y_2)$
	КМН, Y_1	известь 6,4 на фоне КМН, Y_2	КМН + известь 6,4 на фоне КМН, $Y_1 + Y_2$	КМН и известь 6,4 на фоне КМН, Y_3	
	1	2	1 + 2	3	
2015	1,4	– 0,2	1,2	5,9	4,7
2016	1,5	– 2,2	– 0,7	4,1	4,8
2017	1,9	2,4	4,3	9,7	5,4
2018	31,9	22,9	54,8	57,0	2,2

Как видно из табл. 8, синергетическая прибавка урожая козлятника восточного при внесении двойной дозы доломита сыромолотого колеблется в пределах 2,2–5,4 т/га за все годы проведения опыта. Это свидетельствует о том, что данная доза мелиоранта обеспечивает оптимальную реакцию среды, необходимую для эффективной работы азотфиксирующих клубеньковых бактерий.

Выводы:

1. Доломит сыромолотый грубого помола может быть использован для известкования кислых почв как мелиорант пролонгированного действия. Однако наиболее эффективной дозой для среднекислых почв является двойная доза мелиоранта 6,4 т/га.

2. Применение доломита сыромолотого грубого помола и компоста многоцелевого назначения повышало урожайность козлятника восточного в течение 2015-2018 гг. проведения опыта.

3. Совместное использование КМН и извести в дозе 6,4 т/га создавало синергетическую прибавку урожая козлятника 2,2–5,4 т/га за счет симбиотической фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями за все годы проведения опыта.

4. Дополнительный прирост урожая козлятника за счет фиксации атмосферного азота при внесении доломита сыромолотого в дозе 3,2 т/га составил 0,8–4,3 т/га в первые годы выращивания козлятника. Это свидетельствует о том, что одинарная доза мелиоранта не обеспечила оптимальной реакции среды для эффективной работы азотфиксирующих клубеньковых бактерий.

Список литературы

1. Аканова, Н.И. Эффективность известкования как фактор плодородия почв и охраны окружающей среды // Плодородие. – 2023. – № 3. – С. 5–9.
2. Небольсин, А.Н., Небольсина, З.П. Известкование почв. – СПб.: СПУ им. Дона Боско, 2010. – 254 с.
3. Овчаренко, М.М. и др. Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование). – М.: Наука, 2021. – 116 с.

4. Осипов, А.И. История и практические аспекты известкования кислых почв в России // *Агрохимический вестник*. – 2019. – № 3. – С. 28–36.
5. Сорокин, И.Б., Валетова, Е.А., Воровченко, Т.А. Известкование кислых почв в Сибири // *Аграрная наука – сельскому хозяйству*. – Барнаул, 2021. – С. 419–421.
6. Якушев, В.П. Осипов, А.И., Якушев, В.В. Потенциал развития отрасли растениеводства в РФ с использованием информационных технологий точного земледелия // *Материалы VI Международного форума*. – СПб., 2016. – С. 66–73.
7. Литвинович, А.В., Салаев, И.В., Шевченко, Е.Е. Влияние крупных фракций отсева щебеночного производства на содержание гумуса в дерново-подзолистой суглинистой почве, урожай и химический состав растений гороха // *Агрофизика*. – 2016. – № 3. – С. 7–14.
8. Салаев, И.В., Царенко, В.П. Эффективность использования отсева сыромолотого доломита в качестве мелиоранта на дерново-подзолистых почвах Северо-Запада РФ // *Известия СПбГАУ*. – 2022. – № 4. – С. 84–91.
9. Осипов, А.И. История химической мелиорации почв: проблемы и перспективы развития // *Вестник мелиоративной науки*. – 2022. – № 1. – С. 47–55.
10. Витковская, С.Е., Шаврина, К.Ф. Влияние известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы доломитовой мукой на урожайность сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. – 2022. – № 4. – С. 52–59.
11. Литвинович, А.В., Лаврищев, А.В., Буре, В.М., Салаев, И.В. Потери кальция из мелиорируемой дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при разном уровне влагообеспеченности // *Агрохимия*. – 2023. – № 10. – С. 75–86.

References

1. Akanova, N.I. (2023) 'Liming efficiency as a factor of soil fertility and environmental protection', *Fertility*, no. 3, pp. 5–9 (in Russ.).
2. Nebolsin, A.N., Nebolsina, Z.P. (2010) *Liming of soils*, St. Petersburg, 254 p. (in Russ.).
3. Ovcharenko, M.M., Nekrasov, R.V., Akanova, N.I. et al. (2021) *Techniques for increasing soil fertility (liming, phosphorization, gypsum)*, Moscow, 116 p. (in Russ.).
4. Osipov, A.I. (2019) 'History and practical aspects of liming acidic soils in Russia', *Agrochemical Bulletin*, no. 3, pp. 28–36 (in Russ.).
5. Sorokin, I.B., Valetova, E.A., Vorovchenko, T.A. (2021) 'Liming of acidic soils in Siberia', *Agrarian science-agriculture*, pp. 419–421 (in Russ.).
6. Yakushev, V.P. Osipov, A.I., Yakushev, V.V. (2016) 'Potential of development of the crop industry in the Russian Federation using information technologies of precision agriculture', *Materials of the Sixth International Forum "Food Security"*. St. Petersburg, pp. 66–73 (in Russ.).
7. Litvinovich, A.V., Salaev, I.V., Shevchenko, E.E. (2016) 'The influence of large fractions of gravel production screening on the humus content in sod-podzolic loamy soil, yield and chemical composition of pea plants', *Agrophysics*, no. 3, pp. 7–14 (in Russ.).
8. Salaev, I.V., Tsarenko, V.P. (2022) 'Efficiency of using the screening of raw dolomite as a meliorant on sod-podzolic soils of the North-West of the Russian Federation', *Izvestiya SPbSAU*, no. 4, pp. 84–91. (in Russ.).
9. Osipov, A.I. (2022) 'History of chemical soil reclamation: problems and prospects of development', *Bulletin of Meliorative Science*, no. 1, pp. 47–55 (in Russ.).
10. Vitkovskaya, S.E., Shavrina, K.F. (2022) 'The effect of liming sod-podzolic light loamy soil with dolomite flour on crop yields', *Agrochemistry*, no. 4, pp. 52–59 (in Russ.).
11. Litvinovich, A.V., Lavrishchev, A.V., Bure, V.M., Salaev, I.V. (2023) 'Calcium losses from reclaimed sod-podzolic light loamy soil at different levels of moisture supply', *Agrochemistry*, no. 10, pp. 75–86 (in Russ.).

Сведения об авторах

Осипов Анатолий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», <https://orcid.org/0009-0003-3181-3792>, SPIN-код: 8023-7429, aosipov2006@mail.ru.

Воробьев Николай Иванович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии», <https://orcid.org/0000-0001-8300-2287>, SPIN-код: 7190-9997, nik.ivanvorobyov@yandex.ru.

Information about the authors

Anatoly I. Osipov, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Chief Researcher, Federal State Budgetary Institution "Agrophysical Research Institute", <https://orcid.org/0009-0003-3181-3792>, SPIN-code: 8023-7429; aosipov2006@mail.ru.

Nikolay I. Vorobyov, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, <https://orcid.org/0000-0001-8300-2287>, SPIN-code: 7190-9997; nik.ivanvorobyov@yandex.ru.

Авторский вклад:

Осипов А.И. – концепция исследований, закладка и выполнение полевых опытов, сбор данных, подготовка рукописи;

Воробьев Н.И. – концепция исследований, анализ полученных данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The author's contribution:

Osipov A.I. – the concept of research, the laying and execution of field experiments, data collection, preparation of the manuscript;

Vorobyov N.I. – the concept of research, analysis of the data obtained and their interpretation, preparation of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12.01.2024; одобрена после рецензирования 04.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 12.01.2024; approved after reviewing 02.04.2024; accepted for publication 26.02.2024.