

**СКОРОСТЬ И ХАРАКТЕР РАСТВОРЕНИЯ СЫРОМОЛОТОГО ДОЛОМИТА**

И. В. Салаев

*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»  
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14  
E-mail: ivansalaev@yandex.ru*

*Поступила в редакцию 16 марта 2021 г., принята к печати 24 мая 2021 г.*

В лабораторном эксперименте изучен процесс растворения гранул сыромолотого доломита размером 7–10 мм из месторождения «Елизаветино» (Гатчинский район, Ленинградская область). Растворение доломита, помещённого в растворы с разной кислотностью (диапазон от pH 3,9 до pH 6,5), происходило непрерывно, о чём свидетельствует изменение массы частиц и кислотности растворов. Установлено, что скорость растворения гранул зависит от свойств конкретных частиц доломита и в меньшей степени от кислотности растворов, в которые помещён доломит. За два месяца убыль массы доломита составила от 1,7 до 16%. Наибольшая потеря массы частиц доломита отмечена в первые дни проведения эксперимента, после помещения доломита в растворы. Растворение доломита происходило путём его измельчения в результате химического выветривания с образованием доломитовой муки.

**Ключевые слова:** сыромолотый доломит, известкование, модельные опыты, скорость растворения.

**RATE AND CHARACTER OF RAW DOLOMIT DISSOLUTION**

I. V. Salaev

*Agrophysical Research Institute  
14, Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, Russia, 195220  
E-mail: ivansalaev@yandex.ru*

The process of dissolution of raw dolomite granules (7–10 mm in size) from Elizavetino deposit (Gatchinskiy district, Leningrad region) was studied in a laboratory experiment. The dolomite was dissolved in solutions of different acidity (pH range from 3.9 to 6.5) and the proceeded was going on continuously. That was supported by the changes in the mass of dolomite particles and by the changes in the solutions acidity. It was found that the granules dissolution rate depended on the properties of the specific dolomite particles and, to a lesser extent, on the acidity of the solutions in which the dolomite was placed. For 2 months, the decline of dolomite mass ranged from 1.7 to 16%. The greatest loss of dolomite particles mass was measured in the first days of the experiment, after dolomite was placed in the solutions. Dolomite was dissolved in the process of chemical weathering with the formation of dolomite flour.

**Key words:** raw dolomite, liming, laboratory experiment, dissolution rate.

**ВВЕДЕНИЕ**

Одна из проблем известкования почвы тонко размолотыми мелиорантами (доломитовая мука, известняковая мука) связана с высокими потерями удобрений вследствие выщелачивания из верхнего слоя почвы в нижележащие горизонты. В течение срока действия известки потери в результате вымывания могут достигать половины от внесённого в почву количества кальция (Клебанович, Василюк, 2003).

В результате исследований, проведенных во Франции и посвящённых известкованию почвы различными фракциями мелиорантов, установлено, что при внесении грубых фракций потери кальция и магния в результате вымывания уменьшались, при этом размер фракций мелиоранта не оказывал влияние на урожайность культур, выращиваемых в опытах (Nabu, Anderson, Welch, 1979). Именно для сокращения потерь от вымывания в департаменте Рона-Альпы (Франция) рекомендовано поддерживать pH более 6,5 с помощью медленнодействующих известковых мелиорантов (Fabre, Kockmann, 1990).

При производстве щебня из карбонатных пород, предназначенных для дорожного строительства, в отвалы отсеиваются фракции доломита размером

менее 10 мм. На сегодняшний день в Ленинградской области скопилось более 70 млн. тонн отсева щебёночного производства. Его использование в качестве мелиоранта могло бы существенно снизить остроту проблемы известкования почв области. Доломит из месторождения «Елизаветино» (Гатчинский р-н, Ленинградская обл.) содержит 46,1% CaCO<sub>3</sub> и 38,4% MgCO<sub>3</sub>.

Ранее проводились исследования влияния разных фракций отсева сыромолотого доломита из месторождения «Елизаветино» на урожайность и химический состав растений, кислотно-основные свойства почвы, миграцию щелочноземельных металлов из произвесткованной почвы, почвенную структуру (Салаев, Шевченко, Литвинович, 2016; Салаев, Литвинович, 2018; Салаев, 2017; Лешко с соавт., 2019). Результаты исследований свидетельствуют о том, что отсев доломита является ценным мелиорантом.

Однако до настоящего времени остаются открытыми вопросы, связанные с длительностью и характером растворения отсева доломита.

Доломит является труднорастворимым даже в кислом почвенном растворе и нерастворимым в воде соединением, он устойчив при низких температурах,

коэффициент его растворимости составляет всего лишь  $10^{-17}$  (Драйвер, 1985).

Находясь в почве, гранулы доломита взаимодействуют с почвенным раствором. Одной из основных характеристик почвенного раствора, влияющих на растворение доломита, является кислотность. Кислотность обусловлена многими факторами, постоянно действующими в почвенной среде. К ним относятся параметры дождевой воды, почвенная микрофлора, корневые выделения растений, вносимые в почву удобрения, характеристики самой почвы и материнской породы и т. д.

Целью эксперимента являлось получение данных о длительности и характере растворения отсева доломита.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись гранулы отсева доломита размером 7–10 мм из месторождения «Елизаветино» (Ленинградская область).

Эксперимент подразумевал помещение гранул доломита размером 7–10 мм в водные растворы с различными значениями pH. Разные уровни кислотности растворов достигались путём добавления в дистиллированную воду (100 мл) 0,01н HCl в количествах 0,5 мл (2-й раствор); 0,7 мл (3-й раствор); 1 мл (4-й раствор); 1,3 мл (5-й раствор). Таким образом, опыт включал 5 вариантов – 4 раствора с добавлением кислоты и 1 вариант без добавления кислоты с дистиллированной водой (1-й раствор). Изначальная кислотность растворов ( $pH_1$ ) находилась в пределах от pH 3,9 до pH 6,5. Масса гранул составляла от 0,4912 до 0,8819 г ( $m_1$ ). После того, как доломит был помещен в склянки с растворами, проводилось встряхивание склянок на ротаторе (с целью перемешивания) в течение двух минут с частотой колебаний 190 кол. мин.<sup>-1</sup>, далее склянки с доломитом оставлялись в состоянии покоя. Температура в помещении была равна 20–22°C. Общее время нахождения доломита в растворах во всех вариантах составило 55 суток. Указанный период времени был разделен на 15 промежутков (от 1 до 17 суток). По истечении первого промежутка времени (1 сутки) гранулы доломита доставались из растворов, высушивались при температуре 80°C в течение 1,5 часов и взвешивались на аналитических весах ( $m_2$ ). Определялась величина изменения массы (убыль массы) – разность между текущим и предыдущим значением массы:  $\Delta m = m_1 - m_2$ . Визуальные

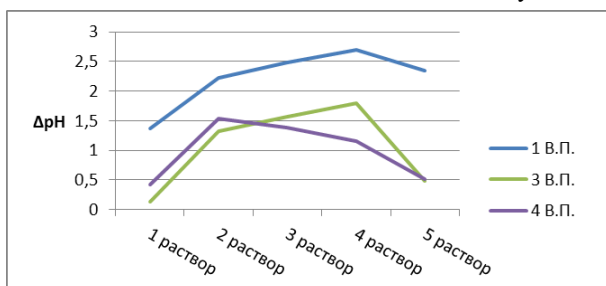


Рис. 1. Изменение кислотности растворов за 1 день

наблюдения за гранулами доломита после высушивания проводились с помощью микроскопа с объективом 8x0,20 ЛОМО. Целью наблюдений являлось отслеживание возможных изменений поверхности гранул при растворении, а также отделившихся от гранул доломита частиц. Одновременно определялась кислотность растворов ( $pH_2$ ) и рассчитывалась величина изменения кислотности каждого раствора:  $\Delta pH = pH_1 - pH_2$ . После измерения параметров доломита и определения кислотности растворов производилась перекладка опыта на следующий временной промежуток, то есть помещение тех же гранул в растворы, приготовленные по ранее описанной схеме. Длительность временных интервалов определялась без какой-либо строгой закономерности. В задачи исследования входило отслеживание растворения доломита на разных отрезках времени. Длительность всех интервалов времени по порядку указана в табл. 5. Показатели измерялись 15 раз.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Изменение кислотности растворов отображено на графиках (рис. 1-4). Графики на рисунках объединены по количеству дней во временных промежутках (В.П.) для большей наглядности и удобства их сравнения.

Из рис. 1 видно, что за один день пребывания гранул доломита в растворах в наименьшей степени изменилась кислотность дистиллированной воды (раствор 1). Изменение pH в подкисленных растворах было более значительным (от 0,49 до 2,69). В самом кислом растворе (5-й раствор) изменение pH было менее значительным по сравнению с другими подкисленными растворами. Однако однозначной зависимости величины изменения pH от изначальной кислотности среды не выявлено.

С увеличением времени нахождения доломита в растворах (2–17 дней) величина изменения pH в дистиллированной воде так и осталась минимальной по сравнению с другими растворами (рис. 2–4). В подкисленных средах сложилась иная ситуация. Чем дольше доломит находился в кислой среде, тем более очевидной становилась связь между начальной кислотностью растворов и изменением величины pH. После 17 дней проведения эксперимента коэффициент корреляции составил (-0,996). Чем выше была величина изначальной кислотности раствора, тем значительнее оказалась величина изменения pH раствора за счёт доломита.

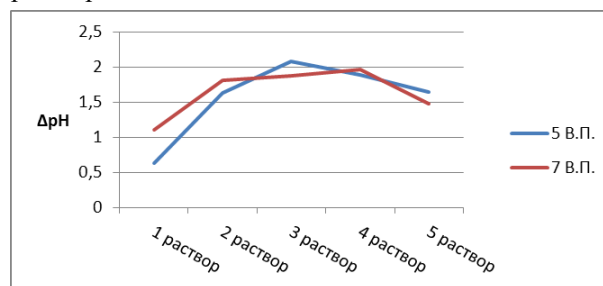


Рис. 2. Изменение кислотности растворов за 2 дня

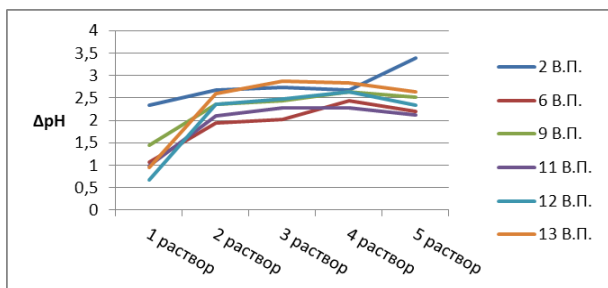


Рис. 3. Изменение кислотности растворов за 3 дня

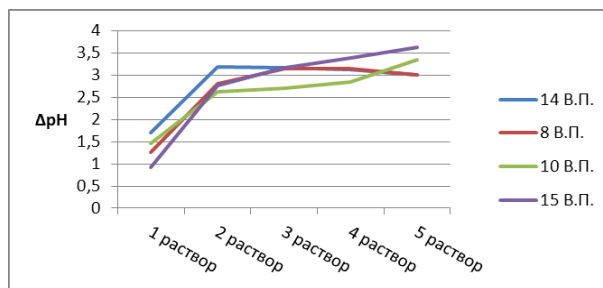


Рис. 4. Изменение кислотности растворов за 4–17 дней

Повышение рН в результате помещения частиц доломита в растворы отмечалось всегда вне зависимости от интервала времени (1–17 суток). Это, безусловно, свидетельствует о растворении доломита.

Помимо кислотности растворов определялась масса помещённого в них доломита. Данные об изменении массы частиц доломита приведены в табл. 1–4.

Таблица 1. Изменение массы гранул доломита ( $\Delta m$ ) за один день, г

	№ временного промежутка		
	1	3	4
1-й раствор	0,0069	0,0004	0,0001
2-й раствор	0,0012	0,0003	0,0001
3-й раствор	0,0035	0,0005	0,0003
4-й раствор	0,0757	0,0008	0,0006
5-й раствор	0,0028	0,0003	0,0004

Таблица 2. Изменение массы гранул доломита ( $\Delta m$ ) за два дня, г

	№ временного промежутка	
	5	7
1-й раствор	0,0005	0,0001
2-й раствор	0,0002	0,0007
3-й раствор	0,0005	0,0009
4-й раствор	0,0004	0,0011
5-й раствор	0,0006	0,0009

Таблица 3. Изменение массы гранул доломита ( $\Delta m$ ) за три дня, г

	№ временного промежутка					
	2	6	9	11	12	13
1-й раствор	0,0019	0	0,0007	0,0006	0,0002	0,0004
2-й раствор	0,0009	0	0,0005	0,0004	0,0003	0,0004
3-й раствор	0,0013	0	0,0010	0,0006	0,0004	0,0009
4-й раствор	0,0043	0,0002	0,0016	0,0022	0,00011	0,0018
5-й раствор	0,0017	0,0004	0,0009	0,0008	0,0008	0,0017

Таблица 4. Изменение массы гранул доломита за ( $\Delta m$ ) 4, 5, 17 дней, г

	№ временного промежутка			
	14	15	8	10
1-й раствор	0,0012	0,0009	0,0006	0,0006
2-й раствор	0,0009	0,0008	0,0004	0,0014
3-й раствор	0,0015	0,0011	0,0006	0,0017
4-й раствор	0,0015	0,0024	0,0006	0,0020
5-й раствор	0,0013	0,0012	0,0010	0,0019

Таблица 5. Длительность промежутков времени

№ временного промежутка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Длительность промежутка, сут.	1	3	1	1	2	3	2	5	3	17	3	3	3	4	4

Полученные данные свидетельствуют об уменьшении массы гранул доломита вне зависимости от времени их нахождения в растворах. Взвешивание гранул за время эксперимента проводилось 15 раз. Наибольшая убыль массы всех пяти гранул зафиксирована при первом взвешивании, после одного дня нахождения доломита в растворах. При этом связь между изменением массы доломита и кислотностью среды не обнаружена. По-видимому, растворение доломита во многом зависит от свойств конкретных гранул.

Находясь в насыпных отвалах, отсев доломита подвергается процессам техногенного выветривания. Под воздействием природных и техногенных агентов происходит изменение его состояния и свойств: набухание, расслоение, избыточное увлажнение, образование новых и расширение старых трещин дезинтеграции, растворение и выщелачивание (Иванов, Тржцинский, 2001).

За 55 суток нахождения в разных растворах убыль массы частиц доломита составила от 1,7 % во 2-м растворе до 16 % в 4-м растворе.

На рис. 5 показана динамика величины изменения массы доломита за время проведения эксперимента. Из рисунка видно, что наибольшая

потеря массы доломита зафиксирована в первые дни. Ранее проведённые исследования миграции щелочноземельных металлов из почвы, произвесткованной тем же доломитом, а также показатели кислотности произвесткованной почвы подтверждают данную тенденцию. Наибольшее количество кальция и магния из произвесткованной отсевом почвы вымывается в первый год проведения эксперимента, что свидетельствует о более интенсивном растворении гранул доломита в первое время после попадания мелиоранта в почву (Салаев, Литвинович, 2018). Наиболее высокие значения pH почвы зафиксированы в первый год исследований (Салаев, 2017).

Одновременно с определением кислотности растворов и массы гранул доломита проводились визуальные наблюдения. Несколько раз (после 1, 39, 42 суток) на дне склянок после извлечения гранул были отчетливо видны мелкие частицы доломита. На фильтре, через который пропускался раствор, частицы задерживались. На рис. 6 представлены фотографии фильтров, сделанные через микроскоп на 39-е сутки. На них отчетливо видны кристаллы доломита. Размер кристаллов соответствует размеру частиц доломитовой муки.

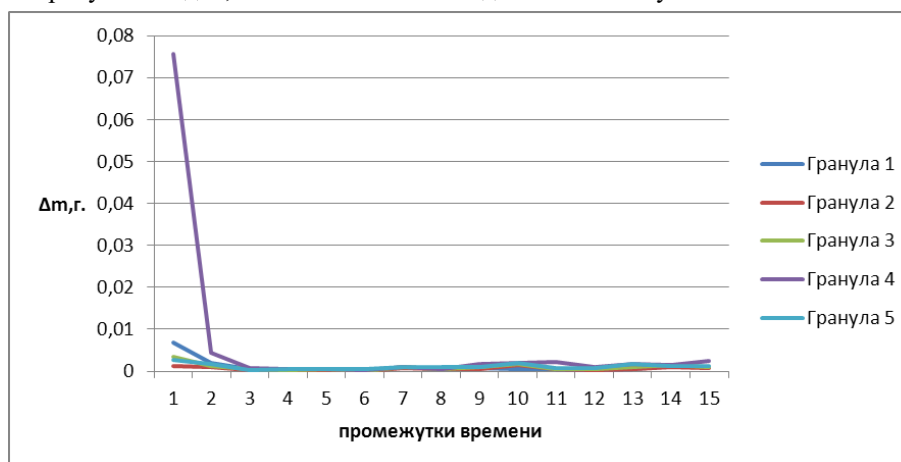


Рис. 5. Изменение массы доломита в динамике

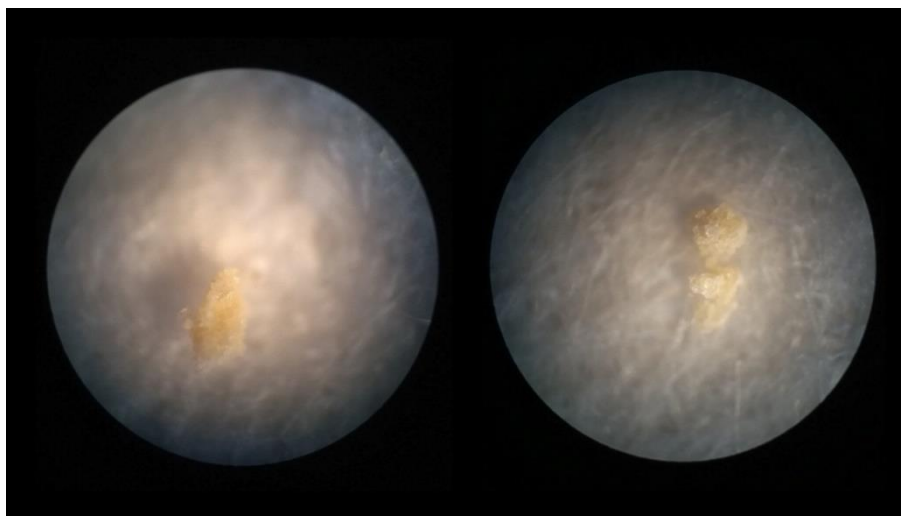


Рис. 6. Изображение частиц доломита (доломитовая мука), образовавшихся из крупных фракций отсева щебня в ходе эксперимента

Доломитовая порода, сложенная исключительно минералогически чистым доломитом ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), встречается очень редко. Чаще всего доломитовая порода состоит из кальцита, магнезита и собственно доломита. Обычно из-за избытка  $\text{CaCO}_3$  образуется кальцитовый цемент, скрепляющий ромбоэдрические кристаллы двойного карбоната. Следовательно, растворение среднего доломита является результатом двух разных параллельно идущих процессов: 1) растворения кальцита (или магнезита), цементирующего кристаллы двойной соли; 2) растворения зерен собственно двойной соли (доломита). Так как растворимость чистого кальцита (и чистого магнезита) выше, чем растворимость двойной соли, вследствие избирательного растворения происходит процесс, приводящий к измельчению доломита в результате химического выветривания и образованию порошковидного доломита и доломитовых обломков (Якуч, 1979).

Очевидно, что в рамках проводимого эксперимента процесс растворения гранул отсева доломита происходил именно таким образом.

## ВЫВОДЫ

1. Растворение гранул доломита размером 7–10 мм, помещённых в растворы с разной кислотностью, происходит непрерывно, о чём свидетельствует изменение массы частиц, а также кислотности растворов. За 55 суток убыль массы гранул доломита составила от 1,7 до 16 %. Наибольшая потеря массы гранул доломита отмечена в первые сутки. На интервале в 17 суток обнаружена следующая закономерность: чем выше величина начальной кислотности раствора, тем значительнее величина изменения его pH за счёт доломита.

2. Скорость растворения гранул зависит от свойств конкретных частиц доломита и в меньшей степени от кислотности растворов (диапазон от pH 3,9 до pH 6,5), в которые помещён доломит. При использовании отсева доломита нужно учитывать продолжительность времени, в течение которого доломит находился в отвалах и подвергался процессам техногенного выветривания.

3. На основании визуальных наблюдений за исследуемым доломитом можно сделать вывод о том, что процесс его растворения заключается в измельчении гранул в результате химического выветривания с образованием доломитовой муки.

## Список литературы

- Драйвер Д. Геохимия природных вод. М., 1985. 440 с.
- Иванов И.П., Грждинский Ю.Б. Инженерная геодинамика. СПб., 2001. 416 с.
- Клебанович Н.В., Василюк Г.В. Известкование почв Беларуси. Минск, 2003. 322 с.
- Лешко Т.Л., Литвинович А.В., Манаков П.С., Тябин А.О. Изменение структурного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (umbric albeluvisols abruptic) при известковании крупными частицами доломитовой крошки // *Агрофизика*. 2019. № 1. С. 15–25.
- Салаев И.В. Влияние известкования на содержание в почве подвижного марганца и накопление марганца растениями // *Гумус и почвообразование*. 2017. С. 78–82.
- Салаев И.В., Литвинович А.В. Интенсивность миграции кальция и магния из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой крупными фракциями отсева щебёночного производства // *Агрофизика*. 2018. № 2. С. 22–28.
- Салаев И.В., Шевченко Е.Е., Литвинович А.В. Влияние высоких доз крупных фракций отсева доломита на урожай и качество гороха // *Международный конгресс «Сельское хозяйство – драйвер российской экономики (для обсуждения и выработки решений)» в рамках международной агропромышленной выставки-ярмарки «Агрорусь-2016»*. Санкт-Петербург, 30 августа 2016 г. СПб.: ЗАО «ЭкспоФорум», 2016. С. 109–110.
- Якуч Л. Морфогенез карстовых областей. М.: Прогресс, 1979. 388 с.
- Fabre B., Kockmann F. Fertilite des terrains limoneux battants: le chaulage reste d' actualite // *Cultivar.*, 1990, B. 283, pp. 58–61.
- Haby V.A., Anderson W.B., Welch C.D. Effect of limestone variables on amendment of acid soils and production of corn and coastal Bermudagrass // *Soil Sci. Soc. of Am. Proceedings*, 1979, v. 43, no. 2, pp. 343–347.

## References

- Driver D. *Geokhimiya prirodnykh vod* [Geochemistry of natural waters]. Moscow, 1985, 440 p.
- Ivanov I.P., Trzhtsin'skiy Yu.B. *Inzhenernaya geodinamika* [Engineering geodynamics]. Saint-Petersburg, 2001, 416 p.
- Klebanovich N.V., Vasilyuk G.V. *Izvestkovaniye pochv Belarusi* [Liming of the soils of Belarus]. Minsk, 2003, 322 p.
- Leshko T.L., Litvinovich A.V., Manakov P.S., Tyabin A.O. *Izmeneniye strukturnogo sostoyaniya dernovo-podzolistoy legkosuglinistoy pochvy (umbric albeluvisols abruptic) pri izvestkovanii krupnymi chastitsami dolomitovoy kroschki* [Changes in the structural state of sod-podzolic light loamy soil (umbric albeluvisols abruptic) during liming with large particles of dolomite crumbs] // *Agrofizika*, 2019, no. 1, pp. 15–25.
- Salayev I.V. *Vliyaniye izvestkovaniya na soderzhaniye v pochve podvizhnogo margantsa i nakopleniye margantsa rasteniyami* [The effect of liming on the content of mobile manganese in the soil and the accumulation of manganese by plants] // *Gumus i pochvoobrazovaniye*, 2017, pp. 78–82.

- Salayev I.V., Litvinovich A.V. Intensivnost' migratsii kal'tsiya i magniya iz dernovo-podzolistoy legkosuglinistoy pochvy, melioriruyemoy krupnymi fraktsiyami otseva shchebyonchnogo proizvodstva [The intensity of migration of calcium and magnesium from sod-podzolic light-loamy soil limed by large fractions of gravel production screening] // *Agrofizika*, 2018, no. 2, pp. 22–28.
- Salayev I.V., Shevchenko E.E., Litvinovich A.V. Vliyaniye vysokikh doz krupnykh fraktsiy otseva dolomita na urozhay i kachestvo gorokha [The effect of high doses of large fractions of dolomite screening on the yield and quality of peas] // *Mezhdunarodnyy kongress «Sel'skoye khozyaystvo – drayver rossiyskoy ekonomiki (dlya obsuzhdeniya i vyrabotki resheniy)» v ramkakh mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki-yarmarki «Agrorus'-2016»*. Sankt-Peterburg, 30 avgusta 2016 g. Saint-Petersburg: ZAO «EkspoForum», 2016, pp. 109–110.
- Yakuch L. *Morfogenez karstovykh oblastey* [Morphogenesis of karst areas]. Moscow: Progress, 1979, 388 p.
- Fabre B., Kockmann F. Fertilite des terrains limoneux battants: le chaulage reste d' actualite // *Cultivar.*, 1990, B. 283, pp. 58–61.
- Haby V.A., Anderson W.B., Welch C.D. Effect of limestone variables on amendment of acid soils and production of corn and coastal Bermudagrass // *Soil Sci. Soc. of Am. Proceedings*, 1979, v. 43, no. 2, pp. 343–347.