

УДК 631.43:631.821:631.445.24:631.42.2

ПРОЦЕСС РАЗЛОЖЕНИЯ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ ДОЛОМИТА В СИЛЬНОКИСЛОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ. ДИНАМИКА УБЫЛИ МАССЫ ДОЛОМИТА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РАСТВОРЕНИЯ (ПО ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНОГО ОПЫТА)

© 2022 г. А. В. Литвинович^{1,*}, А. О. Берсенева², О. Ю. Павлова¹,
А. В. Лаврищев², В. М. Буре^{1,3}

¹ Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 С.-Петербург, Гражданский просп., 14, Россия

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

³ Санкт-Петербургский государственный университет
199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 6–9, Россия

*E-mail: av.lavrishchev@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.06.2021 г.

После доработки 09.09.2021 г.

Принята к публикации 15.12.2021 г.

В лабораторном опыте установлена динамика убыли массы крупных частиц доломита (~3 г) в сильно кислой дерново-подзолистой супесчаной почве. Выявлено, что за 114 сут компостирования величина убыли массы доломита менялась от 8.7 до 34.2% от исходного содержания. Потери массы гранул в результате разложения при компостировании в период от 114 до 224 сут замедлились и изменялись в зависимости от варианта от 2.2 до 5.1%, в период 224–312 сут – 1.3–3.0% от исходной массы доломита. Рассмотрен механизм выветривания и перечислены факторы, усиливающие скорость растворения доломитовой крошки в почве. Разработаны линейные эмпирические зависимости скорости растворения доломита на разных этапах опыта. Проведена кластеризация разработанных моделей по абсолютным величинам скорости убывания массы частиц в сосудах. Предложено учитывать время нахождения доломита в отвалах при определении дозы применения крупных частиц доломита для мелиорации кислых почв.

Ключевые слова: разложение крупных частиц, доломит, сильнокислая дерново-подзолистая супесчаная почва, динамика убыли массы доломита, разные стадии растворения, лабораторный опыт.

DOI: 10.31857/S0002188122030061

ВВЕДЕНИЕ

При производстве из карбонатных пород щебня, используемого для дорожного строительства, в отвалы отсеиваются частицы доломита размером <10 мм. С 2011 г. в лаборатории мелиорации почв Агрофизического научно-исследовательского института (г. Санкт-Петербург, Россия) изучают мелиоративные свойства и удобрительную ценность крупных фракций доломитовой крошки, вносимых в почву в заведомо завышенных дозах [1–7]. Теоретической предпосылкой проведения подобного рода исследований является известный факт, что при увеличении дозы применения крупных частиц мелиоранта для известкования, влияние тонины помола нивелируется.

При попадании в почву карбонатных пород в результате контактного обмена поверхности частиц с почвой, они постепенно разлагаются. На первом этапе происходит разрушение структурных связей за счет растворения в первую очередь крипстокристаллического карбонатного вещества, находящегося между кристаллами карбонатов [8–10]. Процесс растворения не затрагивает внутренние слои гранул. В результате выветривания увеличивается пористость крупных частиц карбонатов, уменьшается их размер и плотность, возрастает шероховатость поверхности. Это увеличивает доступ агрессивных растворов к карбонатам внутренних слоев и ускоряет их разложение. В конечном счете выветривание доломита дает доломитовую муку, представляющую собой рыхлые скопления кристаллов доломита, нако-

Таблица 1. Валовый 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	81.1	9.28	1.19	7.97	0.44	0.47	0.11	0.51	99.4

Таблица 2. Гранулометрический состав почвы

Размер фракции, мм							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	
Доля фракции, %							Супесчаная пылевато-песчаная
1.77	58.1	21.5	5.95	7.04	6.86	18.6	

пившиеся на месте растворения карбонатного цемента [11]. В условиях Северо-Запада Российской Федерации карбонатные породы – самые неустойчивые компоненты в профиле почв.

Основными агентами абиотического разрушения карбонатных пород служит вода, тепловая энергия солнца, углекислота. Важными биотическими факторами процесса растворения карбонатов являются корневые выделения растений [12], бактериальная микрофлора [13–17], продукты метаболизма микрофлоры [18–21], органические кислоты, образующиеся при разложении органических остатков [22–25].

Несмотря на вполне определенные теоретические представления о механизме выветривания карбонатных пород в почвах вопрос о скорости растворения крупных частиц доломита остается до конца не выясненным. Например, в длительных полевых опытах, проведенных на Albic Retisols разного уровня кислотности спустя 6 опытолет визуально установлено наличие в почве неразложившихся частиц доломита размером 3–5, 5–7 и 7–10 мм. При этом эффект от их применения в количестве, рассчитанном по 3-м и 5-ти дозам гидролитической кислотности не уступал доломитовой муке, внесенной в научно обоснованной дозе [1, 25].

Цель работы – в условиях длительного компостирования частиц доломита с сильноокислой дерново-подзолистой супесчаной почвой установить потери массы мелиоранта в результате растворения.

Задачи исследования: разработать линейные эмпирические зависимости (модели), описывающие процессы разрушения доломитовых частиц в почве; определить скорость растворения доломита на разных этапах проведения опыта; провести кластеризацию разработанных зависимостей по абсолютным величинам скорости убывания массы частиц в сосудах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования служили кислая дерново-подзолистая супесчаная почва и крупные частицы доломита, находящиеся в отвалах различное количество лет.

Валовой химический и гранулометрический состав почвы представлен в табл. 1, 2. Выбранная для исследований почва по гранулометрическому составу является супесчаной пылевато-песчаной разновидностью и содержит в своем составе незначительное количество катионов кальция и магния.

Физико-химическая характеристика почвы следующая: рН_{KCl} 3.75, H_t – 11.75 ммоль(экв)/100 г почвы, содержание гумуса – 3.02%, частиц <0.01 мм – 18.6%. Содержание CaCO₃ в доломите – 46.1, MgCO₃ – 38.4%. По содержанию вредных примесей (тяжелых металлов) доломит не представляет угрозы для загрязнения почв и растений [1].

Частицы доломита отбирали из разных частей большого террикона, сформированного в процессе длительного складирования доломитовой крошки на протяжении не менее 10–15 лет. Таким образом, перед помещением в почву на протяжении определенного количества времени, доломитовая крошка подвергалась воздействию света, тепла и влаги.

Лабораторный опыт проводили в 2020 г. Методика его проведения заключалась в следующем: в стеклянные стаканы насыпали 200 г воздушно-сухой почвы, предварительно пропущенной сквозь сито с ячейками 1 мм. В каждый из стаканов помещали гранулу сухого доломита строго определенной массы (~3 г). Почву увлажняли до величины, соответствующей 60% ПВ. Компостирование проводили в термостате при температуре 24°C. Сосуды ежедневно взвешивали, доливая испарившееся количество влаги. Одновременно почву тщательно перемешивали.

Таблица 3. Убыль массы доломитовой крошки (г) в процессе компостирования с почвой

Вариант	Срок компостирования, сут					
	0	22	61	81	114	144
4	3.13	3.13(0)	3.00(4.2)	2.78(11.2)	2.06(34.2)	2.05(34.5)
48	3.11	3.08(1.0)	2.98(4.1)	2.90(6.8)	2.84(8.7)	2.80(9.9)
66	3.06	3.06(0)	2.88(5.9)	2.77(9.5)	2.70(11.8)	2.67(12.7)
73	2.95	2.95(0)	2.72(7.8)	2.52(14.6)	2.43(17.6)	2.33(21.0)
92	3.05	3.02(1.0)	2.80(8.2)	2.71(11.2)	2.61(14.5)	2.56(16.1)
	Срок компостирования, сут					
	174	204	224	253	281	312
4	2.05(34.5)	2.01(35.7)	1.99(36.4)	1.97(37.1)	1.95(37.7)	1.95(37.7)
48	2.79(10.3)	2.76(11.3)	2.76(11.3)	2.74(11.9)	2.73(12.2)	2.68(13.8)
66	2.64(13.7)	2.61(14.7)	2.59(15.4)	2.59(15.4)	2.56(16.3)	2.54(16.9)
73	2.33(21.0)	2.28(22.7)	2.28(22.7)	2.25(23.7)	2.23(24.4)	2.19(25.7)
92	2.56(16.1)	2.49(18.4)	2.47(19.0)	2.46(19.3)	2.44(20.0)	2.43(20.3)

Примечание. В скобках – доля растворенного доломита, %.

Убыль массы частиц доломита в каждом стакане (варианте) устанавливали спустя 22, 61, 81, 114, 144, 204, 244, 253, 281 и 312 сут после закладки опыта. Для этого гранулы доломита извлекали из почвы, кисточкой удаляли налипшую на поверхность частиц почву. Перед взвешиванием гранулы доломита высушивали при $t = 105^{\circ}\text{C}$ в течение 2-х ч. Далее опять проводили компостирование, помещая доломит в почву.

Полученные результаты использовали для построения моделей [26]. Для расчетов весь период наблюдений условно разделяли на 3 приблизительно равных интервала: от 1 до 114, от 114 до 224 и от 224 до 312 сут.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показано (табл. 3), что за 22 сут убыль массы частиц доломита в большинстве вариантов установить не удалось. На 61-е сут нахождения доломита в почве потери его частиц изменялись от 4.1 до 8.2% от внесенного количества. В интервале наблюдений от 61 до 114 сут потери массы частиц в отдельных сосудах усилились и составили в зависимости от варианта 34.2, 8.7, 11.8, 17.6 и 14.5% от исходной массы внесенного доломита.

Неодинаковые темпы разложения частиц доломита в почве можно объяснить следующим образом. В результате складирования на открытых площадках частицы доломита постепенно разрушаются. Интенсивность выветривания будет зависеть от времени и места нахождения частиц в отвалах, размера частиц доломита, скорости

фильтрации просачивающейся влаги, ее агрессивности и погодных условий, складывающихся в этот период времени. В результате при попадании в почву скорость растворения доломитовых частиц различной степени выветрелости (разрушения) будет различной.

Эмпирические зависимости убыли массы частиц доломита за 114 сут проведения опыта представлены в табл. 4. Эмпирические модели статистически значимы на очень высоком уровне значимости. Коэффициент детерминации менялся ($R^2 = 0.88-0.99$). Скорость растворения на первом этапе опыта составила: $v_{4.1} = -0.0087$, $v_{48.1} = -0.0025$, $v_{66.1} = -0.0035$, $v_{73.1} = -0.005$, $v_{92.1} = -0.0042$. На рис. 1а представлены линейные тренды убывания массы частиц в отдельных сосудах опыта за первые 114 сут наблюдений.

Учитывая средние показатели абсолютных величин скорости убывания массы частиц доломита в отдельных вариантах и вид (наклон) трендов, можно предложить следующую кластеризацию вариантов. В группу 1 можно включить вариант 4, поскольку средняя скорость убывания массы доломита за 114 сут была значительно больше остальных средних скоростей убывания в своих группах. В группу 2 можно включить вариант 73, поскольку средняя скорость убывания массы доломита за 114 сут была существенно меньше, чем во всех остальных вариантах опыта.

В группу 3 входили варианты 48, 66, 92. Средние скорости убывания массы доломита за 114 сут в этих вариантах мало различались между собой,

Таблица 4. Эмпирические зависимости убыли массы частиц доломита на разных этапах проведения опыта

Вариант	Период, сут	Эмпирические зависимости	R^2	Скорость растворения
4	0–114	$y_{4.1} = 3.30 - 0.0087t$	$R^2 = 0.77$	$v_{4.1} = -0.0087$
	114–224	$y_{4.3} = 2.14 - 0.0006t$,	$R^2 = 0.85$	$v_{4.3} = -0.0006$
	0–224	$y_{4.2} = 3.16 - 0.006t$	$R^2 = 0.84$	$v_{4.2} = -0.006$
	224–312	$y_{4.4} = 2.09 - 0.0005t$	$R^2 = 0.88$	$v_{4.4} = -0.0005$
	0–312	$y_{4.5} = 3.01 - 0.004t$	$R^2 = 0.77$	$v_{4.5} = -0.004$
48	0–114	$y_{48.1} = 3.10 - 0.0025t$	$R^2 = 0.98$	$v_{48.1} = -0.0025$
	114–224	$y_{48.3} = 2.90 - 0.0007t$	$R^2 = 0.94$	$v_{48.3} = -0.0007$
	0–224	$y_{48.2} = 3.10 - 0.0017t$	$R^2 = 0.92$	$v_{48.2} = -0.0017$
	224–312	$y_{48.4} = 2.96 - 0.00086t$	$R^2 = 0.91$	$v_{48.4} = -0.00086$
	0–312	$y_{48.5} = 3.05 - 0.0013t$	$R^2 = 0.89$	$v_{48.5} = -0.0013$
66	0–114	$y_{66.1} = 3.09 - 0.0035t$	$R^2 = 0.96$	$v_{66.1} = -0.0035$
	114–224	$y_{66.3} = 2.80 - 0.001t$	$R^2 = 0.99$	$v_{66.3} = -0.001$
	0–224	$y_{66.2} = 3.03 - 0.0022t$	$R^2 = 0.90$	$v_{66.2} = -0.0022$
	224–312	$y_{66.4} = 2.73 - 0.0006t$	$R^2 = 0.90$	$v_{66.4} = -0.0006$
	0–312	$y_{66.5} = 2.98 - 0.0017t$	$R^2 = 0.86$	$v_{66.5} = -0.0017$
73	0–114	$y_{73.1} = 3.00 - 0.005t$	$R^2 = 0.94$	$v_{73.1} = -0.005$
	114–224	$y_{73.3} = 2.54 - 0.001t$	$R^2 = 0.84$	$v_{73.3} = -0.001$
	0–224	$y_{73.2} = 2.90 - 0.003t$	$R^2 = 0.89$	$v_{73.2} = -0.003$
	224–312	$y_{73.4} = 2.50 - 0.001t$	$R^2 = 0.98$	$v_{73.4} = -0.001$
	0–312	$y_{73.5} = 2.80 - 0.0025t$	$R^2 = 0.84$	$v_{73.5} = -0.0025$
92	0–114	$y_{92.1} = 3.07 - 0.0042t$	$R^2 = 0.97$	$v_{92.1} = -0.0042$
	114–224	$y_{92.3} = 2.75 - 0.001t$	$R^2 = 0.93$	$v_{92.3} = -0.001$
	0–224	$y_{92.2} = 3.00 - 0.0026t$	$R^2 = 0.91$	$v_{92.2} = -0.0026$
	224–312	$y_{92.4} = 2.58 - 0.0005t$	$R^2 = 0.97$	$v_{92.4} = -0.0005$
	0–312	$y_{92.5} = 2.90 - 0.002t$	$R^2 = 0.86$	$v_{92.2} = -0.002$

они были существенно меньше, чем в варианте 4 и заметно больше, чем в варианте 73.

Убыль массы доломита в интервале наблюдений от 114 до 224 сут зафиксирована во всех вариантах. Однако темпы растворения существенно снизились. Если за первые 114 сут убыль массы в зависимости от варианта менялась от 8.7 до 34.2%, то за последующие 110 сут потери в отдельных вариантах варьировали от 2.2 до 5.1%. Таким образом, вне зависимости от варианта, по мере проведения эксперимента растворение крупных частиц доломита в почве замедлялось.

Снижение темпов разложения частиц доломита на втором этапе наблюдений можно объяснить следующим образом. Находящийся в отвалах доломит подвергался физическому разрушению

(проходили процессы выветривания поверхности гранул). В результате внешний слой приобретал определенную рыхлость и при попадании в почву быстро растворялся. Далее разложение замедлялось, поскольку расположенные под выветрелым слоем внутренние слои имели более прочное сложение.

В работе [27] показано, что динамика изменения величины pH_{KCl} в вариантах с применением частиц 5–7 и 7–10 мм вне зависимости от дозы доломита носила сходный характер и подчинялась следующей закономерности: сначала резкий рост величины pH спустя один опытно-год после закладки опыта, затем после уборки 2-го урожая растений величины pH_{KCl} почвы снижались. На третий опытно-год величина pH опять возрас-

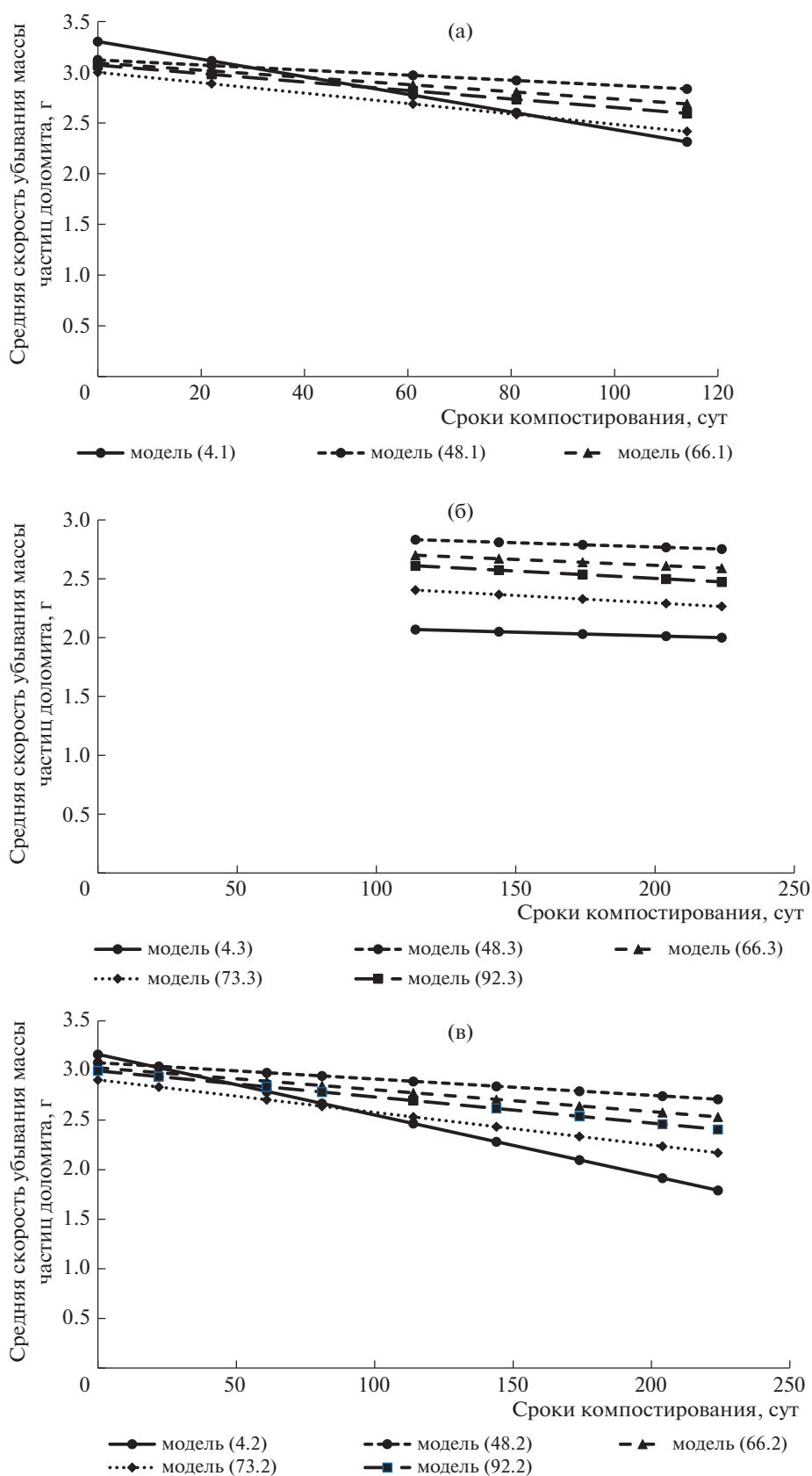


Рис. 1. Графики зависимостей растворения частиц доломита за период наблюдений: (а) – 0–114 сут, (б) – 114–224 сут, (в) – 0–224 сут, (г) – 244–312 сут, (д) – 0–312 сут.

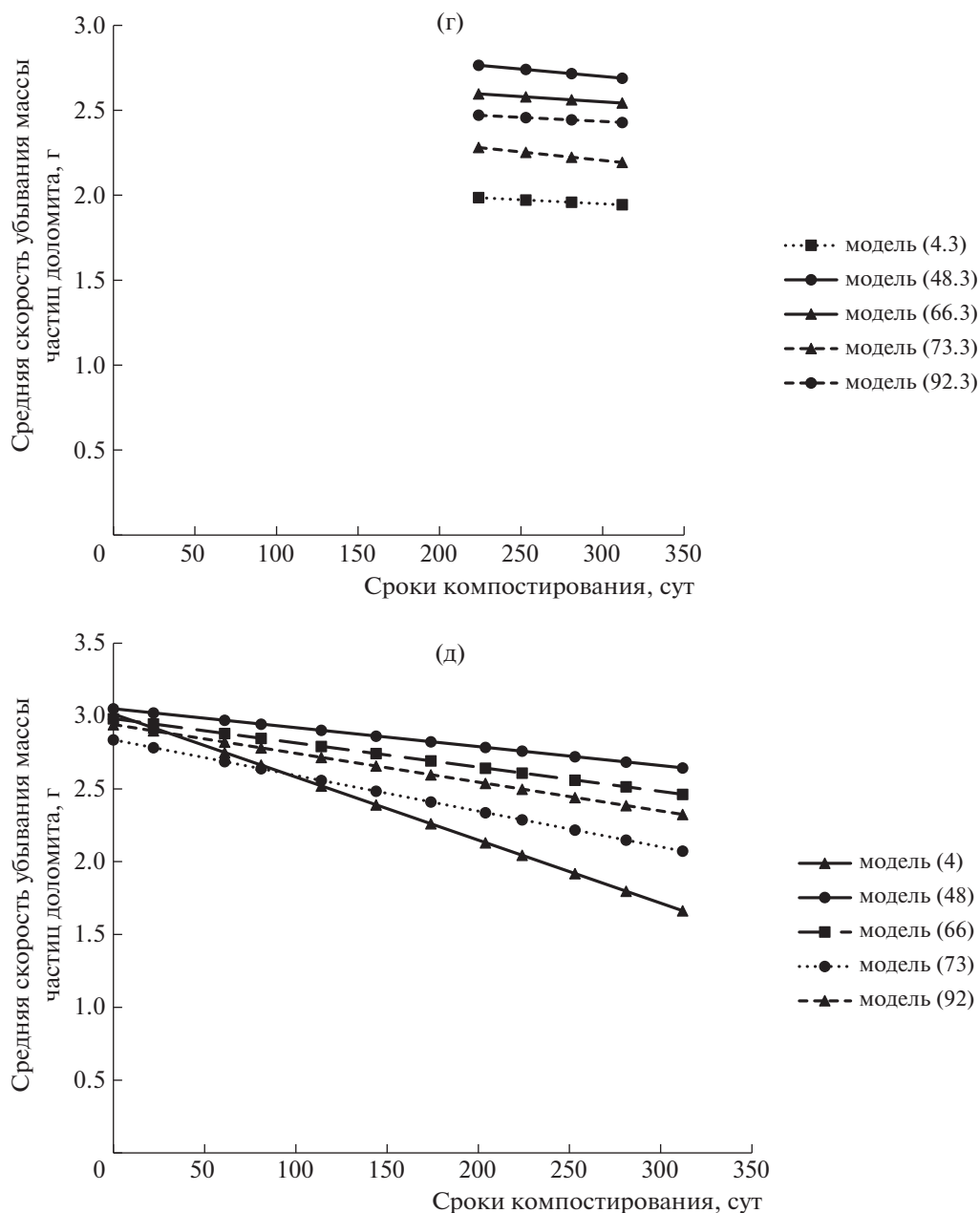


Рис. 1. Окончание.

тала и далее на 4-, 5- и 6-й опыто-годы эксперимента изменения показателя в отдельных вариантах были незначительными.

Средние скорости убывания массы частиц доломита в интервале наблюдений от 114 до 224 сут в отдельных вариантах составили: $v_{4.3} = -0.0006$, $v_{48.3} = -0.0007$, $v_{66.3} = -0.001$, $v_{73.3} = -0.001$, $v_{92.3} = -0.001$. Графики моделей, построенные для этого промежутка наблюдений почти параллельны между собой (рис. 1б).

Эмпирические зависимости скорости растворения частиц доломита за 224 сут приведены в табл. 4. Все построенные эмпирические зависимости статистически значимы на высоком уровне значимости, поэтому все средние скорости за 224 сут были также статистически значимы на высоком уровне значимости. Следовательно, выводы о вариантах опыта и их кластеризации, основанные на величинах средних скоростей и на построенных эмпирических зависимостях, являются вполне обоснованными.

Спустя 224 сут эксперимента убыль массы частиц доломита в почве в отдельных сосудах опыта изменялась от 11.3 до 36.4% от внесенного количества (рис. 1в).

Проведенная кластеризация средних скоростей убыли массы частиц в почве в интервале наблюдений 0–224 сут, в точности соответствовала кластеризации вариантов опыта на первом этапе эксперимента (0–114 сут). Следовательно, скорость утраты массы гранул при растворении в почве во многом определяется степенью выветренности внешнего слоя частиц, находящихся в отвалах. Расположенные под внешним слоем доломита слои в значительной мере защищены от выветривания и отличаются более прочным сложением. На втором этапе эксперимента их растворение в почве существенно замедлялось и мало отличалось в отдельных вариантах опыта.

Процесс растворения доломитовых частиц продолжился в интервале компостирования от 224 до 312 сут. Убыль массы частиц в отдельных вариантах опыта менялась от 1.3 до 3.0% от исходного количества мелиоранта (табл. 3).

Средние скорости убывания массы частиц доломита составили $v_4 = -0.0005$, $v_{48} = -0.00086$, $v_{66} = -0.0006$, $v_{73} = -0.001$, $v_{92} = -0.0005$ (табл. 4). Графики моделей, построенные для этого промежутка, были почти параллельными (рис. 1г). За 312 сут компостирования убыль массы частиц доломита в сосудах менялась от 13.8 до 37.7% от внесенного количества. Средние скорости убывания массы гранул во всем промежутке наблюдений 0–312 сут составили $v_4 = -0.004$, $v_{48} = -0.0013$, $v_{66} = -0.0017$, $v_{73} = -0.0025$, $v_{92} = -0.002$ (рис. 1д).

Данные, представленные на рис. 1а, 1в, 1д, и числовые показатели средних скоростей позволили объединить варианты в 3 группы. В группу 1 можно было включить вариант 4, поскольку средние скорости убывания за 114, 224 и 312 сут были значительно больше остальных средних скоростей убывания в других вариантах (более чем в 1.5 раза).

В группу 2 можно было включить вариант 73, поскольку средние скорости убывания за 114, 224 и 312 сут были существенно меньше, чем в варианте 4 для соответствующих интервалов времени, но при этом значимо отличались (убывание происходит быстрее) от средних скоростей в остальных вариантах. Кроме этого (рис. 1а), график модели для варианта 73 расположен заметно ниже графиков моделей для вариантов 48, 66, 92 и не пересекается с ними.

В группу 3 вошли варианты 48, 66, 92, т.к. графики соответствующих моделей были расположены очень компактно.

В целом, варианты существенно различались динамикой изменения показателя на первом этапе растворения. С увеличением длительности наблюдений качественная картина сохранялась, кластеризация вариантов не менялась.

Результаты опыта показали, что крупные частицы доломита не являются “балластом”. Они постепенно растворяются в почве, переводя в раствор катионы кальция и магния. При этом растения способны поглощать катионы кальция и магния из локальных очагов почвы, прилегающих к поверхности мелиоранта [28].

Вместе с тем данные свидетельствовали, насколько по-разному в процессе компостирования растворялись гранулы доломита. Очевидно, что при определении дозы применения крупных частиц доломита для известкования следует учитывать время нахождения отсева в отвалах. Чем больше данный период, тем меньше времени понадобится для растворения.

Важно подчеркнуть, что после длительного срока компостирования в произвесткованной почве остается значительное количество неразложившихся карбонатов. Можно ожидать их длительное дальнейшее последствие. Таким образом, крупные частицы доломита, внесенные в почву в заведомо завышенных дозах, можно рассматривать как мелиорант пролонгированного действия. В практическом плане это дает возможность подобрать для известкования такую дозу крупных частиц доломита, при которой ежегодная потребность растений в кальции и магнии, как элементах питания, будет полностью удовлетворена, а непроизводительные потери в результате миграции катионов будут сведены к минимуму. Следует также указать на следующее обстоятельство. Широкое использование доломитовой крошки в качестве мелиоранта кислых почв позволит снизить остроту проблемы известкования в регионах, где складировать отсева доломита, что позволит решить важную экологическую проблему – высвобождение земель, занятых под отвалы.

ВЫВОДЫ

1. В процессе длительного компостирования крупных частиц доломита (~3 г) убыль массы частиц доломита спустя 114 сут после взаимодействия менялась от 8.7 до 34.2% от внесенного количества. Спустя 224 сут количество растворенного доломита возросло от 11.3 до 36.4%, за 312 сут

оно увеличилось от 13.8 до 37.7% от внесенного количества.

2. Скорость растворения на первом этапе опыта (0–114 сут) составила: $v_{4.1} = -0.0087$, $v_{48.1} = -0.0025$, $v_{66.1} = -0.0035$, $v_{73.1} = -0.005$, $v_{92.1} = -0.0042$, средние скорости убывания массы частиц доломита в интервале от 114 до 224 сут были равны: $v_{4.3} = -0.0006$, $v_{48.3} = -0.0007$, $v_{66.3} = -0.001$, $v_{73.3} = -0.001$, $v_{92.3} = -0.001$. За период компостирования от 224 до 312 сут скорость убывания составила: $v_4 = -0.0005$, $v_{48} = -0.00086$, $v_{66} = -0.0006$, $v_{73} = -0.001$, $v_{92} = -0.0005$.

3. Разработаны линейные эмпирические зависимости скорости растворения доломита в почве на разных этапах опыта. Проведена кластеризация разработанных моделей по абсолютным величинам скорости убывания массы частиц в сосудах. Сделан вывод, что скорость растворения доломита в почве существенно различалась и зависела от времени складирования доломита в отвалах. При определении дозы применения крупных частиц доломита для мелиорации кислых почв и продолжительности их действия предложено учитывать время нахождения доломита в отвалах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О. Влияние различных по размеру фракций доломита на показатели почвенной кислотности легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы (эмпирические модели процесса подкисления) // *Агрохимия*. 2017. № 12. С. 27–37.
3. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О., Хомяков Ю.В. Динамика содержания подвижного марганца в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорируемой различными по размеру фракциями доломита // *Агрохимия*. 2018. № 8. С. 52–63.
4. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О. Динамика содержания обменных катионов кальция и магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорируемой различными по размеру фракциями доломита (эмпирические модели процесса подкисления) // *Агрохимия*. 2018. № 3. С. 50–61.
5. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О. Изучение динамики изменения содержания подвижного железа в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорируемой доломитом // *Агрохимия*. 2019. № 3. С. 44–53.
6. Салаев И.В., Литвинович А.В. Интенсивность миграции кальция и магния из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой крупными фракциями отсева щебеночного производства // *Агрофизика*. 2018. № 2. С. 22–28.
7. Литвинович А.В., Салаев И.В., Манаков П.С., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В. Содержание и распределение обменных катионов Са и Mg в профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорированной возрастающими дозами доломитовых частиц крупного размера // *Агрохимия*. 2021. № 4. С. 9–21.
8. Гагарина Э.И. Опыт изучения выветривания обломков карбонатных пород в почве // *Почвоведение*. 1968. № 9. С. 117–126.
9. Anter T. Chemical and biological approach towards the definition of calcareous soils. 3. Movement and distribution of ^{59}Fe as related to the presence of CaCO_3 // *Egypt. J. Soil Sci.* 1984. V. 24. № 2. P. 625–630.
10. Макеичева М.А. Формирование состава и свойств карбонатных пород в процессе выветривания. М., 1991. 156 с.
11. Яре Л.А. Инженерно-геологическое изучение процесса выветривания. М.: Недра, 1974. 235 с.
12. 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.
13. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с.
14. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
15. Maurice P.A., Vierkorn M.A., Hersman L.E., Fulghum J.E., Ferryman A. Enhancement of kaolinitedissolution by an aerobic *Pseudomonas mendocinabacteria* // *Geomicrobiology*. 2001. № 18. P. 21–35.
16. Maurice P.A., Lee Y.J., Hersman L.E. Dissolution of Al-substituted goethites by an aerobic *Pseudomonas mendocina* var. *bacteria* // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2000. V. 64. P. 1363–1374.
17. Maurice P.A., Viercorn M.A., Hersman L.E., Fulghum J.E. Dissolution of well and poorly ordered kaolinites by an aerobic bacterium // *Chem. Geol.* 2001. V. 180. P. 81–93.
18. Ehrlich H.L. *Geomicrobiology*. N.Y., Basel: Marcel Dekker Inc., 2002. 768 p.
19. Paris F., Botton B., Lapeyrie F. *In vitro* weathering of phlogopite by ectomycorrhizal fungi II. Effect of K^+ and Mg^{2+} deficiency and N sources on accumulation of oxalate and H^+ // *Plant and Soil*. 1996. V. 179. P. 141–150.
20. Wallander H., Wickman T. Biotite and microcline potassium sources in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* seedlings // *Mycorrhiza*. 1999. V. 9. P. 25–32.
21. Wang W., Sun J., Dong C., Lian B. Biotite weathering by *Aspergillus niger* and its potential utilization // *J. Soil. Sediment*. 2016. V. 16. P. 1901–1910.
22. Пономарева В.В. Теория подзолообразовательного процесса (биохимические аспекты). Л.: Изд-во АН СССР. ЛО, 1964. 380 с.

23. Соколова Е.И., Нужденовская Т.С. О процессах разложения минералов и выносе алюминия гумусовыми кислотами // Кора выветривания. 1973. Вып. 12. С. 233–253.
24. Kodama H., Schnitzer M., Jaakkimainen M. Chlorite- and bitite weathering by fulvic acid solutions in closed and open systems // *Canad. J. Soil Sci.* 1983. V. 63. № 3. P. 619–629.
25. Schnitzer M., Kodama H. The dissolution of micas by fulvic acid // *Geoderma*. 1976. V. 15. P. 381–391.
26. Буре В.М. Методология статистического анализа опытных данных. СПб.: РАСХН, АФИ, СПбГУ, 2007. 141 с.
27. Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Lavrishchev A.V., Bure V.M., Salnjikov E. Dynamics of soil pH after utilization of byproducts of industrial rock processing as a calcareous material in acid soils // *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2021. T. 52. № 2. С. 93–101.
28. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Известкование почв. СПб., 2010. 255 с.

**Process of Decomposition of Large Dolomite Particles
in Strongly Acidic Sod-Podzolic Sandy Loam Soil. Dynamics
of Dolomite Mass Loss at Different Stages
of Dissolution (according to Laboratory Experience)**

A. V. Litvinovich^{a, #}, A. O. Berseneva^b, O. Yu. Pavlova^a, A. V. Lavrishchev^b, and V. M. Bure^{a, c}

^a *Agrophysical Research Institute*

Grazhdansky prosp. 14, Sankt-Petersburg 195220, Russia

^b *Sankt-Petersburg State Agrarian University,*

Peterburgskoe shosse 2, St. Petersburg–Pushkin 196601, Russia

^c *Sankt-Petersburg State University,*

Universitetskaya nab. 6–9, Saint-Petersburg 199034, Russia

[#] *E-mail: av.lavrishchev@yandex.ru*

In the laboratory experiment, the dynamics of the mass loss of large dolomite particles (~3 g) in strongly acidic sod-podzolic sandy loam soil was established. It was revealed that during 114 days of composting, the value of the loss of dolomite mass varied from 8.7 to 34.2% of the initial content. The mass loss of granules as a result of decomposition during composting in the period from 114 to 224 days slowed down and varied depending on the variant from 2.2 to 5.1%, in the period 224–312 days – 1.3–3.0% of the initial mass of dolomite. The mechanism of weathering is considered and the factors that enhance the rate of dissolution of dolomite crumbs in the soil are listed. Linear empirical dependences of the rate of dissolution of dolomite at different stages of the experiment have been developed. Clustering of the developed models according to the absolute values of the rate of decrease of the mass of particles in the vessels was carried out. It is proposed to take into account the residence time of dolomite in dumps when determining the dose of large dolomite particles for reclamation of acidic soils.

Key words: decomposition of large particles, dolomite, strongly acidic sod-podzolic sandy loam soil, dynamics of loss of dolomite mass, different stages of dissolution, laboratory experience.