

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ВНУТРИ ПОЧВЕННОГО АГРЕГАТА

В. Д. Гончаров

*ГНУ Агрофизический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии  
195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, 14,  
E-mail: victorgvd@list.ru*

*Поступила в редакцию 25 февраля 2013 г., принята к печати 03 марта 2014 г.*

По экспериментальным данным о пористости слоев почвенных агрегатов, методами фрактальной теории исследовано распределение плотности внутри агрегатов размером 4,0–6,3 мм и 6,3–9,5 мм двух типов почв – пылеватой тяжелой суглинистой и пылеватой суглинистой, из угодий, находящихся в сельхозобработке, необрабатываемых и под лесом. Определены плотности трех концентрических внутриагрегатных слоев. С учетом фрактальных параметров и способа шлифования агрегатов, аналитически установлено местоположение границ слоев.

Двумя методами - из распределения плотности внутри агрегата, а также по данным о плотности частиц различных фракций определены фрактальные размерности, приведены их значения и сравнение.

**Ключевые слова:** плотность почвенных агрегатов, фрактальная модель, распределение плотности.

### ВВЕДЕНИЕ

Возникновение фрактальной геометрии (1982) привело к многочисленным попыткам рассматривать почву как предфрактал – иерархическое множество многоуровневых самоподобных или самоафинных структур, в которых каждый член иерархии данного уровня в чем-то подобен членам иерархии других уровней. Необходимым признаком принадлежности множества к предфракталам является определенный диапазон величин, в котором находятся так называемые фрактальные характеристики.

Недавние достижения фрактальной теории позволили применить фрактальные параметры и количественно определять изменения, происходящие в почвенной структуре при сельскохозяйственном использовании почв.

Исследователи почвенной структуры стремились найти способы ее физико-математического описания. Структуру почвы представляли, например как правильную укладку шарообразных частиц (Фишер 1926, 1928; Хайнес 1925, 1927). В середине прошлого века Б. Н. Мичурин создал модель структуры макроагрегата, представляющую собой трехступенчатую иерархическую комбинацию правильных шарообразных частиц, обладающую свойством самоподобия (Мичурин, 1957). Это дало возможность рассчитать некоторые свойства модели, например, пористость, и сравнить их со свойствами ре-

альной структуры. Очевидно, однако, что в действительности почвенные агрегаты, представляя собой иерархически построенные отдельные части, состоят в то же время из неправильных, несферических частей, меньшие из которых лишь приблизительно напоминают более крупные и сам макроагрегат. Именно такими ансамблями интересуется молодая отрасль математики – фрактальная геометрия, создателем которой считается Бенуа Мандельброт (Mandelbrot, 1982).

Фрактальная геометрия создана для количественного описания многоуровневых, т. е. иерархически построенных множеств, или групп, обладающих свойствами самоподобия или самоаффинности (аффинность – частичное родство, или сходство). Члены каждого уровня иерархии могут быть лишь приблизительно сходны друг с другом и с членами других уровней иерархии. Уровни же иерархии отличаются лишь масштабом.

Фракталы могут характеризовать как процессы почвенной агрегации, так и фрагментации. В случае фрактальной агрегации отдельные части, возникает степенная зависимость между ее массой и размером (Anderson, McBratney, 1995; Perfect и др., 2002; Rieu, Sposito, 1991).

Одним из проявлений фрактального сложения агрегатов (в том числе и почвенных), является изменение плотности сложения структурной отдельности с размером. В исследованиях (Onoda, Toner, 1986; Rieu, Sposito, 1991; Anderson и др., 1995; Гонча-

ров, 2002;) отмечается уменьшение плотности агрегата при увеличении его размера, когда массовая фрактальная размерность  $D_m < 3$ . Необходимо отметить, об уменьшении агрегатной плотности при увеличении размера почвенных макроагрегатов, сообщалось за рубежом с 1950-х гг. (Chepil, 1950; Gumbs, Warkentin, 1976; Lin, 1971; Wittmus, Mazurak, 1958; Eghball и др., 1993) и в нашей стране (Польских, 1947; Воронин, 1984, 1986; Гончаров, 2002;). Другие исследователи наблюдали инвариантность плотности агрегатов при изменении их размера (Voorhees и др., 1966; Perfect, Blevins, 1997). Результаты этих различий показывают, что наряду с тесной связью агрегатной плотности с генезисом почвы (Воронин, 1984) наблюдается ее зависимость от сельскохозяйственного использования почвы (Березин, Гудима, Шеин, 1988; Березин, Шеин, 1988). Влияние сельскохозяйственного использования, связанное с установлением инвариантной зависимости плотности агрегатов исследовано и в работах (Young, Crawford, 1991; Perfect, Blevins, 1997). Зависимость плотности почв от основных физических свойств, приведены в (Моисеев, 2004, 2011; Гончаров и др., 2012).

Целью работы является исследование распределения плотности внутри почвенного агрегата на основе экспериментальных данных исследования (Park, Smucker, 2005) о пористости трех внутриагрегатных концентрических слоев, плотности агрегатов фракций (2–4 мм, 4,0–6,3 мм, 6,3–9,5 мм) и характеристика распределения плотности с использованием фрактальной теории.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись агрегаты размерных фракций 6,3–9,5 мм, 4–6,3 мм, отобранные из органогенного горизонта (глубина 0–5 см) почв угодий, находящихся в сельхозобработке, необрабатываемых и под лесом с двух почвенных сериях (Н и W) в штате Огайо. Почвы серии Н являлись плохо дренируемыми, пылеватыми тяжело-суглинистыми с высоким содержанием органического углерода (ОС) (от 1,9% до 4,1%). Почвы серии W – пылеватыми суглинистыми с более низким содержанием ОС (от 1% до 2,8%) (Park, Smucker, 2005). Более подробные физические и химические характеристики почв этих двух серий, а также их

точное местоположение приведены в работе Collins и др. (2000).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение плотности внутри почвенного агрегата, определялось ранее методом по данным о плотности агрегатов различных фракций (Perfect, Kay, 1991; Rieu, Sposito, 1991; Perfect и др., 1992). В данной работе на основании распределения пористости внутри агрегатов фракций 4,0–6,3 мм, 6,3–9,5 мм (рис. 1, 2) двух групп почв (Н, W) использован метод фрактальной теории, характеризующий распределение плотности во фрактальном объекте. Выбирались десять агрегатов с формой близкой к сферической без видимых макропор для каждой фракции и почвенной группы. С помощью абразивного метода (Park, Smucker, 2005), последовательно удалялись агрегатные слои массой в одну треть, две трети от массы агрегата. Для удаления агрегатных слоев, каждый отдельный агрегат помещался в трясущуюся и вращающуюся со скоростью 250 оборотов в минуту абразивную камеру. Дно которой, было покрыто мелкой сеткой, отделяющий целый агрегат от сошлифованных частиц. Эродированные частицы отделялись от абразивных агрегатов. Часть агрегатов, разрушившаяся в процессе вращения, исключалась из анализа. Далее определяли объемную плотность агрегатов с удаленной одной третей, и двумя третями массы. Объем, а также плотность целых и подвергшихся шлифованию агрегатов измеряли, покрывая их поверхность полимером (сараном) и взвешивая их в воздухе, воде по методу (Blake, Hartge, 1986) Плотность каждого слоя вычислялась в соответствии с соотношениями:

$$\rho_i = \rho_2 - \text{первоначальная} \\ \text{объемная плотность} \\ \rho_0, \rho_1, \rho_2 \quad (1)$$

где  $\rho_i$ ,  $\rho_1$ ,  $\rho_e$  – плотность внутреннего, промежуточного и внешнего агрегатных слоев, а  $\rho_0$ ,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  – плотность целого агрегата, с удаленной 1/3 массой, и 2/3 массой, соответственно.

Формулы (1) могут быть получены с использованием следующих уравнений и условий примененного метода:

$$A = \frac{2M/3}{V_i + V_t}$$

$$\rho_2 = \frac{M}{3V_i} \quad (1a)$$

$$B = \frac{M}{V_i + V_t + V_e}$$

где  $V_i$ ,  $V_t$ ,  $V_e$  – объем внутреннего, промежуточного и внешнего слоя, соответственно.

По экспериментальным данным о плотностях целого, с удаленной 1/3 массой, и 2/3 массой, соответственно –  $\rho_0$ ,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ , с учетом соотношений (1), определяются плотности внутреннего, промежуточного и внешнего агрегатных слоев. Тогда, очевидно, возможно определение агрегатных объемов внутреннего, промежуточного и внешнего

слоев, с учетом экспериментально определенных масс (взвешенных) целых, с удаленной 1/3 массой, и 2/3 массой по соотношениям (1a). Целью данной работы являлось не только определение плотностей трех концентрических внутриагрегатных слоев, но и местоположение их границ, следовательно, и объемов слоев.

Используя известную связь между пористостью частицы ( $P$ ), ее плотностью ( $\rho$ ) и плотностью твердой фазы ( $\rho_{mf}$ ) рассчитали плотность трех концентрических слоев.

$$P = 1 - \frac{\rho}{\rho_{mf}} \quad (16)$$

Результаты приведены на рисунках 1, 2, 3.

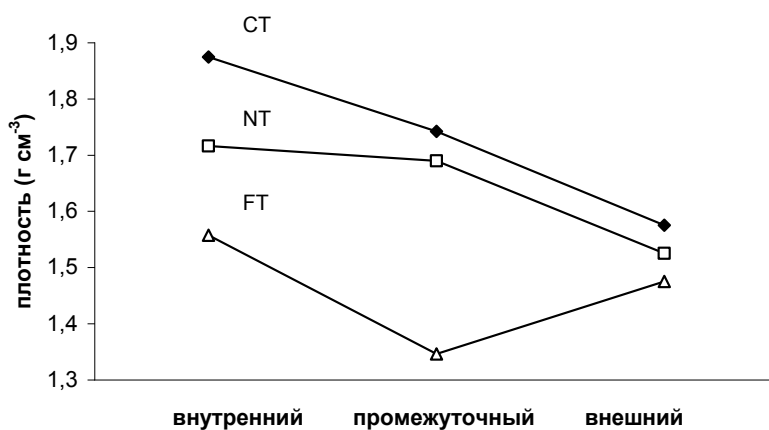


Рис. 1. Внутриагрегатная плотность трех концентрических слоев. Диаметр агрегатов 6,3–9,5 мм, (почвы группы Н). СТ – почвы в сельхозобработке, NT – необрабатываемые почвы, FT – лесная почва

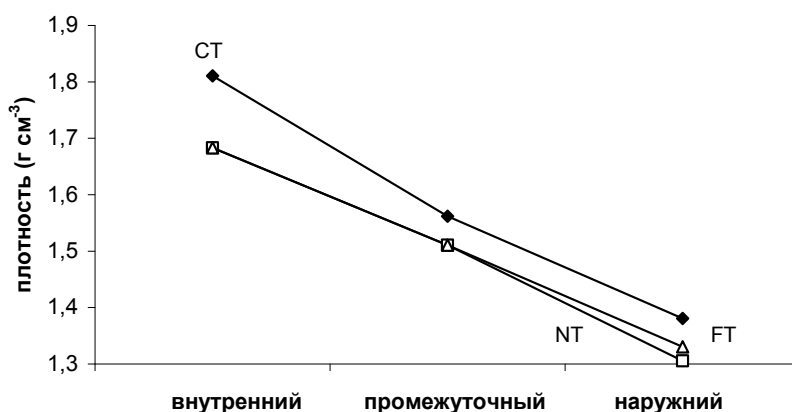


Рис. 2. Внутриагрегатная плотность трех концентрических слоев. Диаметр агрегатов 6,3–9,5 мм, (почвы группы W). СТ – почвы в сельхозобработке, NT – необрабатываемые почвы, FT – лесная почва

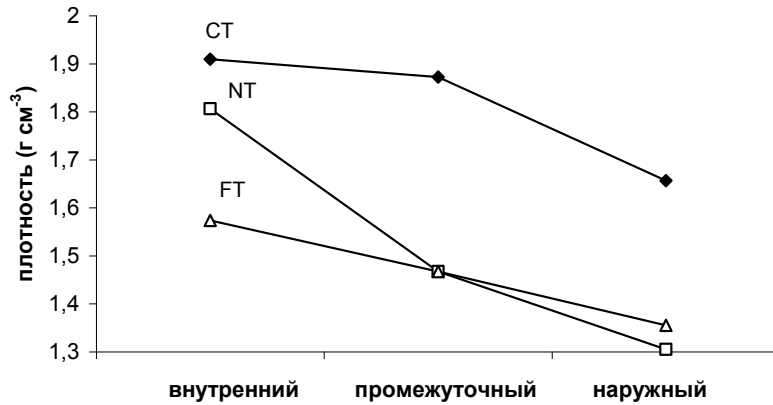


Рис. 3. Внутриагрегатная плотность трех концентрических слоев. Диаметр агрегатов 4,0–6,3 мм, (почвы группы W). СТ – почвы в сельхозобработке, NT – необработываемые почвы, FT – лесная почва

Исходя из зависимости между плотностью фрактального объекта и его радиусом:

$$\rho \propto R^{D_f - 3}, \quad (2)$$

(где  $\rho$ ,  $D_f$ ,  $R$  – плотность объекта на расстояние  $R$ , фрактальная размерность, радиус) определили фрактальную размерность агрегатов исследованных почв (табл. 1), найдя местоположения слоев рассчитанных исходя из равенства их масс, и учитывая соотношение:

$$\int_0^{r_i} r^2 r^{D_f - 3} dr = \int_{r_i}^{r_b} r^2 r^{D_f - 3} dr = \int_{r_b}^{r_e} r^2 r^{D_f - 3} dr, \quad (3)$$

где  $r_i$ ,  $r_b$ ,  $r_e$  – радиус внутреннего, промежуточного и внешнего слоя, соответственно, а  $C r^2 r^{D_f - 3} dr$  – масса шарового слоя толщиной  $dr$ , ( $C$  – коэффициент пропорциональности).

Используя (3) нашли следующее соотношение для местоположения слоев:

$$\frac{r_i^3}{3} = \frac{r_b^3}{3} - \frac{r_i^3}{3} = \frac{r_b^3}{3} - \frac{r_i^3}{3} \quad (3a)$$

Из (3а) определили радиусы промежуточного и внешнего слоя:

$$r_i = 2^{\frac{1}{D_f}} r_i, \quad r_e = 3^{\frac{1}{D_f}} r_i \quad (4)$$

Анализируя (4), можно заметить, что наиболее удаленное от центра агрегата местоположение границ достигается при  $D_f = 3$ . Без учета изменения плотности (при  $D_f = 3$ ) расчетные границы внутреннего и промежуточного слоев незначительно смещаются в сторону внешнего слоя:  $r_i = 0,69$ ,  $r_i = 0,87$ , достигая своих максимальных значений. Наиболее близкое к центру агрегата местоположение границ слоев происходит при минимальных значениях фрактальной размерности  $D_f$ . В исследованной выборке почвенных агрегатов минимальное значение  $D_f = 2,7$  (табл. 1). На рисунке 4 показано местоположение слоев фрактального почвенного агрегата для данного значения фрактальной размерности.

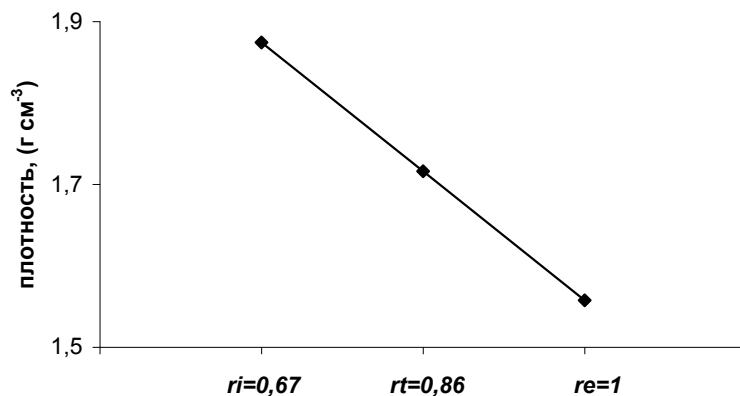


Рис. 4. Границы внутреннего и промежуточного слоев при единичном радиусе. Фрактальная размерность  $D_f = 2,7$ . Агрегаты фракции 6,3–9,5 мм. Почвенная группа Н

**Таблица 1.** Фрактальная размерность и плотность агрегатов.

СТ – почвы в сельхозобработке, НТ – необрабатываемые почвы, FT – лесные почвы.  
Данные о плотности агрегатов из (Park, Smucker, 2005).

Размер фракции мм	Фрактальная размерность $D_f \pm se$	$R^2$	Плотность агрегатов	Угодья	Почвенная группа
6,3–9,5	2,86±0,06	0,82	1,69	СТ	Н
	2,91±0,08	0,54	1,55	НТ	
	2,91±0,09	0,49	1,51	FT	
6,3–9,5	2,76±0,07	0,92	1,82*	СТ	W
	2,79±0,09	0,84	1,55	НТ	
	2,80±0,08	0,86	1,38	FT	
4,0–6,3	2,90±0,09	0,55	1,74	СТ	
	2,70±0,05	0,97	1,58	НТ	
	2,88±0,05	0,85	1,43	FT	

\*) согласно данным (Park, Smucker, 2005) для обрабатываемых, необрабатываемых почв группы W, статистических различий между пористостью агрегатов фракций 4,0–6,3 мм и 6,3–9,5 мм нет.

Местоположение внутреннего слоя определяется в интервале  $(0-0,67r_e)$ , промежуточного  $(0,67-0,86r_e)$ , внешнего  $(0,86r_e-1r_e)$ .

В работе В. Д. Гончарова (2007) вычислено относительное радиальное расстояние, на котором локальная плотность фрактального агрегата ( $R_{eq}$ ) совпадает с его средней плотностью ( $R_0$ ):

$$\frac{R_{eq}}{R_0} = \left( \frac{3}{D_f} \right)^{\frac{1}{D_f-3}} \quad (5)$$

По результатам данного исследования относительное радиальное расстояние меньше значения  $R_{eq} < 0,72$ .

Для изученных объектов такое рассчитанное расстояние, учитывая минимальное и

максимальное значения фрактальной размерности агрегатов (табл. 1), находится в интервале значений  $(0,70-0,71r_e)$ , и входит в границы промежуточного слоя, расположенного в диапазоне  $(0,65-0,85r_e)$ . Таким образом, средняя плотность фрактального агрегата должна соответствовать плотности промежуточного слоя.

Статистический анализ, проведенный с использованием метода сопряженных пар, подтвердил отсутствие различий (рис. 5) между средней плотностью агрегатов и соответствующей плотностью промежуточного слоя ( $p \geq 0,95$ ). Различие между средней плотностью агрегатов и плотностями внутреннего и внешнего слоев существует ( $p \geq 0,99$ ), (рис. 6).

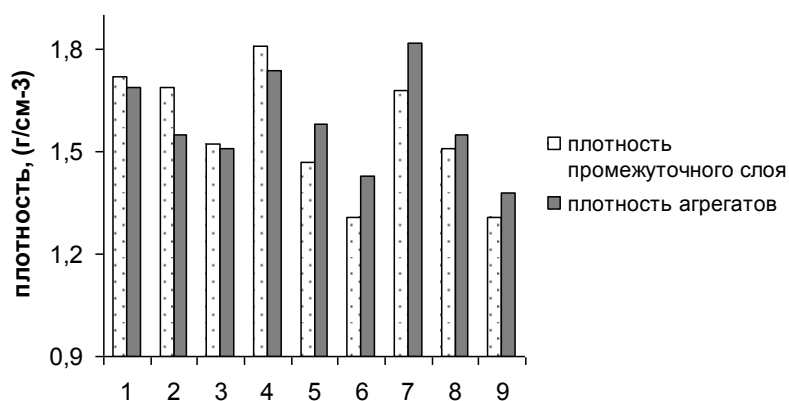


Рис. 5. Сравнение плотностей промежуточного слоя с плотностью соответствующих агрегатов (по 9 выборкам)

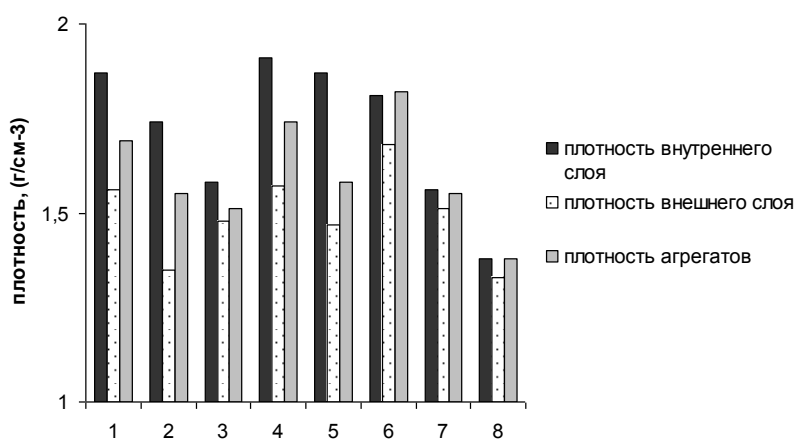


Рис. 6. Сравнение плотностей внутреннего, внешнего слоев и соответствующих агрегатов (по 9 выборкам)

В соответствии с формулой (2), на основании экспериментальных данных работы (Park, Smucker, 2005) о плотности частиц различных фракций (2–4 мм, 4,0–6,3 мм, 6,3–9,0 мм) были рассчитаны альтернативные распределения плотностей по фрактальной модели. В таблице 2 приведены значения двухпараметрического нелинейного уравнения (2) в виде:

$$\rho = \rho_{r=1} \left( \frac{r}{r_{r=1}} \right)^{D_f - 3} \quad (6)$$

где  $\rho_{r=1}$  – плотность частиц радиусом 1 мм,  $r$  – средний радиус частиц во фракции,  $D_f$  – фрактальная размерность.

Ошибка определения параметров (табл. 2) нелинейного уравнения (6) для почвенной группы W, меньше чем для почвенной группы H. Однако, изменение плотности частиц радиусом в 1 мм, не проявляет опре-

деленный тренд от обрабатываемых угодий к лесным почвам. Для почвенной группы H, предполагаемый соответствующий тренд есть – плотность таких частиц снижается ( $2,1 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ ,  $1,88 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ ,  $1,69 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ ). В двух почвенных группах наблюдается достоверное снижение плотности твердой фазы (Park, Smucker, 2005), достигающей наибольших величин в обрабатываемых угодьях, промежуточных в необрабатываемых и минимальных значений в лесных почвах. Известно о существовании отрицательной корреляционной зависимости между содержанием ОВ и плотностью твердой фазы. Поэтому вероятной причиной такого снижения плотности частиц размером 1 мм, является увеличение доли органического вещества в исследованных лесных почвах и высокая пористость их агрегатов.

Таблица 2. Параметры уравнения (6)

Фрактальная размерность $D_f$	Плотность частиц радиусом 1 мм ( $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$ )	Коэффициент детерминации $R^2$	Угодья	Почвенная группа
2,86±0,03	2,1±0,1	0,97	СТ	H
2,88±0,1	1,88±0,1	0,75	NT	
2,92±0,02	1,69±0,05	0,88	FT	
2,77±0,001	1,97±0,001	0,99999	СТ	W
2,80±0,02	1,89±0,03	0,994	NT	
2,71±0,01	2,04±0,03	0,999	FT	

Вероятно, одной из причин лучшей точности уравнения изменения плотности с использованием данных по плотности агрегатов определенных фракций, по сравнению с уравнением, где использованы данные о плотности внутриагрегатных слоев, является более точный метод определения плотности агрегатов, тогда как метод измерения плотности внутриагрегатных слоев, основанный на абразивном шлифовании агрегатов (Park, Smucker, 2005), менее точен. В обоих сравниваемых методах масштаб изменения размеров как частиц фракций (от 2–4 мм до 6,3–9,5 мм), так и масштаб изменения радиусов внутриагрегатных слоев сравнительно одинаков.

### ВЫВОДЫ

Плотность внешних слоев агрегатов меньше плотности внутренних слоев. Наименьшей плотностью обладают внешние слои агрегатов лесных угодий. Это связано с их высокой пористостью и наименьшей плотностью твердой фазы. Наибольшая плотность свойственна внутренним слоям агрегатов обрабатываемых почв, обладающих низкой пористостью и высокой плотностью

твердой фазы, увеличение которой при обработке происходит, вероятно, вследствие возрастания доли глинистой фракции и снижения концентрации ОВ в исследованных почвах. Распределение плотности внутри почвенного агрегата может быть рассчитано с использованием фрактальной модели строения почвенных частиц. Плотность поверхностных слоев в почвенном агрегате существенно ниже плотности внутренних слоев. Изменение плотности частиц более точно определяет фрактальное уравнение, с использованием данных о плотности частиц соответствующих фракций, поскольку, вероятно, метод определения плотности частиц более точен по сравнению с методом определения плотности агрегатных слоев.

Статистических различий между средней плотностью агрегата и соответствующей плотностью промежуточного слоя не выявлено ( $p \geq 0,95$ ). Различия между средней плотностью агрегатов и соответствующими плотностями внутреннего и внешнего слоев агрегатов статистически достоверны ( $p \geq 0,99$ ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Березин П. Н., Гудима И. И., Шеин Е. В. 1988. Дифференциальная пористость почв // Почвоведение. № 3. С. 53–64.
- Березин П. Н., Шеин Е. В. 1988. Особенности исследования порового пространства набухающих почв // Почвоведение. № 11. С. 63–67.
- Воронин А. Д. Основы физики почв. 1986. М.: Изд-во Моск. ун-та. С. 110–112.
- Воронин А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. 1984. М.: Изд-во Моск. Ун-та, - 204 с.
- Гончаров В. Д. 2007. Интерпретация распределения плотности в почвенном агрегате на основе кластерной модели // Физические, химические и климатические факторы продуктивности полей. СПб: Изд-во ПИЯФ РАН, с.54-61.
- Гончаров В. Д. 2002. Влияние длительности распашки на массовую фрактальную размерность и плотность макроагрегатов обыкновенного чернозема // Гумус и почвообразование / Сб. науч. трудов С.-Петербург. Гос. аграрного ун-та. СПб. С. 133–135.
- Гончаров В. Д., Моисеев К. Г., Старцев А. С. 2012. Результаты сравнения педотрансферных функций характеризующих плотность сложения почв по базе данных. В сборнике: Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата // Материалы Международной конференции, посвященной 80-летию Агрофизического НИИ. С. 230–234.
- Мичурин Б. Н. 1957. Доступность влаги для растения в зависимости от структуры и плотности сложения почв и грунтов. В сборнике: Вопросы агрономической физики. Л.: ВАСХНИЛ, 1957.
- Моисеев К. Г. 2004. Применение теории подобия к процессу уплотнения почв. Почвоведение, 8:934–936.
- Моисеев К. Г. 2011. Исследование агрофизических свойств почв северо-запада Российской Федерации. Методическое руководство / Санкт-Петербург. 74 с.
- Польский М. Н. 1949. К вопросу о порозности почвенных агрегатов // Почвоведение. 4:212–223.
- Anderson, A. N., McBratney, A. B., 1995. Soil aggregates as mass fractals. Aust. J. Soil Res. 33, 757–772.
- Blake, G. R., and K. H. Hartge. 1986. Bulk density. p. 363–375. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Chepil, W. S., 1950. Methods of estimating apparent density of discrete soil grains and aggregates. Soil Sci. 70, 351–362.
- Collins H. P., Elliott E. T., Paustian K., Bundy L. G., Dick W. A., Huggins D. R., Smucker A. J. M. and Paul E. A. 2000. Soil carbon pools and fluxes in long-term corn belt agroecosystems. Soil Biol.Biochem. 32, 157–168.

- Eghball, B., Mielke, L. N., Calvo, G. A., Wilhelm, W. W., 1993. Fractal description of soil fragmentation for various tillage methods and crop sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 1337–1341.
- Gumbs, F. A., Warkentin, B. P., 1976. Bulk density, saturation water content, and rate of wetting of soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40, 28–33.
- Lin, S., 1971. Porosity and pore-size distribution of soil aggregates. Bulletin 29. WRRC, Minneapolis, MN, 32 pp.
- Mandelbrot, B. B. 1982. *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman, San Francisco.
- Onoda, G. Y., Toner, J., 1986. Fractal dimensions of model particle packings having multiple generations of agglomerates. *J. Am. Ceram.* 69, C278–C279.
- Park, E. J., Smucker A. J. M. 2010. Saturated hydraulic conductivity and porosity within macroaggregates modified by tillage // *Soil Science Society of America Journal*. 2005. 69(1):38–45.
- Perfect, E., Blevins, R.L. 1997. Fractal characterization of soil aggregation and fragmentation as influenced by tillage treatment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 896–900.
- Perfect, E., Diraz-Zorita, M., Grove, J. H., 2002. A prefractal model for predicting size fragment mass-size distributions. *Soil Till. Res.* 64, 79–90.
- Perfect, E., and B. D. Kay. 1991. Fractal theory applied to soil aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1552–1558.
- Perfect, E., Rasiah, and B. D. Kay. 1992. Fractal dimensions of soil aggregate-size distributions calculated by number and mass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1407–1409.
- Rieu, M., Sposito, G., 1991. Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties: I. Theory. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 1231–1238.
- Rieu, M., Sposito, G., 1991. Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties: II. Applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 1239–1244.
- Voorhees, W. B., Allmaras, R. R., Larson, W. E., 1966. Porosity of surface soil aggregates at various moisture contents. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30, 163–167.
- Wittmus H. D. and Mazurak A. P., 1958. Physical and chemical properties of soil aggregates in a Brunizem soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 22, 1–5.
- Young, I. M., Crawford, J. W., 1991. The fractal structure of soil aggregates: its measurement and interpretation. *J. Soil Sci.* 42, 187–192.

УДК 631.41

**ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ И ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
ВОДОРАСТВОРИМОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДЕРНОВО-  
ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ  
ОКУЛЬТУРЕННОСТИ**

**Л. В. Бойцова, Е. Г. Зинчук**

*ГНУ Агротехнический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии  
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14  
E-mail: larisa30.05@mail.ru*

*Поступила в редакцию 04 февраля 2014 г., принята к печати 07 марта 2014 г.*

Изучена динамика содержания водорастворимого органического вещества в дерново-подзолистой супесчаной почве слабой, средней и хорошей степени окультуренности в течение вегетационного периода. Исследовано профильное распределение водорастворимой фракции органического вещества в почвах со слабой и хорошей степенью окультуренности. Продемонстрировано увеличение абсолютного содержания водорастворимого органического вещества с увеличением степени окультуренности почв. Установлено уменьшение относительного содержания водорастворимого органического вещества в почве с увеличением степени ее окультуренности, что свидетельствует о переходе органического вещества в более стабильное состояние к окончанию вегетационного периода.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая супесчаная почва, почвенный профиль, водорастворимое органическое вещество, степень окультуренности.