ВЛИЯНИЕ ИССУШЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

© 2015 г. А. Я. Воронин

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
e-mail: avoron46@gmail.com*

Выявлены особенности первичного зарождения структурных элементов (кластеров) и закономерности их роста при послойном осаждении из водных суспензий илистых фракций образцов серых лесных почв, необходимые для установления механизма формирования почвенной микроструктуры внешними воздействиями (периодического переменного увлажнения и высушивания). Пробы суспензий размера <1 мкм почвенных образцов, подготовленных для проведения гранулометрического и микроагрегатного анализов по стандартным методикам, но прошедших предварительное одно- и двухразовое высушивание, сливали в пробирки. Затем пипеткой с острым наконечником брали среднюю пробу из пробирок, предварительно встряхивая их до полного растворения осадка. Данные пробы (1 каплю) высаживали на лабораторное стекло размером 1×1 см. Всего подготовлено 14 препаратов. Через 48 ч, после испарения воды, процедуру повторяли для семи проб. Таким образом, было получено 7 стекол с осадком ила из одной капли, и 7 стекол с осадком ила из двух капель. Данные препараты были сканированы на растровом электронном микроскопе РЭМ JEOL 6060A. При сканировании на приборе применяли случайную выборку. Математическая обработка изображений РЭМ позволила выявить тенденцию увеличения уплотненности скоплений частиц с уменьшением их размера, увеличения их количества и уменьшения расстояния между образованными кластерами в процессе единичного осаждения. При формировании кластеров второго порядка (при цикличности осаждения) плотность распределения структурных элементов резко возрастает, при этом новые массивы кластеров могут привести к необратимым изменениям почвенной микроструктуры, разрушению агрегатов. Наличие гумуса в почвах приводит к сглаживанию этих процессов. Для почвообразующих пород в аналогичных условиях изменения размеров кластеров не происходит.

Ключевые слова: кластер, гранулометрический и микроагрегатный составы почв, фрактальный анализ, коэффициент дисперсности.

На микроуровне процессы формирования почвенной структуры описываются параметрами дисперсности и гетерогенности системы (неоднородностью, обусловленной наличием поверхностей раздела между фазами). Современные методы исследования позволили установить, что на межфазных границах наблюдаются структурные элементы в виде кластеров – небольших скоплений частиц. Эти образования представлены в основном скоплениями плоских анизометричных глинистых минералов и имеют средний размер до 40 нм. Роль этих структурных элементов (кластеров) в процессе коагуляции–укрупнения, слипания более крупных частиц становится существеннее по мере увеличения дисперсности и соответствующего уменьшения частиц в жидкой среде. Дело в том, что с уменьшением размеров на первое место выходят другие характеристики частиц – их фрактальность и, как следствие, способность к образованию поверхностей со свойством скейлинга (самоподобия).

Критерием возникновения пространственных структурных сеток во всем объеме почвы является способность тонких фракций (≤ 1 мкм) принимать участие в тепловом броуновском движении. Именно оно обуславливает (при достижении критических концентраций частиц в жидкой фазе) полную утрату агрегативной устойчивости (устойчивость к коагуляции) частиц, рост седиментационной устойчивости, т.е. замедление времени осаждения. Критической концентрации частиц соответствует появление фактора прочности, изменяющегося с увеличением числа контактов между частицами в единице объема, а также их формой и размерностью. Существенную роль при этом занимают контактные взаимодействия частиц на границах раздела фаз (Турсина, Лукьянов, 2011).

Цель исследования – изучение образования почвенных структурных элементов (кластеров) в серых лесных почвах при осаждении тонкодисперсных частиц из водных суспензий для установления механизма формирования почвенной микроструктуры внешними воздействиями (периодическим переменным увлажнением и высушиванием).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведение модельного опыта. В качестве объектов модельного эксперимента использовали образцы почвенных гори-

зонтов серой лесной суглинистой почвы (разр. 1), сформированной на покровных лёссовидных суглинках юга Московской области близ с. Клинское Озерского района (Почвы Московской области ..., 2002). А также пробы гор. ВТС из разр. 4, заложенного на рядом лежащем пологом склоне с абсолютной высотой 140 м. Сельскохозяйственное угодье – пашня. Образцы отобрали на глубине 90–110 см в нижней части этого склона.

Разр. 1 заложен под разреженным сосновым лесом с хорошо развитым подлеском широколиственных древесных и кустарниковых пород с травянистым напочвенным покровом. Рельеф – очень слабополгий склон восточной экспозиции водораздельной поверхности. Микрорельеф не выражен. Абсолютная высота 180 м.

Профиль представлен горизонтами: АО (0–4 см)–АУ (4–15 см)–АЕЛ (15–28 см)–ВЕР (28–45 см)–ВТ1 (45–65 см)–ВТ2 (65–105 см)–ВТС (105–130 см).

Образцы отбирали по профилю на различных глубинах. Исходные образцы воздушно-сухой почвы растирали пестиком, просеивали через сито 1 мм и готовили для проведения. Определяли гранулометрический (модификация метода Качинского с применением пирофосфата натрия и ультразвуковым воздействием) и микроагрегатный составы (по методу Качинского), параметры набухания (метод Васильева). Эксперимент состоял в различной подготовке проб почв для проведения анализов по стандартным методикам. Использовали следующую схему эксперимента:

Первая серия включала несколько этапов подготовки проб для анализов:

- 1 – стандартная подготовка пробы;
- 2 – увлажнение водой стандартной пробы почвы до полной влагоемкости методом капиллярного насыщения;
- 3 – высушивание насыщенной водой пробы почвы в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянного веса;
- 4 – растирание высушенного в сушильном шкафу образца почвы в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником и просеивание через сито с отверстиями в 1 мм.

Вторая серия отличалась большим числом этапов подготовки проб для анализов:

- 1 – стандартная подготовка пробы;

2 – увлажнение водой стандартной пробы почвы до полной влагоемкости методом капиллярного насыщения;

3 – высушивание насыщеннй водой пробы почвы в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянного веса;

4 – растирание высушенного в сушильном шкафу образца почвы в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником и просеивание через сито с отверстиями в 1 мм;

5 – повторное увлажнение водой высушенной в сушильном шкафу и растертой пробы почвы до полной влагоемкости методом капиллярного насыщения;

6 – высушивание повторно увлажненной пробы почвы в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянного веса;

7 – высушенный в сушильном шкафу образец почвы вновь растирали в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником и просеивали через сито с отверстиями в 1 мм.

Анализы проводили в аналитической инструментальной лаборатории Почвенного института им. В.В. Докучаева.

Пробу суспензии размера <1 мкм (25 мл) образцов, подготовленных для проведения гранулометрического и микроагрегатного анализов, сливали в пробирку. Затем пипеткой с острым наконечником брали среднюю пробу из пробирки, предварительно встряхивая ее до полного растворения осадка. Данную пробу (1 каплю) высаживали на лабораторное стекло размером 1 × 1 см. Всего подготовлено 14 препаратов. Через 48 ч, после испарения воды, процедуру повторяли для семи проб. Таким образом, было получено 7 стекол с осадком ила из одной капли, и 7 стекол с осадком ила из двух капель (табл. 1).

Технологический цикл получения и анализа изображений растрового электронного микроскопа включал следующие стадии: отбор образцов и подготовку их для сканирования на растровом электронном микроскопе РЭМ; получение снимков; обработку полученных снимков для решения поставленных задач, включающую трехмерную реконструкцию поверхности снимков, математическую обработку – статистические методы и расчет параметров фрактальной геометрии.

Снимки получены на растровом электронном микроскопе JEOL 6060A. При сканировании на приборе применяли случайную выборку (рис. 1).

Таблица 1. Объекты модельного эксперимента, отобранные для проведения электронной микроскопии

Но- мер сни- мка	Разрез, гори- зонт	Глуби- на, см	Водная суспензия илистой фракции почв					
			гранулометрический анализ				микроагрегатный анализ	
			образец после одноразового высушивания		образец после двойного высушивания		образец после одноразового высушивания	
			количество капель суспензии					
			1	2	1	2	1	2
01	1, AY	10–15	+					
04	1, AY	10–15			+			
11	1, AY	10–15		+				
24	1, AY	10–15				+		
02	1, AEL	20–25	+					
22	1, AEL	20–25		+				
03	1, BTC	120–130	+					
06	1, BTC	120–130			+			
23	1, BTC	120–130		+				
26	1, BTC	120–130				+		
08	4, BTC	90–110					+	
28	4, BTC	90–110						+
10	4, BTC	90–110	+					
30	4, BTC	90–110		+				

Алгоритм обработки снимков построен по схеме: этап предварительной обработки – работа со снимками в программе Adobe Photoshop: перевод изображения в режим RGB и выравнивание яркости; этап создания реверсного изображения. Перевод в бинарный режим изображения снимка РЭМ и его статистическая обработка. Математическую обработку проводили в программе “Коллектор 1.5.1” (Скибицкая, 2007).

Это позволило получить необходимую информацию о показателях неоднородности поверхности изучаемого слоя рассматриваемых снимков. Такая структура является сложной для описания (если отсутствует специальная техника для ее обработки (Соколов, 1997)). Для исследования таких структур можно применять аппарат фрактальной геометрии (Тарасов и др., 1999). Размерность, называемая фрактальной (d), имеет дробное значение:

$$d = \log N / \log 1/r,$$

где N – число подобъектов множества; r – коэффициент подобия. Эта размерность является одной из основных характеристик фрактальной системы. Она характеризует внутренний порядок системы и позволяет более детально анализировать свойства изучаемого множества.

Расчет фрактальной размерности проводили в программе “Fractan”. Определяли показатель Херста (H), который связан с фрактальной размерностью (d) соотношением: $d = 2 - H$ в двухмерном измерении.

Для количественной характеристики фрактальных свойств поверхности образца проводили численную обработку РЭМ-изображений по методике, в которой предполагалось соответствие количества выделенных структур общему распределению неоднородностей на всей поверхности снимка. Изменение яркости белого и черного цветов пропорционально наклону кривой в каждой структуре рассматриваемой поверхности.

Оцифровку контрастных RGB-изображений снимков РЭМ при двухмерной реконструкции рельефа поверхности снимков проводили по двум цветам (черному – 0 и белому – 255).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвам, сформированным на покровных лёссовидных суглинках, которые территориально примыкают к террасным песчаным образованиям р. Ока, свойственна ярко выраженная неустойчивость изменения содержания отдельных фракций гранулометрического состава при периодическом переменном увлажнении и высушивании до абсолютно сухого состояния (Воронин, 2008).

Почвообразующие породы на таких участках характеризуются более легким гранулометрическим составом со значительным содержанием песчаных фракций, более рыхлым сложением почвенной массы. В зависимости от условий увлажнения (позиции в рельефе) общее содержание илистых частиц на таких участках значительно меньше (в 1.5–2.0 раза), чем в аналогичных породах, распространенных на более высоких водораздельных поверхностях и удаленных от долины р. Ока, где содержание илистых частиц составляет 30%. В то же время количество песчаных фракций в них увеличено в 1.2–1.7 раза (разр. 4).

Рис. 1. Электронные изображения поверхностей осажденных илистых частиц из водных суспензий (нумерация в табл. 1).

Окончание рис. 1

Структурное преобразование дисперсных систем на стадии диагенеза обусловлено процессами уплотнения и дегидратации (Савченко, 2004). Рост плотности и вязкости структуры связаны с числом коагуляционных контактов между частицами фаз системы. Микроагрегатный состав как аналитическая база позволяет косвенно характеризовать число таких контактов и силу сцепления частиц. При этом появляется возможность оценивать способность или не способность изучаемой почвенной системы к самопроизвольному восстановлению структуры.

Процесс периодического переменного увлажнения–высушивания (в диапазоне влажности от полной влагоемкости до абсолютно сухого состояния) дисперсной фазы серых лесных почв можно рассматривать как модель изменения морфометрических и энергетических признаков унаследованной микроструктуры почвообразующей породы.

Для почвенной системы с устоявшейся структурной организацией частиц характерны изменения в сторону агрегации (коагуляции) частиц. Изменения проходят очень медленно, особенно в горизонтах с развитыми фазовыми контактами и цементационными связями (Урьев, 1998).

Эти явления характерны для гумусовых горизонтов. Почвообразующие породы также подвержены коагуляционной трансформации, однако условия и время осадкообразования будут налагать существенный отпечаток на вероятность изменения вектора направленности ее дисперсности в условиях высушивания.

Сила сцепления частиц необратимо усиливается по мере увеличения числа периодов высушивания. Общий тренд – формирование однородной микроструктуры почвенной массы с максимальным уплотнением, малой пористостью и дегидратацией.

Промежуточный продукт – порода со скелетной или ламинарной микроструктурой, конечный – осадочная порода. В реальных условиях агротехногенеза наиболее интенсивно эти процессы проявляются на водораздельных участках с удлинённым периодом иссушения.

В реальных условиях плотность сложения почвообразующих пород всегда больше, чем верхних горизонтов. Основная причина – гравитационное уплотнение, за счёт которого первичный осадок, сложенный пылеватыми зёрнами, покрытый глинистыми рубашками и имеющий рыхлую скелетную микроструктуру, преобразуется в плотную однородную структуру, лишённую крупных микропор.

Микроструктура верхних горизонтов определяется, помимо органогенной составляющей, степенью и циклами периодов высушивания и увлажнения.

Интенсивность изменения дисперсности и микроагрегатного состава почвенной массы серых лесных почв при периодическом переменном увлажнении и высушивании до абсолютно сухого состояния различны:

- дисперсность почвенной массы изменяется медленнее по сравнению с цементацией её частиц;
- направление изменения дисперсности определяются числом микроагрегатов.

Такие изменения в структурообразовании функционально связаны с особенностями формирования фрактальных структурных элементов (кластеров) дисперсионной системы.

С целью установления этих зависимостей проведена морфометрическая обработка снимков РЭМ поверхностей осаждения илстых частиц из водных суспензий образцов серой лесной почвы, прошедших различную подготовку (табл. 2). Оцифровано 14 снимков.

В верхнем гумусовом горизонте, где больше микроагрегатов, проективное покрытие поверхности подложки снимка составляет более 43%.

Концентрация илстых частиц в гор. ВТС достигает 30%. Наиболее крупные и плотные из них образуют зародыши фрактальных кластеров, вокруг которых и собираются остальные частицы. Площадь покрытия поверхности подложки снижается до 34%.

Таблица 2. Морфометрические параметры снимков РЭМ

Номер снимка	N, ед.	S	P	d	L	Ku	H
		МКМ					
1	229	5667	412.7	85.0	90.9	0.07	0.73
2	273	4258	345.7	73.6	76.5	0.04	0.44
3	561	1977	201.5	50.2	59.6	0.18	0.64
4	382	2856	271.3	60.3	69.5	0.15	0.67
6	220	5077	359.6	80.4	99.7	0.24	0.55
8	310	3886	319.8	70.4	71.0	0.01	0.38
10	283	3898	286.6	70.5	71.5	0.01	0.46
11	443	2534	235.0	56.8	71.6	0.26	0.45
22	445	2551	240.9	57.0	68.4	0.20	0.60
23	580	1772	206.1	47.5	68.1	0.43	0.47
24	636	1683	195.4	46.3	64.2	0.38	0.71
26	473	2704	240.7	58.7	67.7	0.15	0.56
28	384	3021	286.7	62.0	64.3	0.04	0.51
30	421	2839	272.1	60.1	69.7	0.16	0.47

Примечание. *N* – число структурных элементов; *S* – средняя площадь структурных элементов; *P* – средний периметр структурных элементов; *d* – средний диаметр структурного элемента; *L* – среднее расстояние между центрами соседних структурных элементов; Ku – коэффициент упаковки структурных элементов; *H* – коэффициент Херста.

Для образцов, прошедших внешнее давление в виде двойного увлажнения и высушивания, образование кластеров определяется степенью агрегации частиц.

За счет разрушения частиц в верхних горизонтах почвы быстро растет число структурных элементов илистых частиц от 400 до 600 ед. и более. При этом форма этих образований приобретает островершинный вид.

Принимая эстафету от начального слоя, вторичные кластеры имеют способность как разрушать первичные кластеры, так и оставлять их без изменения, наслаиваясь на них и заполняя периферийные участки.

Для исходных образцов отмечается общая тенденция к нивелированию контактного слоя за счет заполнения новым материалом периферии кластеров, увеличения по всем слоям размера

вновь образованного структурного элемента, снижением их вариативности до 40%.

Происходит разрушение старых агрегатных образований и создание новых из общей массы материала. Форма принимает вид выпуклости с плоской вершиной.

Для вариантов опыта со вторичным осаждением илистых частиц из водных суспензий на поверхность, образованную при осаждении аналогичных частиц в начальных условиях, резко снижается средний размер новых кластеров (46 мкм) в гумусовом горизонте. Для кластеров характерна плосковершинная форма рельефа.

Выделенные структурные элементы образуют неповторимый рисунок при осаждении, в разной степени повторяющийся на всем пространстве подложки. В первом приближении оценить сложившийся вид структуры можно по коэффициенту упаковки. Под коэффициентом упаковки принимали отношение проекции расстояния между соседними кластерами на плоскость подложки к их диаметру:

$$K_u = (L - d)/d,$$

где L – проекция расстояния между центрами соседних кластеров; d – средний размер структурного элемента ($d = \sqrt{S}$, нм).

Коэффициент упаковки рассчитывали по данным морфометрических параметров снимков РЭМ в бинарной форме. Максимальные значения коэффициентов упаковки пространства рассматриваемых снимков приближаются к 0.4. На величину K_u оказывает влияние не только количество, но и размер структурных элементов: чем крупнее кластеры, тем меньшее их количество требуется для максимальной упаковки всего визуализированного пространства снимка.

Расчеты показали, что для исходных образцов осажденный материал в начальный период имеет относительно рыхлое сложение (K_u изменяется в пределах 0.1–0.2 соответственно для гумусового горизонта и породы). Сравнение этих образцов указывает на тенденцию увеличения уплотненности упаковки с уменьшением размера и расстояния между кластерами при одновременном увеличении их числа. При вторичном осаждении препаратов однократного высушивания (две капли) происходит увеличение значений коэффициентов упаковки до значений 0.26 для верхнего горизонта

почвы и 0.43 – для гор. ВТС. Размер при этом уменьшается с увеличением числа кластеров.

При формировании кластеров второго порядка плотность распределения структурных элементов возрастает, при этом новые массивы формируются ближе к вновь созданной поверхности в области максимальной концентрации осаждения. В этом случае, распределение по глубине частиц ила неравномерно и имеет вид бимодальный характер, когда непосредственно вблизи поверхности сформирована высокая концентрация илистых частиц относительно небольших размеров.

Для вариантов с осаждением частиц, подверженных внешнему воздействию в виде двойного высушивания, характерно увеличение плотности (по сравнению с исходными образцами) образованной структуры: в гумусовом горизонте за счет увеличения числа кластеров при общем уменьшении их размеров, в почвообразующей породе – незначительное уменьшение количества структурных элементов при сохранении их средних размеров.

Конечно, заполнение пространства снимков кластерами не идеально – наблюдаются признаки асимметричного распределения, скопления структурных элементов в отдельных частях пространства подложки, но при этом отмечена ясно выраженная тенденция охвата структурными элементами всей площади подложки. Отмечается коррелятивная связь изменения коэффициента упаковки структурными элементами поверхности границ раздела фаз рассматриваемой системы с динамикой изменения уплотнения системы на макроуровне (рис. 2).

Выделенные скопления частиц с определенной топологической размерностью (d) обладают определенными свойствами (степенью изменения плотности от центра к периферии, разнообразием морфометрических параметров, определяющих структурное состояние поверхности границы раздела фаз и т.д.).

Как только свойства этого слоя приближаются к свойствам кластера с топологической размерностью на единицу меньше, исчезают условия для дальнейшего роста такого объекта. Значения фрактального размера, равного единице, является энергетическим барьером, который в условиях, далеких от равновесия, преодолеть невозможно.

Рис. 2. Изменение коэффициентов упаковки кластеров илистых частиц по профилю серой лесной почвы при одноразовом высушивании: 1 – опервичное осаждение (1 капля), 2 – первичное осаждение (2 капли) и 3 – двухразовое высушивание (1 капля).

Рост фрактальных кластеров обуславливает уменьшение числа контактов осаждающихся частиц. Обычно частицы присоединяются к тем участкам кластера, которые более доступны для контакта в начальные моменты попадания частицы на вершину кластера. Граница фрактала извилиста, образует множество впадин, которые в процессе роста остаются незадействованными и трансформируются в замкнутые поры.

На этапе роста фрактальных частиц и образования вторичных структурных элементов при осаждении происходит разрушение экранированности впадин и увеличение суммарной поверхности, что предопределяет слияние кластеров и формирование более плотных структур.

Из анализа экспериментальных результатов установлено, что в пределах действия доминирующего механизма воздействия на систему (высушивание) изменяется размерность структурных

образований в сторону уменьшения при увеличении числа повторности осаждения частиц.

Высушенные образцы при осаждении илистых частиц в гумусовом горизонте имеют тенденцию к уменьшению размера структурных отдельностей, что и предопределяет их уплотнение. Для почвообразующих пород в аналогичных условиях идет процесс прекращения изменения размеров кластеров. Состояние системы при этом остается стабильной (рис. 3).

При осаждении двух капель, в ряде случаев, происходит образование вторичных фрактальных образований при сохранении первого слоя почти не разрушенным (снимок 26). Коэффициент

Рис. 3. Распределение илистых частиц по размерам в серой лесной почве при осаждении частиц, прошедших одно- (А, Б) и двухразовое (В, Г) высушивание при внесении двух (1, первый снимок) и одной (2, второй снимок) капли: А – гор. АУ (снимки 11 и 1); Б – гор. ВТС (снимки 23 и 3); В – гор. АУ (снимки 24 и 4); Г – гор. ВТС (снимки 26 и 6); линии – экспоненциальные кривые.

Херста уменьшается до 0.39. Упомянутое выше наличие впадин обуславливает принципиальное различие по составу, структуре и свойствам для центральной части и периферии структурных элементов осадка. Наиболее существенным фактором, который характеризует комплекс свойств граничных слоев таких объектов, как фрактальные кластеры, является разреженная пористая фрактальная структура.

В процессе слияния, структурные элементы неизбежно взаимодействуют друг с другом посредством контакта граничных поверхностей.

При этом обязательно будут образовываться участки с объединением мелких пор, находящихся в граничных областях соседних кластеров. Такие участки играют роль генераторов при образовании микротрещин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен показатель упаковки кластеров, который может являться основанием для оценки изменения дисперсности почв и их структурного состояния в процессе внешнего воздействия в виде сезонного иссушения. Установлена тенденция увеличения

уплотненности частиц с уменьшением их размера, увеличения их количества и уменьшения расстояния между образованными ими кластерами в процессе единичного осаждения.

Для вариантов с единичным осаждением частиц, прошедших внешнее воздействие в виде двойного высушивания, характерно увеличение плотности (по сравнению с исходными образцами) образованной структуры: в гумусовом горизонте за счет увеличения числа кластеров при общем уменьшении их размеров, в почвообразующей породе – незначительное уменьшение количества структурных элементов при сохранении их средних размеров.

С появлением цикличности осаждения тонкодисперсных частиц одноразового иссушения происходит увеличение значений коэффициентов упаковки до 0.26 для гумусового горизонта почвы и 0.43 – для гор. ВТС.

При формировании кластеров второго порядка (появление цикличности осаждения) плотность распределения структурных элементов резко возрастает, при этом новые массивы формируются ближе к вновь созданной поверхности в области максимальной

концентрации осаждения, которые могут привести к необратимым изменениям почвенной микроструктуры, разрушению агрономически ценных агрегатов.

Условия и время осадкообразования налагают существенный отпечаток на вероятность изменения вектора направленности дисперсности системы и формирования ее микроструктуры в условиях иссушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронин А.Я.* Изменение дисперсности и микроагрегатного состава серых лесных почв при периодическом переменном увлажнении и высушивании // Актуальные проблемы современной науки. 2008. № 4(43). С. 129–142.
2. Почвы Московской области и их использование. М., 2002. Т. 1. С. 134–157.
3. *Соколов В.Н.* Количественный анализ микроструктуры горных пород по их изображениям в растровом электронном микроскопе // Соросовский общедобразовательный журнал. 1997. № 8. С. 72–78.
4. *Тарасов С.Ю., Колубаев А.В., Липницкий А.Г.* Применение фракталов к анализу процессов трения // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. № 3. С. 82–88.
5. *Турсина Т.В., Лукьянов И.В.* Изменение микростроения солонцов при орошении // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2011. Вып. 68. 2011. С. 29–44.
6. *Урьев Н.Б.* Структурированные дисперсные системы // Соросовский общедобразовательный журнал. 1998. № 6. С. 42–47.
7. *Савченко Е.Г.* Воздействие высушивания и нагревания почв на подвижность питательных веществ // Почвоведение. 2004. № 3. С. 322–331.
8. *Скибицкая Н.А., Кузьмин В.А., Большаков М.Н.* Изучение структуры порового пространства в растровом электронном микроскопе (РЭМ) с помощью компьютерной программы “Коллектор” // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007. № 8. С. 108–111.

INFLUENCE OF SOIL DRYING ON THE FORMATION OF STRUCTURAL ELEMENTS IN GRAY FOREST SOILS

A. Ya. Voronin

*V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 119017, Moscow, Pyzhevskii, 7
e-mail: avoron46@gmail.com*

Peculiar features for the formation of structural elements (clusters) and regularities in their growth have been identified by precipitating the

clay fractions extracted from samples of gray forest soils in water suspensions with the view of determining the mechanism responsible for the formation of the soil microstructure under the influence of temporary wetting-drying processes. Under use were suspensions of soil samples (<1 mkm) prepared by traditional methods for the particle-size distribution and microaggregate analyses and preliminary dried (1–2 times). One suspension drop taken by a pipette from the middle part of the test-tube was placed on the laboratory glass of 1x1 cm size. After the water evaporation (48 hours) this procedure was repeated once more and 14 samples were prepared including 7 samples with the clay precipitation from one suspension drop and 7 samples from two suspension drops. Then the raster electronic microscope REMJEOL 6060A was used for scanning of these preparations. The mathematical processing permitted to identify tend towards increasing the accumulation of fine-sized particles, their quantity and decreasing the distance between the formed clasters in the course of their precipitation. When developing clasters of the second order (cyclic precipitation) it seemed possible to establish that the distribution density of structural elements is sharply increased and newly formed clasters can lead to irreversible changes in the soil microstructure and the aggregate destruction. Only the humus promotes weakening these processes. In samples of parent materials such changes in the size of cluster doesn't occur under identical conditions.

Keywords: cluster, particle-size distribution, microaggregate analysis, fractal analysis, dispersion coefficient.