

Дизайн почвенных агрегатов: принципы создания и характеристика их экологической устойчивости

© 2017. Б. К. Сон¹, н. с., К. Ю. Хан², д. б. н., эксперт,

¹ Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, 142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, 2,

² Ожский экологический фонд, 142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, 2,
e-mail: vson06@rambler.ru, khan@itaec.ru

Впервые создан дизайн почвенных агрегатов, характеризующий закономерности распределения структурных элементов, образованных из илистых и коллоидных частиц, в капсулах, сформированных из пылеватых и песчаных частиц почвы. Дизайн почвенных агрегатов определяется морфометрическими показателями высокодисперсных органо-минеральных частиц, величинами сил сцепления, возникающими между частицами, особенностями формирования в агрегатах гексагональных структурных ячеек многоступенчатого сложения, определяющими формирование природного облика, образа агрегата.

Ключевые слова: почва, агрегат, гумус, энергия.

Design of soil aggregates: the principles of creation and their environmental sustainability

B. K. Son¹, K. Yu. Khan²,

¹ Institute of Basic Biological Problems RAS, 2 Institutskaya St., Pushchino, Moscow region, Russia, 142290,

² Ecological Foundation of the Oka region, 2 Institutskaya St., Pushchino, Moscow region, Russia, 142290,
e-mail: vson06@rambler.ru, khan@itaec.ru

The design of soil aggregates was first created, it characterizes the patterns of distribution of structural elements formed from silty and colloidal particles in the compartments, formed from silty and sandy soil particles. Design of soil aggregates is determined by the morphometric parameters of finely dispersed organic particles, by the values of the adhesion forces between particles, by formation of aggregates of hexagonal structural units of the multistage addition, which determine the formation of the natural appearance of the image of the unit.

Formation of structural connections in soil aggregates is determined by excess of free energy on the surface of contact between soil particles and water. Contacts between soil particles decrease the surface between solid and liquid phases. Resultant decrease of surface energy corresponds to the energy of bonds between the particles. When micro-dispersed soil particles react with humus through exchange cations and ionized molecules of humus acids, the micro-heterogeneous crystals of calcium and magnesium humate set on the particle surface and form hydrophobic areas. The higher the free energy on the contact between solid and liquid soil phases is, the stronger the bond forming between the soil particles is. The sum of the forces in the contacts between soil particles determines the stability of soil aggregate structure.

Therefore, the bulk density of solid particles decreases and porosity of aggregates increases. The bonds are formed on contacts and hydrophobic areas on the surface of colloidal particles. Such bonds stretch during wetting and contract during drying. Volume of aggregates includes anisotropic pores which form micro-zones with different water content. To form such aggregates a high local concentration of highly disperse particles and humus is necessary; thus each colloid particle connects with 12 similar colloid particles. Such processes naturally are active in soil and all conditions to form hexagonal structures with highly dispersed particles are met. The process of aggregate formation is driven by decrease of free energy due to forming energy bonds between colloid particles.

Design of soil aggregates could be a basis for modeling new materials: by modifying their building blocks (highly disperse organo-mineral particles) artificial materials analogues to the natural structures can be created.

Keywords: soil, aggregate, humus, energy.

Создание научных основ получения нового поколения экологичных пластических материалов на основе исследования строения природных высокодисперсных органо-глинистых дисперсных структур является одним из приоритетных направлений как в области разработки новых материалов, так и охраны окружающей среды от загрязнения. К одним из таких природных образований, выполняющих фундаментальную роль в биосфере, относятся водоустойчивые агрегаты чернозёмов.

При взаимодействии почвенных частиц в контактах образуются структурные связи, определяющие практически все физико-механические свойства почв. Определению размеров структурных элементов, характеристике их физических и химических свойств, оценке сил сцепления между частицами, особенностям формирования в глинистой органоминеральной матрице гексагональных структурных ячеек многоступенчатого сложения, определяющих прочностные и деформационные свойства водоустойчивого агрегата, посвящено настоящее исследование.

Материалы и методы

Для исследования строения водоустойчивых ядер, в первую очередь, необходимо их извлечь из почвы, основываясь на количественных признаках, позволяющих надежно иден-

тифицировать водоустойчивое ядро от других структурных образований. Обусловлено это тем, что в почвах одновременно могут присутствовать не только водоустойчивые агрегаты, состоящие из водоустойчивых ядер, связанных друг с другом, но и водоустойчивые агрегаты, не содержащие водоустойчивых ядер. Последние образуются из микроагрегатов и элементарных почвенных частиц, не вовлечённых в процесс формирования водоустойчивых ядер. В почве также имеется определённое количество индивидуальных водоустойчивых ядер, не связанных или слабосвязанных друг с другом силами сцепления. Анализ кривых распределения водоустойчивых агрегатов по фракциям, основанный на концепции водоустойчивого ядра, позволил выявить на кривой следующие характерные области. Правая ветвь (а) кривой распределения характеризует агрегаты, образованные исключительно из водоустойчивых ядер, связанных друг с другом. Левая ветвь (б) кривой характеризует агрегаты, которые не содержат в своём составе водоустойчивых ядер, хотя они и водоустойчивы (рис.).

Максимум на кривой характеризует максимальное содержание отдельных, не связанных друг с другом водоустойчивых ядер, а размер ячеек сита, на котором аккумулируется максимальное количество индивидуальных водоустойчивых ядер, соответствует диаметру водоустойчивого ядра (рис.).

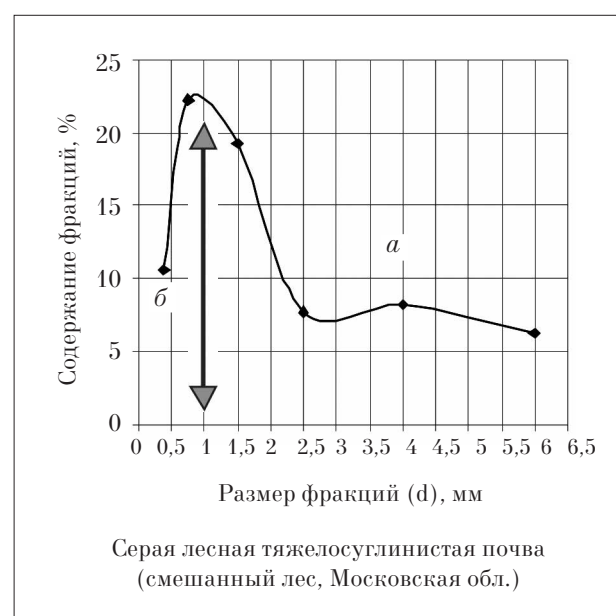
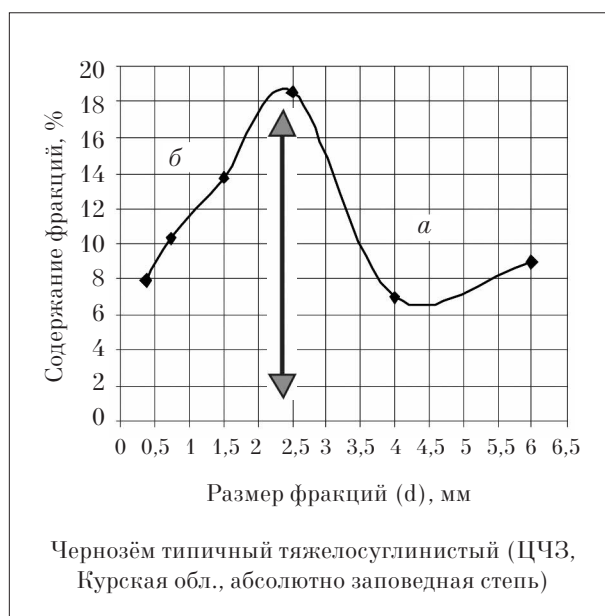


Рис. Распределение водоустойчивых ядер в агрегатах чернозёмных и серых лесных почв: а – область, характерная для агрегатов, образующихся из водоустойчивых ядер; б – область, характерная для водоустойчивых агрегатов, не содержащих водоустойчивые ядра; максимумы на кривых распределения соответствуют содержанию в почвах индивидуальных водоустойчивых ядер, которые свободны, не связаны между собой и не образуют ассоциаций

Таблица 1

Закономерности распределения водоустойчивых ядер и илестых частиц в агрегатах почв

Горизонт и глубина, см	Гумус, %	Агрегаты без ядер		Агрегаты с ядрами	
		количество, %	частицы < 1 мкм	количество, %	частицы < 1 мкм
Чернозём типичный мощный, абсолютно заповедный лес (ЦЧЗ, Курская обл.)					
Ад 2–10	9,1	43,8	13,6	56,2	21,1
А1 10–20	6,3	63,1	19,6	36,9	13,9
А1 20–40	4,2	75,9	23,5	24,1	9,0
А1 40–60	3,5	81,3	25,2	18,7	7,0
АВ 60–80	2,6	82,1	25,4	17,9	6,7
Вк 110–120	1,7	89,2	27,6	10,8	4,1

Отметим, что кривая, характеризующая распределение водоустойчивых агрегатов по фракциям, отражает особенности строения водоустойчивых агрегатов. Анализ кривых распределения позволяет обоснованно разделять водоустойчивые агрегаты, состоящие только из водоустойчивых ядер (ассоциированных и индивидуальных), от агрегатов водоустойчивых, но не содержащих водоустойчивые ядра. Рассматриваемый аспект важен в методическом отношении, так как он связан с процедурой подготовки водоустойчивых ядер для исследования.

В таблице 1 представлены данные, характеризующие закономерности распределения в чернозёмах типичных мощных агрегатов, образующихся из водоустойчивых ядер, и агрегатов, образующихся без водоустойчивых ядер. Первые практически не разрушаются при взаимодействии с водой, а вторые – размокают, разрушаются и распадаются. Эти различия определяются особенностями их структуры, зависящими от содержания в агрегатах гумуса и илестых частиц.

Для определения энергетических характеристик нами разработаны уникальные методы, которые апробированы при исследовании различных типов почв. Их описание дано в публикациях [1–3].

В результате теоретических исследований нами получена зависимость для определения энергии агрегатной структуры почв. Она равна работе, которую необходимо совершить для разрушения всех структурных связей агрегата. Она имеет следующий вид:

$$U = \frac{1}{2} u_k Z \cdot \frac{3k}{4\pi r^3 \rho_{str}} \cdot \frac{D}{D_0} \cdot P_{agr}$$

где u_k – энергия сцепления частиц в единичном контакте, Дж/контакт; Z – координа-

ционное число, при плотной гексагональной упаковке частиц в агрегатах оно равно 12; r – радиус илестых частиц, мм; ρ_b – плотность сложения водоустойчивого ядра, г/см³; ρ_{str} – плотность твёрдой фазы илестых частиц почв, г/см³; k – массовая доля структурных элементов, содержащихся в 1 г водоустойчивых ядер; D – диаметр водоустойчивых ядер, формирующийся в горизонтах почв с определённым содержанием в них гумуса, мм; D_0 – диаметр водоустойчивых ядер, образующихся в горизонтах почвы с максимальным содержанием в них гумуса, мм; P_{agr} – масса водоустойчивых ядер, содержащихся в 100 г воздушно сухой почвы, г.

Результаты и обсуждение

При взаимодействии почвенных частиц в контактах образуются структурные связи, определяющие практически все физико-механические свойства почв. Нами установлено, что высокодисперсные частицы, формирующие фракцию и имеющие размер 0,34 мкм, образуют гексагональную ячейку, характерную для первой ступени упаковки. В таблице 2 приведены параметры, характеризующие плотную гексагональную упаковку структурных элементов в водоустойчивых ядрах агрегатов почв. Эти данные являются базовыми для создания объёмного дизайна почвенных агрегатов.

В таблице 3 представлены базовые данные, характеризующие гексагональную упаковку высокодисперсных частиц в водоустойчивых агрегатах почв. Они позволят оптимизировать технологические процессы при создании искусственных агрегатов из высокодисперсных частиц, извлечённых из материнской породы почв, практически не содержащих в исходном

Таблица 2

Параметры, характеризующие плотную гексагональную упаковку структурных элементов в водоустойчивых ядрах агрегатов

Количество гумуса, $n \cdot 10^{-15}$ г/контакт	Объём гумуса, $n \cdot 10^{-16}$ см ³ /контакт	Размер гумусовых частиц, $n \cdot 10^{-6}$ см	Диаметр структурной ячейки, формирующейся из агрегированного комплекса коллоидных частиц, мкм			
			x_1	x_2	x_3	x_4
1,39	8,68	4,82	0,34	1,02	3,06	10,8

Таблица 3

Параметры, характеризующие плотную гексагональную упаковку частиц в агрегатах почв

Степень упаковки частиц (x)	Диаметр структурной ячейки (d_j), мкм	Граничное координационное число ($Z/4$)	Объём частиц в 1 см ³ каждой ступени упаковки, $(\rho_s/\rho_t) = T^x$	Число контактов в сечении каждой ступени упаковки, $\chi \cdot 10^9$
1	0,34	3	0,74	3,67
2	1,02	3	0,55	2,71
3	3,06	3	0,40	2,01
4	10,8	3	0,30	1,49

состоянии водоустойчивых агрегатов. Если в образовании агрегатов участвуют гумусовые вещества и высокодисперсные глинистые частицы, то образуются агрегаты водоустойчивые, характеризующиеся многоступенчатым сложением гексагональных ячеек в ядрах водоустойчивых агрегатов. Отметим, что нами впервые установлены закономерности изменения прочности гексагональных ячеек. Она может изменяться от 50 кгс/см² в воздушно сухом состоянии до 15 кгс/см² – во влагонасыщенном.

Для образования таких агрегатов необходима локальная концентрация высокодисперсных частиц и гумуса для того, чтобы каждый агрегированный комплекс коллоидных частиц мог соприкоснуться с 12 подобными частицами. Эти процессы протекают в почвах, и в ней создаются все условия для формирования рассмотренных структур с гексагональной упаковкой высокодисперсных частиц почвы. Самое главное – этот процесс протекает самопроизвольно, движущей силой его является закономерное уменьшение свободной энергии, связанное с образованием энергетических связей между коллоидными частицами почв.

Заключение

Таким образом, впервые создан дизайн почвенных агрегатов. Строение почвенных агрегатов определяется морфометрическими показателями высокодисперсных органо-минеральных частиц, величинами сил сцепления, возникающими между частицами, особенно

стями формирования в агрегатах гексагональных структурных ячеек многоступенчатого сложения, определяющими формирование природного облика, образа агрегата. Дизайн почвенных агрегатов – это проект, на основании которого можно создавать аналогичные естественным структурным образованиям новые материалы путём модифицирования их строительных блоков – высокодисперсных органо-минеральных частиц.

Литература

1. Хан К.Ю., Поздняков А.И., Сон Б.К. Строение и устойчивость почвенных агрегатов // Почвоведение. 2007. № 4. С. 450–456.
2. Хан К.Ю., Поздняков А.И., Сон Б.К. Метод определения сцепления в почвенных агрегатах // Почвоведение. 2007. № 7. С. 838–845.
3. Khan K.Yu., Pozdnyakov A.I., Son B.K. Fabric of soil and characterization of their structural functional stability // Eurasian Soil Science. 2008. V. 41. № 13. P. 1417–1423.

References

1. Khan K.Yu., Pozdnyakov A.I., Son B.K. The structure and stability of soil aggregates // Pochvovedenie. 2007. № 4. P. 450–456 (in Russian).
2. Khan K.Yu., Pozdnyakov A.I., Son B.K. The method for determining the adhesion of soil aggregate // Pochvovedenie. 2007. № 7. P. 838–845 (in Russian).
3. Khan K.Yu., Pozdnyakov A.I., Son B.K. Fabric of soil and characterization of their structural functional stability // Eurasian Soil Science. 2008. V. 41. № 13. P. 1417–1423.