

ФИЗИКА ПОЧВ

УДК 631.4

ФОРМИРОВАНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТАВА ПОЧВ И ОЦЕНКА ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

© 1996 г. С. Ю. Булыгин, Ф. Н. Лисецкий

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского, Харьков
Одесский государственный университет им. И.И. Мечникова*

Поступила в редакцию 22.09.93 г.

Обоснован выбор показателей, отражающих иерархические уровни агрегатного состава почвы. Выявлена зависимость формирования высокой агрегированности пахотных почв от особенностей их биологии и гумусного состояния. Предложены двухуровневая система управления агрегатным составом и принципы его оперативного мониторинга.

Почвенный агрегат можно рассматривать как объект, аккумулирующий результат многих почвообразовательных процессов. Совокупность агрегатов различных размеров и форм образует агрегатный состав. Оценка, контроль и поддержание оптимального агрегатного состава почвы, безусловно, должны стать неперенными условиями любой сельскохозяйственной деятельности человека.

Агрегатный состав почвы обычно разделяют на два иерархических уровня: макроагрегатный и микроагрегатный. Разделение на макроагрегаты диаметром >0.25 мм и микроагрегаты <0.25 мм подкрепляется определенным физическим смыслом, в частности, их различной устойчивостью к разрушению. Силы сцепления между элементарными почвенными частицами (ЭПЧ) в микроагрегатах на порядок, а чаще на 2-3 порядка выше, чем в макроагрегатах, в которых соединены между собой главным образом микроагрегаты. Очевидны различия и в организации макро- и микроагрегатов. Придерживаясь концепции иерархии структурных уровней [6] на фоне взаимосвязанности всех уровней в систему, необходимо в то же время признать их относительную самостоятельность. Поэтому важное теоретическое и прикладное значение имеет выбор показателей, которые наиболее полно и адекватно отражают суть и диагностируют тенденции развития каждого из отмеченных иерархических уровней.

Воронин [6] констатирует, что неагрегированные ЭПЧ содержатся во всех фракциях микроагрегатного состава, а их соотношение с микроагрегатами в той или иной фракции зависит от особенностей почвообразующей породы и типа почвообразования. Следовательно, таким соотношением в обобщенном виде можно охарактеризовать микроагрегатный уровень агрегатного состава почвы. Активные разработки в направлении как поиска формы выражения этого концеп-

туального положения, так и в апробации показателей на разнообразных объектах позволили остановить наш выбор на коэффициенте агрегированности [1, 2]. Впервые он был предложен еще в 1932 г. Бэйвером и Роадесом и вычисляется по формуле (в нашей модификации)

$$K_A = \frac{a}{b} \cdot 100\% ,$$

где a - содержание частиц и микроагрегатов диаметром от 0.05 до 0.25 мм; b - содержание ЭПЧ тех же размеров.

Для определения содержания неагрегированных ЭПЧ и свободных (не связанных в макроагрегаты) микроагрегатов в отдельных фракциях использовали метод прямого подсчета в отраженном свете на микроскопе МБС-9. Почвенные образцы предварительно рассеивали в колонке сит с диаметром ячеек не только 0.25 мм и более, но и 0.20, 0.16, 0.10, 0.065, 0.05 мм на приборе "Установка лабораторная для определения фракционного состава. Модель 029" в течение 30 с. После рассева пропорционально доли каждой фракции макроагрегатов ($E > 0.25$ мм) составляли образец общей массой 25 г для мокрого просеивания на приборе Бакшеева [3].

По результатам этого анализа рассчитывали средний взвешенный диаметр водопрочных агрегатов. Объектом исследований служили зональные почвы регионов Украины, характеризующихся довольно разнообразными почвенно-климатическими условиями: Левобережной Лесостепи, Донецкой Степи, сухой степи Побужья. Для освещения почвенно-эволюционных аспектов проблемы использованы археологические датировки памятников почв сельскохозяйственной округи Ольвии - античного государства, имеющего десятивековую историю.

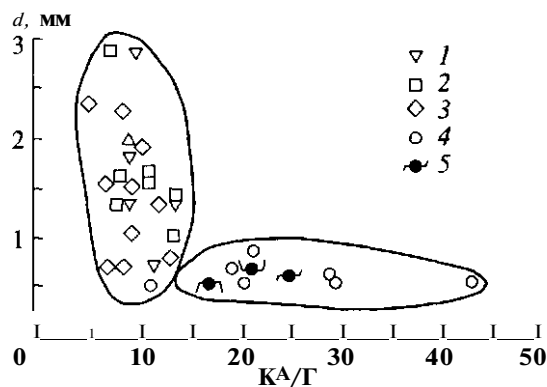


Рис. 1. Зависимость среднего взвешенного диаметра водоустойчивых агрегатов d от агрегирующей эффективности гумуса Кд/Г в слое 0-20 см черноземов южных и темно-каштановых почв Побужья: 1 - целинные полнопрофильные; 2 - молодые разновозрастные; 3 - залежные; 4 - старопахотные в античное время и ныне; 5 - пахотные в последние 130-150 лет.

При земледельческой оценке почвы важнейшая характеристика ее макроагрегатного уровня - устойчивость макроагрегатов к разрушению. Причем истинный агрегат должен быть прежде всего водопрочным, что прямо зависит от содержания гумусовых соединений [4]. Одним из наиболее интегральных и информативных показателей водопрочности агрегатов считается средний взвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов [7], поэтому он может быть выбран в качестве базового показателя макроагрегатного уровня агрегатного состава.

С учетом изложенного предлагается двухуровневая система управления агрегатным составом почвы. Для каждого уровня управления, отражающего конкретную иерархическую степень орга-

низации агрегатного состава почвы, используется контролирующий параметр или их система. На наш взгляд, достаточно информативные и сравнительно несложные в определении показатели макро- и микроагрегатного уровней: d - средний взвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов (MN) и K_A - коэффициент агрегированностиTM (рис. 1).

Почвы, находящиеся в разных условиях сельскохозяйственного использования, имеющие существенные различия в гумусовом состоянии в итоге характеризуются относительной независимостью макро- и микроагрегатных уровней. Для пахотных почв эффективность участия гумуса в микроагрегированности не сопряжена с изменением диаметра водопрочных агрегатов, а для почв, формирующихся под естественной растительностью, повышение водопрочности структуры не обеспечивается усилением микроагрегированности и увеличением эффективности гумуса в этом процессе. Очевидно, для почв, находящихся в таких контрастных условиях почвообразования, уже недостаточно сопоставить лишь физические химические показатели.

Принципиальные различия имеются и в биологии этих почв. О значении корневой системы зональных ассоциаций в фрагментации и структурообразовании почв (на примере степной зоны) дает представление отношение массы живых корней к массе почвы (табл. 1). По сравнению с пахотным горизонтом верхний 20-сантиметровый слой почвы под естественной растительностью насыщен корнями в 3-4 раза больше. Целинные залежные почвы по сравнению с пашней обладают значительно большей общей пористостью (хор дождевых червей, отмерших корней), а такая внутриагрегатная пористость [6]. В природных условиях почвообразования все это созда-

Таблица 1. Фитомасса подземных органов в целинных ассоциациях и агроценозах теплой зоны (чернозем южный);

Фитоценоз, агроценоз	Слой почвы, см	Корневища (КО)	Корни деятельные (K^2)	Корни недейательные	$K^x + K^z$ W
		г/м ²			
Разнотравная типчаковая ассоциация	0-10	48.5	834.5	283.0	7.3
	0-20	65.0	1074.5	413.0	4.8
Типчаково-ковыльная ассоциация	0-10	72.5	717.5	1159.5	6.6
	0-20	87.0	870.5	1465.5	4.0
Люцерна 4 года пользования	0-10	275.8	202.8	61.6	4.0
	0-20	392.0	376.0	97.6	3.2
Пшеница озимая	0-10	Нет	204.0	Нет	2.0
	0-20	»	270.7	»	1.4
Кукуруза	0-10	»	160.4	»	1.6
	0-20	»	243.3	»	1.2

Примечание. W - масса почвы в соответствующем слое, кг/м².

благоприятные предпосылки для развития грибных гифов, участие которых в повышении стабильности почвенных агрегатов установлено экспериментами [12] и подтверждено хорошо известной динамикой водоустойчивости структуры [4]. Дождевые черви также ежегодно могут создать на поверхности почвы слой копролитов мощностью до 5 мм, усиливая в ходе почвообразования агрегированность верхнего горизонта [5].

В широком зональном ряду пахотных почв (от дерново-подзолистых до темно-каштановых) выявлена тесная зависимость K^A слоя почвы 0-20 см от содержания в нем гумуса ($r = 0.89 \pm 0.19$). При рассмотрении аналогичной зависимости во внутризональном разрезе (пахотные почвы: черноземы южные и темно-каштановые Нижнего Побужья), очевидно, вследствие резкого сужения диапазона варьирования содержания гумуса (от 1 до 2.8%), его связи с величиной K^A не отмечается (рис. 2). При этом пахотные почвы имеют высокую степень микроагрегированности ($K^A = 31-48\%$), что позволяет предположить более сложный механизм агрегирования, в котором участвует не только гумус и/или гумус иного качества.

Следует отметить, что пока речь о водоустойчивости агрегатов не ведется. По схеме Хана [11] агрономически благоприятная агрегированность почвенной массы считается результатом образований и действия органо-минеральных соединений при неперенном наличии трех компонентов: новообразованного гумуса, высокодисперсных глинистых минералов и обменных оснований. В интенсивно используемых пахотных почвах при небольшом поступлении растительных остатков участие новообразованного гумуса в агрегированности крайне невелико, и потому отмеченный уровень гумусированности (1.1-2.8%) можно отнести на счет прочных органо-минеральных коллоидов, консервирующих гумус, по словам Л.Н. Александровой, на "сотни и тысячи лет". Таким образом, микроагрегированность пахотных и старопахотных почв может быть связана главным образом с действием полимерных коллоидов, которые, как было установлено Кульманом [8], имеют агрегирующую эффективность, аналогичную гумусовым веществам. Важным представляется также поиск особенностей группового и фракционного состава гумуса пахотных почв.

Для почв, формирующихся под естественной растительностью (целина, залежь) в условиях постоянного воспроизводства новообразованного гумуса, различия в гумусированности находят свое отражение в различной микроагрегированности (рис. 2). Сопоставление коэффициентов регрессии уравнений связи K^A с содержанием гумуса на зональном и внутризональном уровнях позволяет сделать вывод о разнокачественности гумуса пахотных почв, содержащих значительное количество неспецифических гумусовых веществ,

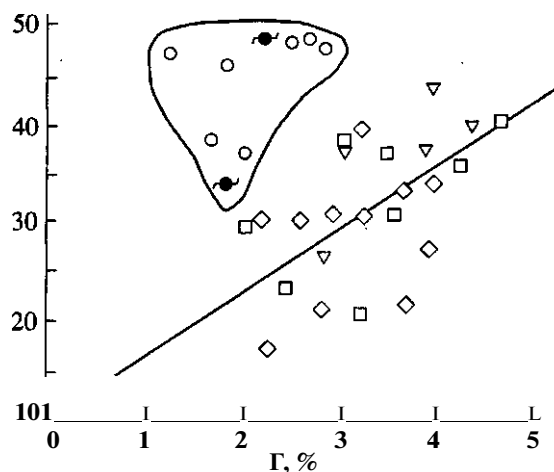


Рис. 2. Зависимость коэффициента агрегированности K^A от содержания гумуса Γ в слое 0-20 см пахотных и новообрабатываемых почв. Кд = 6.2 Г - 10.43; $r = 0.63 \pm 0.34$. Обозначения те же, что на рис. 1.

что определяет необходимость учета агрегирующей эффективности гумуса. Поэтому мы предлагаем оценивать его по отношению K^A/Γ , показывающему, какую агрегированность (%) обеспечивает 1% гумуса данной почвы.

В пахотных почвах отмечается уменьшение содержания гумуса по сравнению с целинными полнопрофильными, а также молодыми и залежными почвами. Однако различия в агрегирующей эффективности гумуса не соответствуют достигнутой степени дегумификации (табл. 2), поэтому принципиальным моментом является увеличение прежде всего микроагрегированности пахотных почв. Анализ группового и фракционного состава гумуса показывает, что выявленную закономерность усиливает фракция свободных и связанных с подвижными полуторными оксидами гуминовых кислот, содержание которой в пахотных почвах возрастает в 2-3 раза по сравнению с целинной. На наш взгляд, совместно с водорастворимым гумусом эта фракция может играть существенную роль в насыщении гумусовых веществ функциональными группами, создающими периферические элементы для образования гетерополярных органо-минеральных соединений, образующих, в свою очередь, "подвижные" ассоциаты и микроагрегаты [9, 10].

Но особенно примечательна, по нашему мнению, четко выявляемая зависимость агрегирующей эффективности гумуса от содержания фракции "агрессивных" фульвокислот, т.е. свободных и связанных с подвижными полуторными оксидами. Хотя это лишь частичный ответ на вопрос "как?" Механизм этого влияния еще не ясен. Несмотря на то, что в сумме кислоторастворимых

Таблица 2. Агрегирующая эффективность гумуса почв при различной интенсивности использования

Почвы	Количество определений	K ^A	Г, %	K ^A /Г
Целинные	6	22-43/31	2.78-4.21/3.47	8-11/9.5
Молодые	9	21-39/31	2.16-5.35/3.55	5-13/9
Залежные	10	18-38/29	2.28-3.87/3.16	7-13/9.5
Пахотные	17	34-48/42	1.51-2.76/1.95	17-25/22
Старопахотные	7	27-^8/42	1.11-2.19/1.89	11-43/24

органических веществ в целинных и залежных почвах большое значение могут иметь неспецифические органические соединения, в наших исследованиях все пахотные почвы отличались наиболее высоким содержанием "агрессивных" фульвокислот (15-26%). Очевидно, эта особенность тесно связана с ранее установленным фактом [10], объясняющим формирование агрономически оптимальных структур в пахотных черноземах преимущественно фульвокислотной фракцией лабильной части гумуса, что подтверждается результатами стационарного опыта. Так, замена отвальной вспашки ежегодной поверхностной обработкой под все культуры севооборота уже через 5 лет на фоне общего увеличения содержания гумуса в черноземе обыкновенном достоверно повышала долю фульвокислот. Это позволяет утверждать, что существует принципиальная возможность управления процессом агрегирования ЭПЧ. Следовательно, в пахотных почвах не только интенсивнее (по сравнению с целиной) воспроизводятся лабильные фракции гумусовых веществ, но и полнее реализуется их агрегирующий потенциал. В этой связи вполне объяснима, на первый взгляд парадоксальная, закономерность уменьшения

суммы неагрегированных ЭПЧ в зависимости от длительности обработки почвы (от 18-34% на целине до 6-20% на пашне разной длительности земледельческого пользования).

На основании археологических и исторических датировок можно представить зависимость величины d от длительности обработки почв* (рис. 3). Уже через 100-150 лет обработки средний взвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов уменьшится в 2-3 раза и в дальнейшем (1000 лет) стабилизируется на уровне 0.50-0.75 MN. Это позволяет предположить наличие у пахотных почв устойчивого зонального показателя противозерозионной стойкости, но зависящего не от сравнительно изменчивых показателей агрофизического состояния пахотного горизонта, а от почвенно-генетических характеристик, к которым может быть отнесен коэффициент агрегированности. Естественно, при другой интенсивности использования почвенного покрова и разной длительности возможен иной диапазон значений

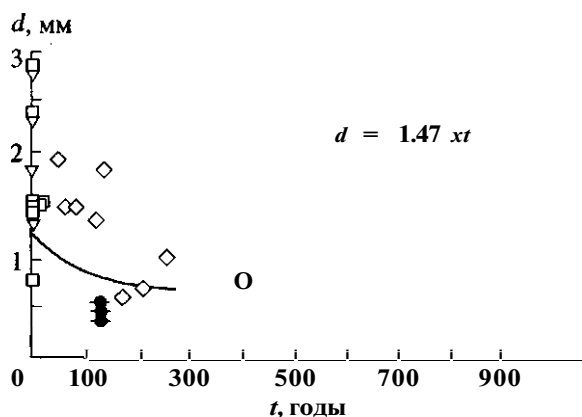


Рис. 3. Зависимость среднего взвешенного диаметра водоустойчивых агрегатов d от длительности обработки почвы. Обозначения те же, что на рис. 1.

Диапазон изменений параметра d в условиях определенной культуры земледелия зависит от многих причин, в том числе от технологии обработки почвы. Так, по нашим исследованиям, призовое применение различных способов основной обработки почвы обуславливает статистически доказуемое различие величин d уже осенью. К весне эти различия усиливаются, но к уборке возделываемой культуры влияние основной обработки на параметр не фиксируется. Значительно труднее изменить значения экстремумов устойчивого диапазона d . Особенно важно понизить значение нижнего экстремума, который может служить одним из количественных критериев системы земледелия, обязанной быть экологически эффективной, экологически безопасной и сохранять плодородие почвенного покрова при проявлении почвенно-климатических факторов не ниже 10%-ной обеспеченности. Поэтому значение нижнего дециля ($d_{0.1}$) может в достоверной степени характеризовать нижний экстремум устойчивого диапазона колебаний.

В полевом стационарном опыте на черноземе обыкновенном (Донецкая Степь) испытывали качественно различные технологии обработки почвы под культуры 10-польного полевого севооборота: отвальную, плоскорезную, щелевую (чизельную) и поверхностную. Через 5 лет к началу весны значение $do_{.1}$ слоя почвы 0-20 см составило по вариантам соответственно: 0.34; 0.43; 0.36; 0.45 мм; на участке целины косимой - 2.00 мм; летом в период наибольшей опасности ливневой эрозии - 0.40; 0.40; 0.50; 0.63 мм; на целине изменение $do_{.i}$ не было установлено. Таким образом, улучшение гумусного состояния почвы в опыте обусловило увеличение нижнего экстремума диапазона колебаний водоустойчивости макроагрегатов. Это свидетельствует о возможности в процессе земледельческой деятельности не только управлять сезонной динамикой водоустойчивости макроагрегатов, но и целенаправленно изменять ее пределы, т.е. улучшать стабильную, генетически обусловленную водоустойчивость почвенных агрегатов. Поэтому разработка рациональных почвоохраняющих технологий возделывания культур требует глубокого научного обеспечения. Необходимо иметь количественные представления о влиянии на агрегатный состав почвы всех отдельных операций этих технологий, т.е. следует установить оперативный мониторинг агрегатного состава почвы при ее сельскохозяйственном использовании.

Безусловно, мониторинг можно было бы проводить по значениям K_A и d . Но сенсорность этих показателей недостаточна, чтобы по ним оценивать отдельные технологические операции. Для более оперативного мониторинга агрегатного состава почв нужен дополнительный показатель. Установлено, что содержание неагрегированных ЭПЧ моментально изменяется, причем в определенном диапазоне при любом агротехническом воздействии [1, 2]. Постоянно поддерживая содержание неагрегированных ЭПЧ возле верхнего или нижнего экстремума, мы тем самым создаем направленность в изменении агрегатного состава почвы. Для почв Донецкой Степи с интервалом значений параметров d 0.50-0.75 мм была установлена соответствующая амплитуда содержания всех неагрегированных ЭПЧ от 15 до 5%, т.е. можно говорить об обратной связи между величиной d и содержанием неагрегированных ЭПЧ, которое обозначим символом C .

В условиях стационарного полевого опыта определена хорошо выраженная цикличность изменения значений C в течение сельскохозяйственного года, но технология обработки оказывала решающее воздействие на амплитуду и фазы этой цикличности. Практически любая технологическая операция ведет к увеличению величины C ,

которая после проведения операции начинает уменьшаться. Видимо, как и при рассмотрении ряда d , значение нижнего дециля C_{01} будет наиболее полно и точно характеризовать воздействие технологий обработки почвы на содержание неагрегированных ЭПЧ. Этот показатель говорит о степени восстановления агрегированности после очередной технологической операции. И чем его величина ниже, тем лучше, так как он характеризует степень разрушения агрегатов до ЭПЧ. Хорошей иллюстрацией сказанному будут значения C_{0j} слоя почвы 0-20 см по вариантам: 8.4; 6.2; 4.1 и 4.0%. При отвальной технологии отмечается наибольшее воздействие на агрегаты, которые не успевают восстановиться до исходного состояния; при этом их водоустойчивость снижается. Применение технологий обработки почвы, поддерживающих значение C^0 , близким к 4%, обеспечило рост водоустойчивости макроагрегатов по сравнению с отвальной технологией, что, разумеется, произошло из-за общего увеличения содержания гумусовых соединений в почве. Следовательно, поддержание чрезмерно высокого уровня неагрегированных ЭПЧ при отвальной вспашке ведет к увеличению скорости минерализации гумуса, а следовательно, к ухудшению агрегатного состава почв. Отметим, что это всего лишь гипотеза. Необходимы непосредственные измерения.

Для обеспечения научно обоснованного мониторинга агрегатного состава по содержанию неагрегированных ЭПЧ, который позволял бы оценивать рациональность отдельных операций и технологий возделывания в целом, нужны нормативы предельно допустимого их содержания. Нам представляется, что для этого есть довольно надежный и простой способ, а именно: наличие неагрегированных ЭПЧ почвы под пластом многолетних трав 3-4 года жизни может служить нормативом для близких по генезису почвенных разновидностей. К этому времени в почве происходит "стирание" тех особенностей, которые обусловлены обработкой до посева трав, и устанавливается минимальное содержание ЭПЧ, характеризующее почвы, находящиеся в интенсивном использовании.

Таким образом, мониторинг агрегатного состава почвы предлагается проводить по показателю, отражающему состояние предшествующего по степени организации иерархического уровня, - уровню неагрегированных ЭПЧ. Вероятно, установленный принцип (отражение результата проявления деградационных процессов прежде всего в подчиненном иерархическом уровне структурной организации) носит более универсальный характер и может быть рассмотрен как концептуальная база мониторинга почвенного покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булыгин С.Ю., Лисецкий Ф.Н. Оценка агрегированности почв степной зоны УССР // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1989. Вып. 51. С. 74-75.
2. Булыгин С.Ю., Комарова Т.Д. К оценке влияния механической обработки на почву // Почвоведение. 1990. № 6. С. 135-138.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
4. Вершинин П.В. и др. Основы агрофизики почв / Под ред. А.Ф. Иоффе, И.Б. Ревута. М.: Физматгиз, 1959. 904 с.
5. Возраст и эволюция черноземов / Н.Я. Марголина, А.Л. Александровский, Б.А. Ильичев и др. М.: Наука, 1988. 144 с.
6. Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
7. Кузнецов М.С. Противоэрозионная стойкость почв. М.: Изд-во МГУ, 1981. 136 с.
8. Кульман А. Искусственные структурообразователи почвы. М.: Колос, 1982. 158 с.
9. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1981. 376 с.
10. Сорочкин В.М., Орлова Л.П., Кучеряева Е.Б. К механизму образования структуры обрабатываемых лесостепных почв // Почвоведение. 1990. № 6. С. 51-58.
11. Ханд Д.В. Органоминеральные соединения и структура почв. М.: Наука, 1989. 140 с.
12. Molope M.B., Grive I.C, Page E.A. Contributions of fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils III. Soil Sci. 1987. V. 38. № 1. P. 71-77.

The Formation in the Soil Aggregate Composition and its Assessment

S. Yu. Bulygin, F. N. Lisetskiy

The choice of indices is substantiated to characterize hierarchical levels of the soil aggregate composition. A higher aggregation of arable soils appears to be dependent on peculiar features of their biology and humus state. Two-level system of governing the soil aggregate composition is proposed as well as principles of its operative monitoring.