

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО

Анализ реологических кривых чернозема типичного при влажности максимального набухания позволил выявить, что внесение навоза вызывает усиление дилатантных свойств за счет увеличения водопрочности почвенных агрегатов. Увеличение удельной мощности предельного разрушения структуры в варианте с навозом улучшает технологические свойства почвы за счет уменьшения вязкости и увеличения пределов прочности. Под влиянием минеральных удобрений происходит резкое снижение удельной мощности предельного разрушения структуры по сравнению с контролем, что обуславливает неблагоприятные структурно-механические свойства.

Введение

Черноземы стали объектом исследования с самого зарождения науки о почве. Благодаря своему уникальному плодородию эти почвы являются «житницей человечества» [7]. В настоящее время целинных черноземов почти не осталось, большая их часть распахана. Многие факторы почвообразования при вовлечении черноземов в земледелие резко меняются. Это не может не отразиться на их водно-физических свойствах и структурном состоянии. Прекрасная зернистая структура черноземов обеспечивает оптимальную плотность, влагоемкость, порозность и водопроницаемость. Поэтому изучение влияния сельскохозяйственного использования черноземов на их структурное состояние является актуальной темой в современной физике почв. Стандартные методы изучения структуры (микроагрегатный анализ, сухое и мокрое просеивание, водопрочность агрегатов) не дают нам полного объема информации, необходимого для изучения типов структурных связей на уровне элементарных почвенных частиц и микроагрегатов. Поэтому в нашей работе мы использовали достижения физико-химической механики дисперсных систем и изучали структурное состояние чернозема типичного почвенно-реологическими методами.

Объекты и методы

Объектом нашего исследования является чернозем типичный с многофакторного опыта ВНИИЗПЭ, г. Курск; зернопаропропашной севооборот, пахотный горизонт (0-20см), варианты: «контроль», «NPK», «NPK+навоз», «навоз».

Для исследования реологических свойств нами был использован автоматический ротационный вискозиметр «РЕОТЕСТ-2», подсоединенный к компьютеру через иономер. Показания фиксировались каждую минуту. Время измерения на каждой скорости – 2-5 мин. Для получения полной реологической кривой измерения проводились в прямом и обратном порядке скоростей (всего 23 скорости).

Экспериментальная часть

По полученным данным были построены реологические кривые течения: основная, которая отражает зависимость скорости деформации ($D\dot{\gamma}$, 1/с) от напряжения сдвига (P , дин/см²), и дополнительная, показывающая зависимость структурной вязкости (η , пуаз) от напряжения сдвига.

Прочность структуры, ее реологические свойства и тип структурных связей зависят от концентрации твердой фазы или, соответственно, влажности почвы. Для объективной оценки при сравнении различных образцов реологические параметры исследуемых почв определялись в состоянии максимального набухания, влажность при этом колебалась от 47 до 63% (капиллярное насыщение в течение суток). Влажность максимального набухания соответствует практически нулевому потенциалу почвенной влаги, почва при этом содержит максимальное количество воды всех категорий. Измерения проводились для образцов нарушенного сложения (растерты и просеяны через сито 1 мм).

По реологическим кривым течения были определены следующие параметры: первое критическое напряжение сдвига $P_{к1}$, соответствующее началу течения пасты; второе критическое напряжение сдвига $P_{к2}$, соответствующее

ющее началу разрушения; P_m – напряжение сдвига, соответствующее полному разрушению структуры; вязкость начала течения η_{PK1} ; минимальная вязкость η_m ; бингамовская вязкость η_m^* – вязкость пластического течения; ΔS – удельная мощность разрушения структуры; конечная эффективная вязкость η_k , которая соответствует наименьшей скорости деформации ($Dg = 0,17 \text{ об/с}$) по обратной реологической кривой. Отношение конечной вязкости пасты к начальной (η_k/η_{PK1}) характеризует способность структур к восстановлению. Отношение напряжения сдвига максимального разрушения структуры к первому критическому напряжению сдвига (P_m/P_{K1}) характеризует прочность коагуляционных связей между почвенными частицами. Отношение первого критического напряжения сдвига ко второму (P_{K1}/P_{K2}) показывает наличие дилатантных свойств.

Обсуждение результатов

В таблице 1 приведены основные реологические параметры исследуемых почв. В области малых напряжений сдвига систему можно рассматривать как твердое тело, практически не текущее при напряжении сдвига меньше P_{K1} . Это так называемый условный предел текучести (предел Шведова), по которому можно определить начало деформационных процессов [1]. Как видно, для всех исследуемых вариантов характерны высокие значения пределов прочности и начальной вязкости. Вязкость почвы в значительной мере зависит от влажности: чем меньше влажность образца, тем выше его вязкость. Наибольшее значение начальной вязкости η_{PK1} соответствует варианту «навоз» с наименьшей влажностью набухания. Этот образец обладает более высокими значениями пределов прочности по сравнению с другими вариантами. Характер развиваемых деформаций в почве зависит от многих факторов, в числе которых первостепенное значение имеет структурное состояние почвы. По данным мокрого просеивания самое высокое содержание водопрочных агрегатов 1-0,25 мм (табл. 3) у варианта «навоз».

Все исследуемые образцы проявляют дилатантные свойства, $P_{K1} > P_{K2}$. Дилатант-

ные системы характеризуются тем, что при медленном деформировании система ведет себя как жидкость, с увеличением скорости деформации сопротивление резко возрастает и становится почти независимым от деформирующей силы, что отвечает поведению твердого тела [2]. На начальной стадии деформации почв в состоянии максимального набухания на кривой зависимости эффективной вязкости от напряжения сдвига появляется дилатантный пик увеличения вязкости системы, который образуется вследствие расслоения дисперсной системы на твердую и жидкую фазы, при увеличении скорости деформации этот пик исчезает. Наиболее ярко дилатантные свойства выражены у варианта «навоз» – отношение $P_{K1}/P_{K2} > 4$ (табл. 2), наименьшей дилатантностью обладает вариант «НРК» – $P_{K1}/P_{K2} < 2$. Прочность пасты, обусловленная жестким каркасом из прочных микроагрегатов, тем выше, чем шире это соотношение.

При снятии напряжения восстановление сопротивления деформации может идти по типу тиксотропии, что характеризует истинную дилатансию, которая проявляется за счет грубодисперсной фракции песка. Для чернозема типичного характерно проявление ложной дилатансии, вызванной наличием водопрочных микроагрегатов [1]. Восстановление структуры идет по типу тиксостабильности и реопексии. При высоких скоростях деформации исследуемые варианты обладают приблизительно равными скоростями разрушения и восстановления структуры – обе ветви реологических кривых (прямая и обратная) практически совпадают. Состояние тиксостабильности обуславливается наличием в почве в преобладающем количестве прочных коагуляционно-конденсационных связей [1]. Вариант «НРК», проявляя слабую дилатансию по сравнению с остальными вариантами, имеет самую большую по площади петлю реопексии. Внесение органических удобрений (навоза) ведет к уменьшению петли реопексии на реологических кривых и увеличению дилатансии, а внесение минеральных удобрений (НРК) – наоборот, значительно увеличивает площадь петли реопексии и уменьшает дилатансию. Исследования Л.П.

Таблица 1. Основные реологические параметры чернозема типичного

Вариант опыта	Пределы прочности дальней фиксации			Вязкость дальней фиксации				Пределы прочности ближней фиксации		Вязкость ближней фиксации	
	$P_{к1}$	$P_{к2}$	P_m	$\eta_{Pк1}$	η_m	η_m^*	η_k	$P_{к2}'$	P_m'	η_m'	$\eta_m'^*$
ед.изм.	дин/см ²			*10 ³ пуаз				дин/см ³		*10 ³ пуаз	
контроль	317,6	126,0	162,0	190,5	3,6	0,8	10,0	69,0	203,0	0,8	0,6
НРК	324,0	168,0	298,0	194,4	0,7	0,3	38,9	-	-	-	-
НРК+нав	181,9	56,0	189,2	109,1	2,4	1,6	0,6	89,0	308,2	0,8	0,5
Навоз	1649,2	355,0	474,0	989,3	1,2	0,3	115,2	170,0	715,0	1,0	0,8

Таблица 2. Основные характеристики деформационного поведения чернозема типичного

Вариант опыта	Характеристики деформационного поведения		Способность структуры к восстановлению	Мощность предельного разрушения структуры,
	$P_m / P_{к1}$	$P_{к1} / P_{к2}$		
контроль	0,5	2,5	0,1	22,2
НРК	0,9	1,9	0,2	5,6
НРК+навоз	1,0	3,2	0,0	1,3
навоз	0,3	4,6	0,1	56,7

Абруковой показали, что появление петель типа реопексии на реологических кривых свидетельствует о преобладании в исследуемых почвах прочных конденсационно-кристаллизационных связей внутри агрегатов. Это связано со сложным процессом перераспределения связей: при увлажнении и деформации происходит ослабление внутриагрегатных сил сцепления. Последнее приводит к разрушению прочносцементированных агрегатов, увеличению количества микроагрегатов и усилению межагрегатных сил сцепления. Результатом процесса разрушения агрегатов является увеличение числа контактов в единице объема и, следовательно, увеличение вязкости почвы.

В ходе подготовки образцов к анализу они были высушены при комнатной температуре. При этом произошло дополнительное упрочнение почвенных агрегатов, причем ядра этих агрегатов имели вполне оформленные конденсационные связи. Участки агрегатов, их ядра, внутри которых преобладают конденсационные связи, и есть прочные микроагрегаты. При увлажнении в первую очередь ослабляются коагуляционные связи между микроагрегатами за счет их гидратации. А при деформации происходит разрушение микроагрегатов с конденсационными структурами. Прочность образующихся коагуляционно-конденсационных структур зависит от многих факторов: состава ионов

почвенного раствора, содержания илстых частиц и органического вещества, окислительно-восстановительных условий, температурного режима, развития микрофлоры и др. Разные условия формирования структурных связей создаются при разном сельскохозяйственном использовании. Внесение органики ускоряет процесс гумификации. Только что образовавшиеся гумусовые кислоты имеют большую подвижность, но если их дегидратировать высушиванием, то произойдет коагуляция, а коагелы становятся малоподвижными. Дегидратация вызывает сближение молекул и конденсатов органических молекул, между ними возникает связь силами взаимной поляризации зарядов. Высушивание ускоряет этот процесс, то есть происходит денатурация – уменьшается подвижность, а при увлажнении подвижность восстанавливается только частично [5]. Между органическими молекулами и одновалентными катионами образуется электровалентная связь, которая редко ослабевает при диссоциации. В черноземах происходит постепенная карбонатизация гуминовых кислот, что ведет к упрощению строения их молекул, уменьшению их гидрофильной и обменной способности. Одновременно растет прочность связи органических молекул с поверхностью минеральных частиц, а реакционная способность органо-минеральных соединений понижается. Это приводит к постепен-

Таблица 3. Некоторые физико-химические свойства чернозема типичного

Вариант опыта	Влажность набухания W, %	Содержание углерода Сорг, %	Содержание илистой фракции <0,001 мм, %	Содержание водопрочных агрегатов 1-0,25мм, %
контроль	60	3,36	38	91
НРК	60	3,11	49	92
НРК+нав	61	3,16	46	93
навоз	48	3,27	37	95

ному снижению физико-химической активности образца, уменьшению его гидрофильности, обменной способности, пластичности и упрочнению его структурных связей.

Отношение $P_m/P_{к1}$ (табл. 2) характеризует прочность структурных связей между частицами, эта величина равна единице для варианта «НРК», а для остальных образцов $P_m/P_{к1} < 1$. Максимальная прочность структурных связей наблюдается при большем содержании илистых частиц (табл. 3). Можно заметить, что все пределы прочности $P_{к1}$, $P_{к2}$, P_m (табл. 1) увеличиваются в вариантах «НРК» и «навоз», и уменьшаются при совместном внесении органического и минерального удобрения (вариант «НРК+навоз») по сравнению с контролем.

Анализ реологических кривых $D_r = f(P)$ исследуемых образцов при влажности максимального набухания по закономерности изменения угла наклона кривых позволяет выделить на кривой течения две области: малых и больших напряжений сдвига, в каждой из которых прямолинейный участок со сравнительно малой величиной угла наклона сменяется прямолинейным участком с большим углом наклона, что соответствует смене участка пластического течения практически ненарушенной структуры участком интенсивного ее разрушения. Наличие двух областей разрушения структуры исследуемых образцов позволяет предположить существование двух уровней взаимной фиксации частиц в структуре: ближней и дальней, по аналогии с ближними и дальними коагуляционными контактами [8]. Возможность фиксации глинистых частиц в условиях стесненной коагуляции как в первом, так и во втором потенциальном минимуме отмечена в работе Осипова (1979).

Ближняя фиксация характеризует скорей всего связь частиц внутри микроагрегата,

дальняя – связь соседних микроагрегатов. Вследствие ближней и дальней фиксации частиц образуется «регулярная» пространственная структура, в которой в равной степени участвуют как внутри-, так и межагрегатные связи. При ближней фиксации формируется «узловая» пространственная структура, при которой ослабляются связи между отдельными агрегатами [8].

Прочность фиксации частиц можно определить по пределу прочности P_m и P'_m (табл. 1) [4]. Предел прочности ближней фиксации в полтора раза больше предела прочности дальней фиксации для всех вариантов. В случае варианта «НРК» происходит некоторое изменение реологической кривой: в области малых напряжений сдвига на ней нет характерных для остальных вариантов перегибов и изменения величин тангенса угла наклона кривой, соответствующих разрушению элементов структуры, образованной дальней фиксацией частиц. Величина предела прочности P_m , рассчитанная для области больших напряжений сдвига указанного варианта, занимает промежуточное значение по отношению к величинам P_m ближней и дальней фиксации для других вариантов. Этот образец также обладает наименьшими значениями площади удельной поверхности, содержания органического углерода и наибольшей по площади петель реопексии. Под влиянием минеральных удобрений происходит резкое снижение удельной мощности предельного разрушения структуры, а внесение навоза увеличивает этот показатель в два раза по сравнению с контролем. Это говорит о том, что навоз улучшает технологические свойства почвы, снижает удельное сопротивление почвы при вспашке, понижая ее вязкость, и увеличивает в несколько раз пределы прочности, а НРК обуславливает неблагоприятные структурно-механические

свойства исследуемой почвы, при иссушении происходит резкое увеличение ее плотности. Органическое вещество способствует повышению уровня микроагрегации вещества и образованию почвенных структур с дилатантными свойствами, обусловленными высоким содержанием водопрочных агрегатов. В работе Васильева [3] отмечена способность органики к образованию устойчивых комплексов с ионами металлов и имитация вследствие этого системы пленок-гелей на поверхности почвенных минералов, что, по нашему мнению, предполагает реализацию в варианте с навозом возможности увеличения водопрочности и упорядоченности почвенной структуры.

Заключение

Таким образом, анализ реологических кривых при влажности максимального набухания позволил выявить два уровня взаимной фиксации частиц в структуре – ближней

и дальней, определяющих «регулярную» пространственную структуру почвенной массы. Внесение навоза вызывает усиление дилатантных свойств в пахотном горизонте исследуемой почвы за счет увеличения водопрочности почвенных агрегатов. Увеличение удельной мощности предельного разрушения структуры в варианте с навозом улучшает технологические свойства почвы за счет уменьшения вязкости и увеличения пределов прочности. Под влиянием минеральных удобрений происходит резкое снижение удельной мощности предельного разрушения структуры по сравнению с контролем, что обуславливает неблагоприятные структурно-механические свойства исследуемой почвы, при иссушении происходит резкое увеличение ее плотности. Восстановление структуры при внесении NPK идет по типу реопексии, что говорит о ложной дилатансии, обусловленной повышенным содержанием прочносцементированных агрегатов.

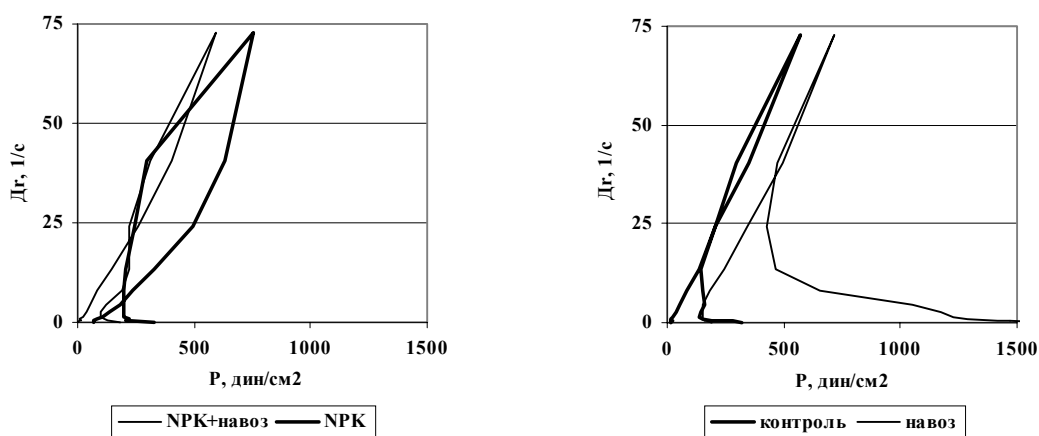


Рисунок 1. Основная реологическая кривая чернозема типичного

Список использованной литературы:

1. Абрикова Л.П. Реопексия при реологических исследованиях почв // Почвоведение. 1970. №3. С. 121-125.
2. Абрикова Л.П. Изучение тиксотропных свойств почв с помощью ротационного вискозиметра // Почвоведение. 1970. №8. С. 104-114.
3. Васильев Е.В. Лигнин как основа препаратов мелиорантов для почв (нерешенные проблемы) // Тез. докл. 1 Всес. конф. «Использование лигнина и его производных в сельском хозяйстве». Рига: Знание, 1978. С. 112-115.
4. Минкин М.Б., Буравчук Н.И. и др. Удельная мощность предельного разрушения структуры почв // Почвоведение. 1975. №5. С. 44-54.
5. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: Изд-во МГУ, 1985.
6. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М.: Изд-во МГУ, 1979. 235 с.
7. Почвоведение. Том II / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – М.: «Высшая школа», 1988.
8. Харитоновна Г.В. Структурное состояние луговых текстурно-дифференцированных почв Среднеамурской низменности и его изменение под действием антропогенного фактора. / Дисс. канд. биол. наук. Хабаровск, 1995.