

# АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.431

И.В. Николаева,  
Т.Н. Початкова,  
А.С. Манучаров

## ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ И ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Реологические исследования позволяют вскрыть внутреннюю природу прочностных свойств почв и определить преобладающий тип структурных связей в почве. Азотные удобрения и известь по-разному влияют на структурное состояние дерново-подзолистых почв. Для всех вариантов характерно проявление плавунности и дилатантности, а также тиксотропное восстановление структуры и реопексия. Связь между частицами имеет коагуляционную природу. Внесение азота ведет к увеличению коагуляционных структур. Хрупкие кристаллизационные связи возникают при высыхании почвы и не восстанавливаются после разрушения.

### Введение

Дерново-подзолистые почвы в природном состоянии малопродуктивны для сельскохозяйственных культур. Наиболее эффективное воздействие на биопродуктивность этих почв оказывает известкование и систематическое внесение удобрений, что ведет к перестройке минеральной части и структуры почвы. До сих пор не ясны основные закономерности влияния сельскохозяйственного использования на структурное состояние дерново-подзолистых почв.

### Объекты и методы исследования

Объектами нашего исследования являются образцы из многолетнего опыта кафедры агрохимии факультета почвоведения МГУ на дерново-подзолистой почве (Московская область, Солнечно-

горский район, УОПЭЦ «Чашниково»). Анализировали средний образец из пахотного горизонта (0-20 см) в вариантах опыта «контроль», «контроль + известь», «азот», «азот + известь». Агрохимические свойства данной почвы подробно описаны в работах Н.Ф. Гомоновой.

Реологические параметры определялись для образцов нарушенного сложения в состоянии суточного набухания.

Структурно-механические (реологические) свойства были изучены по реологическим кривым – кривым течения (основной и дополнительной), полученным на ротационном вискозиметре «Ротест-2». Основная реологическая кривая отражает зависимость скорости деформации ( $D\gamma$ , 1/с) от напряжения сдвига ( $P$ , дин/см<sup>2</sup>) (рис.), дополнительная – зависимость структурной вязкости ( $\alpha$ , пуаз) от напряжения сдвига.

По полученным данным нами были определены следующие параметры: первое критическое напряжение сдвига  $R_{k1}$  – начало течения пасты; второе критическое напряжение сдвига  $R_{k2}$  – начало разрушения;  $R_m$  – полное разрушение структуры; вязкость начала течения  $\alpha_{R_{k1}}$ ; минимальная вязкость  $\alpha_m$ ; бингамовская вязкость  $\alpha_m^*$  – вязкость пластического течения,  $D\dot{\gamma}$  – удельная мощность разрушения структуры,  $\alpha_k$  – конечная эффективная вязкость исследуемой системы. Отношение  $\alpha_k/\alpha_{R_{k1}}$  характеризует способность структур к восстановлению, отношение  $R_m/R_{k1}$  – прочность коагуляционных связей между почвен-

ными частицами, отношение  $P_{k1}/P_{k2}$  показывает наличие дилатантных свойств.

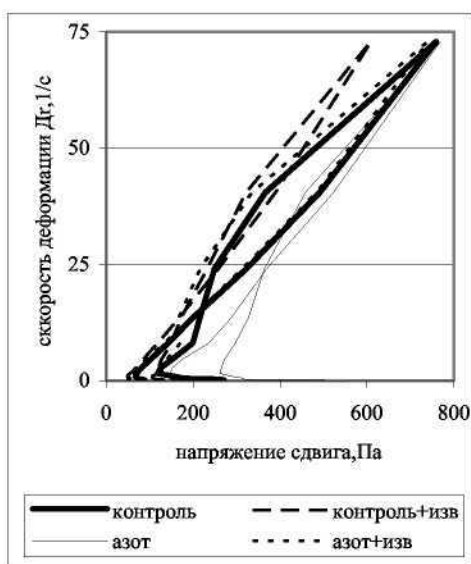


Рис. Основные реологические кривые дерново-подзолистой почвы

### Обсуждение результатов

В таблице 1 приведены основные реологические параметры исследуемых вариантов. В области малых напряжений сдвига систему целесообразно рассматривать как твердое тело, практически не текущее при напряжении сдвига меньше  $P_{k1}$  [1]. Характер развиваемых деформаций в почве зависит от многих факторов, в числе которых первостепенное значение имеет структурное состояние почвы. По данным мокрого просеивания самое низкое содержание водопрочных агрегатов  $< 1\text{ мм}$  (табл. 2) у варианта «контроль + известь», соответственно, для этого варианта характерно самое низкое значение параметра  $P_{k1}$ . В течение суток, когда образец набухает, происходит изменение структурных связей внутри и между агрегатами за счет растворения извести, образующей прочные конденсационно-кристаллизационные связи. При этом образование новых коллоидных структур в известкованных образцах происходит в меньшей степени, чем в вариантах с внесением азота. Аммонийный азот ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), который используется в качестве минерального удобрения, является активным диспергатором и должен по сути дела предотвращать образование коагуляционных связей, но наши данные говорят об обратном. Такое противоречие легко объяснить. Ион

$\text{NH}_4^+$  участвует в различных по значению и направлению процессах в почве. Он частично вымывается и частично фиксируется глинистыми минералами, вовлекается в гумификацию и усваивается растениями, что существенно повышает биопродуктивность дерново-подзолистых почв (в вариантах с азотными удобрениями урожай был всегда больше, чем на контрольной делянке) [3]. Органические остатки в процессе гумификации приобретают способность к образованию коагуляционных связей. Длительное внесение минеральных удобрений в кислые дерново-подзолистые почвы влечет за собой нарастание фульватности гумуса [5]. Известкование приостанавливает этот процесс, а при оптимальном режиме способствует накоплению гуминовых кислот и переводу их в гуматы кальция, которые обладают меньшей реакционной способностью, чем свободные гуминовые и фульвокислоты. Можно заметить, что все варианты с внесением извести имеют более низкие значения первого предела прочности по сравнению с «контролем». Применение одного лишь известкования ведет к снижению в два раза параметра  $P_{k1}$  и, соответственно, начальной вязкости системы  $Z_{P_{k1}}$ , а совместное внесение азота и извести снижает эти параметры незначительно. Здесь можно говорить о нивелирующем действии азотных удобрений по отношению к извести в процессе формирования прочных конденсационно-кристаллизационных контактов в почве. Самое высокое значение параметра  $P_{k1}$  у варианта «азот» –  $504 \text{ дин/см}^2$ , что практически в два раза больше, чем для контрольного образца.

Все исследуемые образцы имеют тенденцию к проявлению дилатантно-пльвинных свойств. Вследствие припахивания горизонт  $A_p$  редко можно выделить в чистом виде. Механическое перемешивание дернового и подзолистого горизонтов приводит к развитию в пахотном горизонте пльвинных свойств, что выражается в отсутствии на реологической кривой участка инерциального течения пасты без разрушения структуры.  $P_{k1}$  значительно больше  $P_{k2}$  для всех вариантов, что говорит о наличии дилатантных свойств, обусловленных опесчанностью пахотных горизонтов.

Таблица 1

Основные реологические параметры дерново-подзолистой почвы

Вариант	Пределы прочности			Характеристики деформационного поведения		Вязкость				Способность структуры к восстановлению	Мощность предельного разрушения структуры
	$P_{к1}$	$P_{к2}$	$P_m$	$P_m/P_{к1}$	$P_{к1}/P_{к2}$	$zP_{к1}$	$z_m$	$z_m^*$	$z_k$		
Ед. изм.	дин/см <sup>2</sup>					* 1000 пуаз					* 1000 эрг/см <sup>2</sup>
Контроль	271,0	88,0	199,0	0,7	3,1	163,0	2,5	2,9	54,4	0,3	8,1
Азот	504,0	243,0	327,0	0,6	2,1	289,0	2,4	3,0	106,9	0,4	51,1
Конт. + изв.	136,0	118,0	127,0	0,9	1,2	77,0	2,8	7,9	41,7	0,5	1,4
Азот + изв.	231,0	100,0	171,0	0,7	2,3	134,0	2,1	2,3	40,4	0,3	23,3

Таблица 2

Некоторые физико-химические свойства дерново-подзолистой почвы

Вариант опыта	Содержание углерода $C_{орг}$ , %	Содержание илистой фракции, % < 0,001мм	Содержание водопропрочных агрегатов 0,25-1 мм, %	Влажность максимального набухания $W$ , %
Контроль	1,16	7,3	73	36
Контр. + изв.	1,26	3,2	47	39
Азот	1,07	7,5	80	37
Азот + изв.	1,24	3,9	86	40

Для вариантов «контроль», «азот» и «азот + известь» отношение  $P_{к1}/P_{к2} > 2$ , а для варианта «контроль + известь»  $2 > P_{к1}/P_{к2} > 1$ . Прочность пасты, обусловленная жестким каркасом из песчаных частиц, тем выше, чем шире это соотношение [1]. Соответственно, вариант «контроль + известь» обладает наименьшей прочностью по сравнению с другими вариантами, а вариант «контроль» – наибольшей. Таким образом, внесение азотных минеральных удобрений понижает прочностные свойства дерново-подзолистых почв в 1,5 раза, а известкование – в 2,5 раза по сравнению с контролем. Заметим, что образцы с меньшей влажностью имеют более высокие значения показателей структурного состояния, таких как  $P_m$ ,  $z_m$ ,  $z_m^*$ ,  $ДС$ . По-видимому, частицы пахотного горизонта имеют на своей поверхности мало активных центров, но в то же время достаточно развита гидросорбционная способность. В результате связь между почвенными частицами обеспечивается почти исключительно взаимодействием гидратных

оболочек и имеет чисто коагуляционную природу [2]. При увеличении влажности толщина гидратных оболочек увеличивается. Отношение  $P_m/P_{к1}$  характеризует прочность структурных связей между частицами, после предела прочности  $P_m$  процессы деформации и ориентации практически завершены, и система течет с постоянной вязкостью  $z_m$ . Самое высокое значение предела прочности мы наблюдаем у варианта «азот», самое низкое – у варианта «контроль + известь». Максимальная прочность структурных связей наблюдается в образце с меньшим содержанием гумуса ( $C_{орг}$ ) (табл. 2). Таким образом, в дерново-подзолистых почвах гумус понижает способность структурных связей к восстановлению и несколько уменьшает вязкость разрушенной системы.

По-видимому, основным фактором повышения прочности структурных связей является содержание илистой фракции. Применение минеральных азотных удобрений ведет к снижению прочности структуры, а совместно с известкованием не оказывает ощутимого воздейст-

вия на структурное состояние по сравнению с контрольным вариантом. Чем больше влажность максимального набухания, связанная с органическим углеродом, тем меньше способность структур к восстановлению. В варианте «азот» влажность повышена, скорее всего, за счет содержания илистой фракции и физической глины, поэтому способность структуры к восстановлению значительна, более развиты коагуляционно-конденсационные связи. Кристаллизационные связи в почве образуются при высыхании и после разрушения не восстанавливаются. Образующиеся в пахотном горизонте агрегаты не обладают водопрочностью.

Реопексия больше выражена у варианта «азот + известь», для которого характерно повышенное содержание воды. Минимальные по площади петли реопексии у вариантов «контроль + известь» соответствуют более широкому отношению  $z_k/z_{P_{к1}}$ , что говорит о более развитой способности структур к восстановлению. Л.П. Аbruкова объясняет причину реопексии в глинах и почвах увеличением количества контактов в единице объема при разрушении конденсационных структур и переходе их в коагуляционные. В нашем случае при разной скорости деформации один и тот же образец проявляет и тиксотропные свойства и реопексию. В исследуемых вариантах конденсационные структуры развиты слабо и разрушаются полностью при определенной скорости деформации. Образующиеся коагуляционные структуры проявляют тиксотропные свойства.

Важное значение для характеристики структурного состояния имеет величина удельной мощности предельного разрушения структуры  $DS$ , которая является количественной и интегральной оценкой внутренних сил сцепления и отталкивания [4]. Сравнение исследуемых вариантов показало, что при влажности максимального набухания удельная мощность разрушения структуры  $DS$  резко отличается у известкованных и неизвесткованных вариантов. Внесение извести в 6 раз уменьшает этот показатель, а внесение азотных удобрений – в 6 раз увеличивает по сравнению с контролем. Совместное известкование и внесение азотных удобрений ведет к увеличению

$DS$  в 3 раза. Почва, обладающая наименьшими значениями  $DS$  (в нашем случае это варианты «контроль» и «контроль + известь»), оказывает большое удельное сопротивление при обработке. Высокие значения  $DS$ , характерные для вариантов «азот» и «азот + известь», говорят о хорошем микроструктурном состоянии.

### Заключение

Изучение реологических свойств дерново-подзолистых почв позволяет сделать вывод, что применение минеральных (азотных) удобрений и известкование по-разному влияют на структурное состояние этих почв. В процессе сельскохозяйственного использования наряду с распылением идет и воссоздание микроструктуры почвы. Внесение минеральных азотных удобрений совместно с известкованием наиболее благоприятно влияет на этот процесс. Применение извести снижает значение начальной вязкости системы и удельной мощности предельного разрушения структуры, а внесение азотных удобрений оказывает прямо противоположный эффект. Поэтому наиболее благоприятными (сбалансированными) в технологическом отношении свойствами обладает вариант «азот + известь». Для всех вариантов характерно проявление пльвунности и дилатантности. Дилатансия меньше всего выражена в варианте «контроль + известь», который обладает меньшим количеством водопрочных микроагрегатов по сравнению с другими вариантами. Связь между почвенными частицами обеспечивается почти исключительно взаимодействием гидратных оболочек и имеет коагуляционную природу. Внесение азота ведет к увеличению коагуляционных структур, повышая удельную мощность предельного разрушения структуры, нивелируя действие ионов кальция в процессе образования кристаллизационных связей. Хрупкие кристаллизационные связи возникают при высыхании почвы и не восстанавливаются после разрушения. Внесение азотных минеральных удобрений понижает прочность почвы, обусловленную каркасом из песчаных частиц и водопрочных микроагрегатов, в 1,5, а известкование – в 2,5 раза по сравнению с контролем при влажности максимального набухания.

Для всех образцов характерно тиксотропное восстановление структуры и реопексия. Вследствие большой влажности различия в способности к тиксотропному восстановлению структуры уловить не удалось.

#### Библиографический список

1. Абрикова Л.П. Реопексия при реологических исследованиях почв / Л.П. Абрикова // Почвоведение. 1970. № 3. С. 121-125.
2. Абрикова Л.П. Изучение тиксотропных свойств почв с помощью ротационного вискозиметра / Л.П. Абрикова

ва // Почвоведение. 1970. № 8. С. 104-114.

3. Гомонова Н.Ф. Устойчивость показателей плодородия дерново-подзолистых почв, созданного длительным применением агрохимических средств / Н.Ф. Гомонова. М.: МГУ, 2006. С. 242-249.

4. Минкин М.Б. Удельная мощность предельного разрушения структуры почвы / М.Б. Минкин, Н.И. Буравчук и др. // Почвоведение. 1975. № 5. С. 44-54.

5. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. М.: Изд-во МГУ, 1985.



УДК 631.4:587 (571.15)

**С.В. Макарычев,  
Л.В. Терновая**

### **ФОРМИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ТЕПЛА И ВЛАГИ В ЧЕРНОЗЕМАХ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ПОД ОВОЩНЫМИ КУЛЬТУРАМИ В УСЛОВИЯХ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ р. ОБИ**

#### **Введение**

Овощи – обязательная составная часть рациона человека. Они обеспечивают наш организм такими важными веществами, как легко усваиваемые углеводы, белки, витамины, органические кислоты, ароматические и минеральные соединения.

Корнеплодные (свекла) и клубнеплодные (картофель) культуры – группа растений, выращиваемых ради сочных утолщенных корней (корнеплодов и клубней). Они образуются на концах подземных стеблей или боковых корней. Почти все корнеплодные растения – двулетники. В первый год после посева семян они образуют розетку листьев и корнеплод, а на второй год – стебель с цветками и дают семена.

Столовая свекла – длиннодневная и влаголюбивая культура. При недостатке влаги становится дряблой. Она имеет мощную корневую систему, проникающую на глубину 2-3 м, и обильно развитую поверхность листьев. Семена ее

начинают прорастать при температуре 5<sup>0</sup>С. Всходы и взрослые растения плохо переносят заморозки. Свекла более теплолюбивая культура, чем другие корнеплоды. Наиболее благоприятная температура для ее роста – 18...28<sup>0</sup>С. Для формирования урожая свекла нуждается в значительном количестве питательных веществ и поэтому хорошо плодоносит на плодородных рыхлых почвах, таких как черноземы выщелоченные.

Картофель выращивают в однолетней культуре. Он влаголюбив и требует большого количества питательных элементов, особенно фосфора. Лучше удается на черноземах облегченного гранулометрического состава. Плохо отзывается на повышенные (более 18<sup>0</sup>С) температуры почвы.

#### **Объекты и методы**

Объектами исследований явились черноземы выщелоченные среднесуглинистые малогумусные.