

УДК 631.445.2:631.43:631.816.1

## ИЗМЕНЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ СТРУКТУРНЫХ ФРАКЦИЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ВНЕСЕНИИ УДОБРЕНИЙ

М. В. СТРАТОНОВИЧ, Г. Л. ХРИПУНОВА

(Кафедра почвоведения)

В связи с интенсификацией земледелия все большее внимание уделяется изучению влияния удобрений на физические свойства почвы, в частности на ее фракционный структурный состав и свойства структурных отдельностей, которые во многом определяют важнейшие почвенные режимы и прежде всего направленность окислительно-восстановительных процессов. По определению Б. Г. Розанова [8], подавляющее большинство тонких биохимических и химических процессов превращения вещества, составляющих существенную часть почвообразования, отличается внутриагрегатным характером. Различия окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) на поверхности и внутри почвенного агрегата могут достигать 50—100 и даже 200 мВ [4, 9].

Настоящая работа посвящена изучению окислительно-восстановительных свойств почвенных агрегатов дерново-подзолистой суглинистой среднеоккультуренной почвы при внесении удобрений. Образцы почв для модельных опытов отбирали с опытных полей учхоза «Михайловское» перед посадкой картофеля в вариантах с удобрениями и без удобрений. Нормы органических и минеральных удобрений рассчитывали с учетом эффективного плодородия почвы на планируемое количество урожая картофеля 250 ц/га. Вносили 35 т навоза на 1 га и минеральные удобрения в виде гранулированного суперфосфата, калийной соли и аммиачной селитры.

Для модельных опытов использовались агрегаты размером 5—3 мм, 3—2, 2—1, 1—0,5, 0,5—0,25 и <0,25 мм, а также нерасеянные почвенные образцы. Почву насыпали в стеклянные стаканчики без дна диаметром 4,5 см на высоту 10 см и капиллярно увлажняли дистиллированной водой в течение месяца. Стаканчики в 1-м опыте помещали в термостат, где поддерживалась температура 25—28° при насыщенности атмосферы парами воды. Во 2-м опыте стаканчики в термостат не ставили, температура воздуха в помещении составляла 18—21°. После полного капиллярного насыщения почвы в каждый стаканчик было посажено по 12 проростков ячменя. Повторность опытов 4—6-кратная. Для определения состава почвенного воздуха в стаканчики устанавливали стеклянные трубочки с резиновыми наконечниками. Пробы воздуха отбирали шприцем и анализировали на газовом хроматографе фирмы «Perkin-Elmer».

Содержание нитратов в почве определяли на спектрофотометре СФ-4А, аммиачного азота и нитритов — колориметрически соответственно с реактивом Несслера и реактивом Грисса; закисного и окисного желе-

за — по методу В. А. Казариновой-Окиной; каталазы — по методу А. Ш. Галстяна.

### Результаты опытов

Известно, что с уменьшением размера почвенных агрегатов некапиллярная пористость снижается и возрастает объем капиллярных пор [2]. Увлажнение почвы за счет влаги почвенных капилляров в обоих опытах возрастает от крупных агрегатов к более мелким (таблица). Капиллярная влагоемкость наибольшая у агрегатов размером 0,5—0,25 мм, несколько ниже у фракции <0,25 мм. Образцы нерасеянной почвы по этому показателю занимают промежуточное положение. Удобренная почва по сравнению с контролем (без удобрений) отличается более высокой капиллярной влагоемкостью, что особенно характерно для крупных фракций. Увеличение капиллярной влагоемкости удобренной почвы обусловлено повышением пористости агрегатов в результате применения органических и минеральных удобрений.

О направленности окислительно-восстановительных реакций в почве можно судить по ОВП, составу почвенного воздуха, изменению содержания ионов  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ .

Значения ОВП в структурных фракциях >0,25 мм мало различаются по вариантам (таблица). Во фракции <0,25 мм при капиллярной влагоемкости ОВП резко снижается, развиваются восстановительные процессы. Характерно присутствие во всех структурных фракциях нитритов и закисного железа, что указывает на наличие внутри почвенных комков анаэробных микрорезон. Максимальное количество нитритов и закисного железа содержится в пылевой фракции почвы, что согласуется с данными об изменении ОВП.

Благоприятные окислительно-восстановительные условия, которые создаются при компостировании почвы без растений в агрегатах >0,25 мм, способствуют накоплению нитратов в почве. Увеличивается также количество аммиачного азота по сравнению с исходным его содержанием в образцах. Во фракции 0,5—0,25 мм содержание нитратов несколько снижается, а аммиака возрастает по сравнению с их количеством в более крупных агрегатах (таблица). Потребление азота растениями во 2-м опыте обуславливает некоторое уменьшение содержания нитратов в почве. В пылевой фракции почвы при капиллярном увлажнении по сравнению с более крупными агрегатами содержание нитратов сильно снижается, а аммиака — увеличивается.

Окислительно-восстановительные свойства агрегатов дерново-подзолистой почвы  
(в числителе — контроль, в знаменателе — удобренная почва)

| Показатель  | Размер агрегатов почвы, мм |              |              |              |              |              |                   |
|---|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
|   | 5—3                        | 3—2          | 2—1          | 1—0,5        | 0,5—0,25     | < 0,25       | нерас-<br>сеянная |
|   | 1-й опыт                   |              |              |              |              |              |                   |
| Влажность, %  | 26,6<br>28,9               | 26,9<br>28,4 | 30,3<br>30,3 | 36,0<br>35,8 | 47,8<br>47,4 | 44,0<br>43,6 | 34,3<br>38,6      |
| ОВП, мВ   | 572<br>569                 | 580<br>569   | 586<br>567   | 587<br>574   | 587<br>573   | 387<br>392   | 547<br>518        |
| В мг на 100 г:  |                            |              |              |              |              |              |                   |
| N—NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                  | 6,1<br>8,6                 | 6,2<br>8,6   | 6,4<br>8,6   | 6,3<br>8,3   | 4,8<br>8,0   | 2,1<br>2,0   | 5,7<br>6,0        |
| N—NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                                  | 0,8<br>0,9                 | 0,8<br>0,9   | 1,1<br>1,2   | 1,1<br>1,6   | 1,1<br>1,8   | 7,1<br>6,5   | 0,9<br>1,1        |
| N—NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                                  | 0,01<br>0,01               | 0,01<br>0,01 | 0,01<br>0,01 | 0,01<br>0,01 | 0,02<br>0,02 | 0,05<br>0,06 | 0,01<br>0,01      |
| Fe <sup>2+</sup>  | 6,2<br>7,4                 | 6,3<br>7,0   | 6,5<br>7,8   | 8,2<br>8,2   | 7,9<br>8,7   | 60,8<br>67,0 | 7,4<br>7,8        |
| Fe <sup>3+</sup>  | 15,1<br>20,0               | 14,6<br>20,0 | 14,8<br>19,7 | 19,5<br>22,0 | 22,4<br>26,8 | 59,4<br>56,8 | 22,1<br>22,8      |
| pH <sub>KCl</sub>   | 6,0<br>6,4                 | 6,0<br>6,4   | 6,1<br>6,4   | 6,1<br>6,5   | 6,1<br>6,6   | 6,8<br>7,1   | 6,1<br>6,5        |
| Содержание CO <sub>2</sub> , %                                  | 0,39<br>0,39               | 0,36<br>0,37 | 0,31<br>0,33 | 0,39<br>0,39 | 0,52<br>0,52 | 1,04<br>2,02 | 0,62<br>0,39      |
| Содержание O <sub>2</sub> , %                                   | 20,6<br>20,9               | 21,0<br>20,8 | 21,0<br>20,9 | 21,0<br>21,0 | 20,9<br>20,5 | 7,8<br>6,5   | 21,0<br>18,8      |
| Активность каталазы, мл O <sub>2</sub> за<br>2 мин на 1 г почвы | 3,0<br>2,8                 | 2,9<br>2,9   | 3,2<br>3,4   | 3,3<br>3,5   | 4,0<br>3,7   | 4,2<br>4,5   | 3,0<br>3,0        |
|   | 2-й опыт                   |              |              |              |              |              |                   |
| ОВП, мВ   | 630<br>618                 | 625<br>616   | 614<br>595   | 621<br>605   | 610<br>583   | 435<br>410   | 618<br>596        |
| В мг на 100 г:  |                            |              |              |              |              |              |                   |
| N—NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                  | 5,6<br>7,5                 | 5,8<br>7,7   | 6,1<br>8,2   | 5,4<br>6,1   | 5,1<br>6,3   | 3,5<br>4,2   | 5,8<br>7,1        |
| N—NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                                  | 2,0<br>1,5                 | 3,0<br>2,5   | 3,3<br>2,9   | 3,8<br>3,1   | 3,4<br>2,8   | 4,7<br>6,1   | 2,3<br>2,0        |
| N—NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                                  | 0,01<br>0,01               | 0,01<br>0,01 | 0,01<br>0,01 | 0,01<br>0,01 | 0,02<br>0,02 | 0,02<br>0,03 | 0,01<br>0,01      |
| Fe <sup>2+</sup>  | 0,5<br>0,7                 | 0,5<br>0,9   | 2,0<br>1,1   | 3,3<br>1,8   | 3,5<br>2,6   | 3,8<br>10,1  | 3,0<br>0,9        |
| Fe <sup>3+</sup>  | 12,8<br>15,2               | 14,0<br>16,4 | 14,0<br>16,2 | 15,7<br>20,9 | 16,7<br>18,1 | 21,9<br>23,1 | 15,6<br>16,1      |
| pH <sub>KCl</sub>   | 5,3<br>5,8                 | 5,1<br>5,7   | 5,0<br>5,6   | 5,0<br>5,6   | 5,0<br>5,6   | 5,2<br>5,7   | 5,0<br>5,6        |
| Содержание CO <sub>2</sub> , %                                  | 0,41<br>0,42               | 0,50<br>0,50 | 0,44<br>0,45 | 0,55<br>0,55 | 0,98<br>0,62 | 1,34<br>1,45 | 0,66<br>0,85      |
| Активность каталазы, мл O <sub>2</sub> за<br>2 мин на 1 г почвы | 6,2<br>6,2                 | 6,2<br>6,2   | 6,2<br>6,2   | 6,2<br>6,2   | 6,8<br>6,4   | 7,8<br>10,4  | 6,2<br>6,4        |

Накопление NH<sub>4</sub><sup>+</sup> во фракции <0,25 мм в 1-м опыте вызывает подщелачивание почвенного раствора. Во 2-м опыте значение pH не изменяется (таблица), что, вероятно, связано с подкислением среды продуктами жизнедеятельности растений.

Подвижность соединений железа в зависимости от направленности окислительно-

восстановительных реакций в почве значительно изменяется. Усиление анаэробных процессов по мере уменьшения размера почвенных агрегатов в обоих опытах сопровождается повышением подвижности железа. Наибольшее количество окисного и закисного железа, растворимого в 0,1 н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, при капиллярной влагоемкости содержится в пылевой фракции.

Состав почвенного воздуха в разных структурных фракциях неодинаковый (таблица). При сложении почвы агрегатами >0,5 мм и капиллярном увлажнении содержание углекислого газа в пробах почвенного воздуха составляет 0,39—0,55 %, а кислорода — около 21 %. При таком газовом составе почвы обеспечивается преимущественное развитие окислительных процессов. В вариантах с агрегатами 0,5—0,25 мм содержание углекислого газа в пробах воздуха несколько возрастает, особенно в опыте с растениями. Поры аэрации в пылевой фракции почвы при капиллярной влагоемкости отсутствуют, что обуславливает повышение в почвенном воздухе содержания углекислого газа до 1—2 % и резкое снижение концентрации кислорода до 6,5—7,8 %. Состав почвенного воздуха пылевой фракции свидетельствует о развитии восстановительных процессов.

Показатели окислительно-восстановительного состояния нерассеянных образцов и структурных фракций >0,25 мм при капиллярной влагоемкости мало различаются.

Остановимся на особенностях окислительно-восстановительных процессов в почвенных агрегатах на фоне применения удобрений. Как показывают результаты модельных опытов, направленность биологических и биохимических процессов в почве под влиянием удобрений несколько изменяется. В удобренной почве по сравнению с неудобренной ниже значения ОВП и более высокое суммарное содержание подвижных форм окисного и закисного железа. Закисного железа в почве без растений образуется больше на фоне применения удобрений. В агрегатах удобренной почвы в опыте с растениями за исключением фракции <0,25 мм, напротив, закисного железа содержится несколько меньше. Очевидно, это связано с более интенсивным потреблением влаги растениями в варианте с удобрениями. В пылевой фракции почвы условия аэрации складываются неблагоприятно и под влиянием удобрений восстановительные процессы усиливаются.

Легкоподвижного минерального азота (нитратного и аммиачного) больше накапливается в агрегатах >0,25 мм на фоне удобрений. При развитии восстановительных процессов во фракции <0,25 мм содержание нитратов резко снижается и мало различается по вариантам опыта, а аммиака — возрастает.

Влияние удобрений на состав воздуха в почве, сложеной агрегатами >0,25 мм, не проявляется при капиллярном насыщении, так как здесь создаются хорошие условия для газообмена. В удобренной почве, состоящей из пылевой фракции, по сравнению с неудобренной состав почвенного воздуха менее благоприятный.

Для оценки плодородия почв, интенсивности биологических и биохимических процессов широко применяется такой показатель, как ферментативная активность. Одним из наиболее распространенных почвенных ферментов, отражающих окислительно-восстановительное состояние почвы, является каталаза. Ряд авторов указывают на связь между активностью каталазы и водным режимом почвы, иными словами, в условиях повышенной влажности почвы активность каталазы более высокая [3,5—7,10]. Длительный анаэробизм приводит к резкому снижению активности фермента или даже к его инактивации [1].

Изучение активности каталазы в наших опытах показало, что каталитическое разложение перекиси водорода при повышении влажности почвы усиливается. Наибольшая активность фермента характерна для фракций почвы <0,25 и 0,5—0,25 мм. Активность каталазы в определенной степени сопряжена с содержанием в почве закисного железа.

В ризосфере растений (2-й опыт) активность каталазы выше, чем в почве без растений (1-й опыт), так как каталаза синтезируется в живых клетках микроорганизмов и растений и попадает в почву в качестве либо прижизненных внеклеточных выделений, либо внутриклеточных ферментов при распаде отмерших организмов [5]. Усиление продуцирования каталазы корнями растений и ризосферными микроорганизмами при слабой аэрации почв, вероятно, является защитной реакцией организмов на возникновение неблагоприятных условий в почве.

### Заключение

Направленность окислительно-восстановительных процессов в почве зависит от ее структуры. На фоне удобрений биологические и биохимические процессы в почвенных агрегатах усиливаются. В структурных агрегатах >0,25 мм в вариантах с удобрениями и в контроле при капиллярном увлажнении преобладают аэробные процессы. В пылевой фракции (<0,25 мм) при влажности, равной капиллярной влагоемкости, развиваются восстановительные процессы, причем на фоне удобрений их интенсивность возрастает. Поэтому в бесструктурных, распыленных почвах окислительно-восстановительные процессы на фоне удобрений могут складываться менее благоприятно. Отсюда следует, что оценка структурного состояния дерново-подзолистых суглинистых почв приобретает в условиях интенсивной химизации особое важное значение. Улучшение структуры таких почв позволит повысить эффективность применения удобрений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Воинова В. Н., Тарарина Л. Ф., Емцев В. Т. Ферментативная активность серой лесной почвы при стерилизации и внесении свободных ферментов. — Изв. ТСХА, 1982, вып. 3., с. 84—89. — 2. Дорьянко А. Г. К изучению структуры почвы как соотношения некапиллярной и капил-

лярной скважности и ее значения в плодородии почв. — Избр. соч. М.: Сельхозиздат, 1963, с. 116—140. — 3. Евдокимова Н. В. Влияние удобрений на биологическую активность дерново-подзолистой почвы. — Автореф. канд. дис. М., 1975. 4. Каурничев И. С., Тарарина Л. Ф. Об окисли-

тельно-восстановительных условиях внутри и вне агрегатов серой лесной почвы. — Почвоведение, 1972, № 10, с. 39—42. — 5. Купревич В. Ф., Щербакова Т. А. Почвенная энзимология. Минск: Наука и техника, 1966. — 6. Латыпова Р. М. Влияние условий среды на активность почвенных ферментов. — Тр. Бел. с.-х. акад., 1965, т. 37, Горки, с. 60—65. — 7. Полякова Е. Ю. Активность каталазы заболоченных почв

Центрального Полесья УССР. — Лесной журн., 1970, № 6, с. 146—148. — 8. Розанов Б. Г. Генетическая морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1975, с. 21. — 9. Тягны-Рядно М. Г. Микрофлора почвенных агрегатов и питание растений. — Автореф. докт. дис. Киев, 1963. — 10. Kupze Ch. — Landwirt, Forsch., 1972, S.—N. 27/2, S. 91—94.

*Статья поступила 5 января 1985 г.*

## SUMMARY

The direction of oxydation-reduction processes in the soil depends on its structural composition. Biological and biochemical processes in soil aggregates increase with fertilization. In fractions  $>0.25$  mm both with and without fertilization acrobic processes prevail under capillary moistening. In fractions  $<0.25$  mm under moisture equal to capillary water holding capacity reduction processes develop, especially with fertilization.