

**АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДПАХОТНОГО РЫХЛЕНИЯ
ПРИ ВНЕСЕНИИ ВЫСОКИХ НОРМ ЖИДКОГО НАВОЗА
И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПРОПАШНОМ ЗВЕНЕ
СЕВООБОРОТА**

А. М. ЛЫКОВ, А. Ф. САФОНОВ, А. А. ОСИН
(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Интенсификация полевого кормопроизводства в животноводческих хозяйствах промышленного типа предполагает применение больших норм минеральных и органических удобрений. В связи с этим почва в таких хозяйствах должна обладать хорошо выраженной трансформационной функцией, быть способной максимально эффективно воспринимать, аккумулировать и равномерно предоставлять растениям воду и питательные вещества, вносимые с удобрениями, а также обеспечивать оптимальные воздушный и тепловой режимы.

В Нечерноземной зоне у дерново-подзолистых почв верхний наиболее плодородный слой очень неглубокий, а подстиляется он подзолистым горизонтом с плохими агрофизическими, агрохимическими и биологическими свойствами. Одним из приемов улучшения плодород-

дия указанных почв является глубокая механическая обработка, которая позволяет наиболее быстро и сильно изменять физические показатели [3, 4], биологическую активность [2, 6], а также способствовать обогащению гумусом нижних слоев в результате перераспределения питательных веществ, корней растений [2, 9]. Углубление пахотного слоя в Нечерноземной зоне целесообразно и на хорошо окультуренных пахотных землях в условиях интенсивного применения удобрений, периодического известкования при возделывании культур, хорошо отзывющихся на этот прием [5].

Основным фактором увеличения содержания гумуса — важнейшего интегрального показателя плодородия дерново-подзолистых почв — является внесение органических удобрений.

На животноводческих комплексах получают огромные количества жидкого навоза, который резко отличается от подстилочного как по составу, свойствам и содержанию питательных веществ, так и по действию на плодородие почвы [1, 6]. Проблема его утилизации до сих пор еще полностью не решена.

Целью наших исследований было установить влияние подпахотного рыхления, как наиболее простого и наименее энергоемкого приема активизации биологических процессов нижележащих слоев дерново-подзолистой почвы, на эффективность применения высоких норм жидкого навоза и минеральных удобрений при возделывании кормовых культур.

Условия и методика

Исследования проводили в 1976—1979 гг. в двухфакторном поле-вом опыте, заложенном методом рендомизированных блоков, в экспериментальном мясо-молочном совхозе «Вороново» Подольского района Московской области. Почва опытного участка дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на покровном суглинке. Агрохимическая характеристика исходного состояния почвы приведена в табл. 2.

Варианты основной обработки почвы следующие: 1 — вспашка на глубину 25—27 см (обычная обработка); 2 — вспашка на 25—27 см с подпахотным рыхлением на 10—12 см (глубокая обработка). Их изучали на фонах применения жидкого навоза, минеральных удобрений и их сочетаний. Нормы удобрений составляли: жидкий навоз — 0; 80; 160 и 240 т/га; минеральные — 0, 60N80P60K (условно 1NPK), 120N160P120K (2NPK), 180N240P180K (3NPK).

Эффективность подпахотного рыхления исследовали в пропашном звене севооборота со следующим чередованием культур во времени: кукуруза — кормовая свекла — ячмень. Размер делянки 16 м², повторность 3-кратная. Учет урожая проводили сплошным способом. Результаты опытов обрабатывали методом дисперсионного анализа.

В жидком навозе крупного рогатого скота содержание сухого вещества составило 8,98 %, органического вещества — 5,95; углерода — 2,90; общего азота — 0,3; аммиачного азота — 0,16; P₂O₅ — 0,15; K₂O — 0,30 %. Жидкий навоз вносили под основную обработку, которую проводили на глубину 25—27 см, минеральные удобрения — под предпосевную. Влажность почвы поддерживали на уровне 60—80 % от полной полевой влагоемкости с помощью орошения. Сорты возделываемых культур: кукуруза — гибрид Буковинский 3ТВ, кормовая свекла Тимирязевская 56, ячмень Московский 121.

Агрохимические свойства почвы изучали по слоям 0—20 и 20—40 см. Обменную кислотность (рН_{сол}) определяли на потенциометре, гидролитическую — по Каппену, сумму поглощенных оснований — по Каппену — Гильковицу, общий азот — по Кьельдалю, P₂O₅ и K₂O — по Кирсанову, углерод — по Тюрину. Биологическую активность почвы изучали с помощью прибора Варбурга.

Вегетационные периоды 1976 и 1978 гг. характеризовались повышенным количеством осадков и пониженной температурой воздуха, а

1979 г. — засушливой погодой в мае-июне, прохладной и влажной — в июле, умеренной — в августе и первой половине сентября. Период активной вегетации 1977 г. был теплым с достаточно равномерным распределением осадков по месяцам.

Результаты исследований

Ход процессов превращения органического вещества в почве в значительной степени зависит от ее биологической активности, которая, в свою очередь, обусловлена в основном деятельностью микроорганизмов и наличием комплекса ферментов. Одним из показателей биологической активности почвы является поглощение кислорода и выделение углекислого газа.

Внесение минеральных удобрений способствовало некоторой активизации биогенности только верхнего 0—20 см слоя почвы за счет поступления большего количества растительных остатков, чем в варианте без удобрений (табл. 1), а применение средних и высоких норм жидкого навоза резко увеличивало поглощение кислорода и продуцирование углекислого газа в обоих слоях почвы.

При проведении подпахотного рыхления в вариантах с внесением жидкого навоза повысилась биологическая активность 20—40 см слоя почвы. Это объясняется улучшением его агрофизических показателей, более равномерным распределением корней полевых культур по слоям почвы и активизацией деятельности аэробных микроорганизмов в нижнем слое.

Дыхательный коэффициент (ДК), с которым связывают характер метаболических превращений веществ при их окислении, мало варьировал по вариантам опыта.

Возделывание полевых культур при орошении в пропашном севообороте без применения удобрений привело к повышению обменной кислотности в обоих слоях почвы и гидролитической — в слое 20—40 см, к снижению суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими, уменьшению содержания доступных форм фосфора и калия (табл. 2). Ухудшение агрохимических показателей плодородия почвы произошло в результате минерализации органического вещества и перераспределения гумуса по слоям при вспашке на глубину 25—27 см.

При подпахотном рыхлении неудобряемого участка отмечалось некоторое торможение развития негативных явлений, что связано с улуч-

Т а б л и ц а 1

Поглощение кислорода и выделение углекислого газа почвой (мкл/г·ч) под действием подпахотного рыхления и удобрения. В среднем за 1976—1978 гг

| Вариант | O ₂ | | CO ₂ | | CO ₂ :O ₂ | |
|------------------------|----------------|-------|-----------------|-------|---------------------------------|-------|
| | 0—20 | 20—40 | 0—20 | 20—40 | 0—20 | 20—40 |
| Контроль | 3,46 | 2,15 | 3,45 | 2,30 | 1,00 | 1,07 |
| | 3,39 | 2,36 | 3,35 | 2,83 | 0,99 | 1,20 |
| 3NPK | 3,78 | 1,94 | 4,32 | 2,37 | 1,14 | 1,22 |
| | 4,04 | 2,41 | 4,51 | 2,97 | 1,12 | 1,23 |
| Навоз, 80 т/га + 3 NPK | 5,94 | 2,53 | 6,71 | 3,13 | 1,13 | 1,24 |
| | 5,57 | 3,61 | 6,48 | 4,15 | 1,15 | 1,15 |
| Навоз, 240 т/га + 3NPK | 6,11 | 2,43 | 6,87 | 2,98 | 1,12 | 1,23 |
| | 7,08 | 4,27 | 7,33 | 4,86 | 1,04 | 1,14 |
| Среднее по обработкам | 4,82 | 2,26 | 5,34 | 2,70 | 1,11 | 1,19 |
| | 5,02 | 3,16 | 5,42 | 3,70 | 1,08 | 1,16 |

П р и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 2, 3, 5, 6 в числителе — вспашка на 25—27 см, в знаменателе — вспашка на 25—27 см + подпахотное рыхление на 10—12 см.

Изменение агрохимических свойств почвы под действием подпахотного рыхления и удобрений (1979 г.)

| Вариант | Слой почвы, см | pH _{сол} | H _T | S | V, % | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|-----------------------------|----------------|-------------------|-----------------------|------|------|-------------------------------|------------------|
| | | | мг·экв на 100 г почвы | | | мг на 100 г почвы | |
| Исходное состояние, 1976 г. | 0—20 | 6,12 | 1,91 | 11,2 | 85,5 | 17,9 | 8,3 |
| | 20—40 | 5,35 | 2,31 | 9,2 | 79,9 | 10,9 | 10,2 |
| Контроль | 0—20 | 5,95 | 1,92 | 9,3 | 82,9 | 12,5 | 10,6 |
| | | 6,02 | 1,91 | 8,7 | 82,0 | 14,9 | 11,9 |
| | 20—40 | 5,11 | 2,60 | 8,7 | 77,0 | 9,5 | 7,0 |
| | | 5,21 | 2,44 | 9,8 | 80,0 | 7,2 | 8,6 |
| ЗНПК | 0—20 | 5,72 | 2,01 | 9,1 | 81,9 | 28,1 | 14,0 |
| | | 5,54 | 2,05 | 9,3 | 82,0 | 29,7 | 16,2 |
| | 20—40 | 4,93 | 2,83 | 8,4 | 74,8 | 9,7 | 9,2 |
| | | 5,17 | 2,35 | 8,3 | 78,0 | 11,1 | 11,2 |
| Навоз, 80 т/га + ЗНПК | 0—20 | 6,07 | 2,04 | 11,3 | 84,7 | 24,0 | 28,9 |
| | | 6,03 | 2,05 | 12,6 | 86,0 | 26,2 | 30,8 |
| | 20—40 | 5,08 | 2,61 | 9,2 | 77,9 | 16,2 | 13,6 |
| | | 5,52 | 2,27 | 9,7 | 81,0 | 15,6 | 14,1 |
| Навоз, 240 т/га + ЗНПК | 0—20 | 6,31 | 1,80 | 12,0 | 87,0 | 31,4 | 29,8 |
| | | 6,21 | 1,94 | 12,9 | 86,9 | 34,2 | 29,3 |
| | 20—40 | 5,22 | 2,37 | 9,4 | 79,9 | 15,7 | 14,8 |
| | | 5,64 | 2,01 | 9,8 | 83,0 | 16,2 | 14,2 |
| Среднее по обработке | 0—20 | 6,01 | 1,94 | 10,4 | 84,1 | 22,2 | 20,8 |
| | | 5,95 | 1,99 | 10,9 | 84,2 | 26,2 | 22,0 |
| | 20—40 | 5,08 | 2,60 | 8,9 | 77,4 | 12,8 | 11,2 |
| | | 5,38 | 2,27 | 9,4 | 80,5 | 12,5 | 12,0 |

шением аэротермических условий и активизацией микробиологической деятельности в нижнем слое почвы.

В вариантах с применением высоких норм минеральных удобрений было резко выражено подкисление почвы, обусловленное физиологической кислотностью самих минеральных удобрений. При этом содержание доступных форм фосфора и калия повышалось.

Влияние подпахотного рыхления при внесении минеральных удобрений заметнее всего проявлялось в улучшении агрохимических показателей плодородия почвы в слое 20—40 см. Так, снижалась кислотность почвы, увеличивались степень насыщенности основаниями и содержание доступных форм фосфора и калия.

Наши опыты показали, что при использовании жидкого навоза плодородие дерново-подзолистых почв значительно повышается. Применение 80 т жидкого навоза на 1 га вместе с минеральными удобрениями обеспечило поддержание физико-химических свойств почвы на исходном уровне. При норме 240 т/га снижалась обменная кислотность почвы и значительно повышалось содержание в ней подвижных форм фосфора и калия.

Глубокое рыхление в сочетании с возрастающими нормами жидкого навоза способствовало уменьшению кислотности в слое почвы 20—40 см.

Возделывание полевых культур без применения удобрений приводило к уменьшению содержания гумуса в почве (табл. 3). Абсолютные запасы углерода гумуса в 0—40 см слое за 4 года сократились на 2,6—2,9 т/га, азота — на 0,35—0,38 т/га. При внесении минеральных

Изменение плотности сложения почвы, содержания и абсолютных запасов углерода и общего азота под действием подпахотного рыхления и удобрений (1979 г.)

| Вариант | Слой почвы, см | Плотность, г/см ³ | С, % | N, % | Абсолютные запасы, т/га | |
|------------------------------|----------------|------------------------------|------|------|-------------------------|------|
| | | | | | С | N |
| Исходное состояние (1976 г.) | 0—20 | 1,40 | 1,16 | 0,12 | 32,5 | 3,42 |
| | 20—40 | 1,50 | 0,49 | 0,05 | 14,7 | 1,62 |
| Контроль | 0—20 | 1,40 | 0,99 | 0,10 | 27,7 | 2,94 |
| | | 1,40 | 0,96 | 0,10 | 26,9 | 2,83 |
| | 20—40 | 1,59 | 0,53 | 0,06 | 16,8 | 1,75 |
| | | 1,45 | 0,60 | 0,06 | 17,4 | 1,83 |
| ЗНПК | 0—20 | 1,46 | 0,98 | 0,10 | 28,6 | 3,07 |
| | | 1,42 | 0,98 | 0,10 | 27,8 | 2,84 |
| | 20—40 | 1,56 | 0,54 | 0,06 | 16,8 | 1,81 |
| | | 1,48 | 0,59 | 0,06 | 17,5 | 1,86 |
| Навоз, 80 т/га + ЗНПК | 0,20 | 1,40 | 1,17 | 0,12 | 32,8 | 3,36 |
| | | 1,36 | 1,18 | 0,12 | 32,1 | 3,29 |
| | 20—40 | 1,52 | 0,54 | 0,06 | 16,4 | 1,76 |
| | | 1,44 | 0,60 | 0,06 | 17,3 | 1,81 |
| Навоз, 160 т/га + ЗНПК | 0—20 | 1,38 | 1,22 | 0,13 | 33,7 | 3,53 |
| | | 1,36 | 1,24 | 0,13 | 33,7 | 3,59 |
| | 20—40 | 1,49 | 0,58 | 0,08 | 16,7 | 1,76 |
| | | 1,40 | 0,63 | 0,07 | 17,6 | 1,88 |
| Навоз, 240 т/га + ЗНПК | 0—20 | 1,40 | 1,24 | 0,13 | 34,7 | 3,56 |
| | | 1,36 | 1,25 | 0,13 | 34,0 | 3,56 |
| | 20—40 | 1,50 | 0,60 | 0,06 | 18,0 | 1,83 |
| | | 1,42 | 0,71 | 0,07 | 20,2 | 2,07 |

удобрений расход гумуса в 0—20 см слое почвы по сравнению с контролем сокращался, но баланс его и в этом случае оставался дефицитным.

По содержанию гумуса различий между вариантами обработки почвы на фоне без удобрений и на фоне внесения минеральных удобрений не было.

Ежегодное применение жидкого навоза в норме 80 т/га совместно с высокими нормами минеральных удобрений (180N240P180K) повышало содержание углерода и азота в 0—40 см слое почвы; при этом создавался положительный баланс органического вещества в пропашном звене севооборота. Удвоение нормы жидкого навоза приводило к более заметному увеличению содержания гумуса в почве. Абсолютные запасы углерода и азота превышали исходные соответственно на 3,1—4,2 и 0,25—0,43 т/га. Последующее увеличение нормы навоза также способствовало накоплению органического вещества в почве. Однако интенсивность накопления гумуса была ниже, чем при внесении 80 т/га.

Эффект от подпахотного рыхления при высоких нормах жидкого навоза обнаруживался только в слое почвы 20—40 см. Так, при норме 160 т/га абсолютные запасы углерода в этом слое увеличились на 0,9, азота — на 0,12 т/га, а при 240 т/га — соответственно на 2,2 и 0,24 т/га. Подобные изменения обусловлены повышением биологической активности почвы, увеличением поступления корневых остатков и проникновением жидкого навоза по щели, оставляемой стойкой почвоуглубителем.

Темпы накопления органического вещества и повышение плодородия почвы при внесении больших норм жидкого навоза в значительной степени зависят от интенсивности его минерализации и гумификации. По количеству углерода, внесенного с жидким навозом, и изме-

Коэффициенты гумификации жидкого навоза (исходные запасы С гумуса 47,2 т/га)

| Нормы навоза, т/га по фону 3 ЗПК | Запасы С гумуса в конце опыта, т/га | | Разница в запасах С по отношению к исходным | | Внесено С с навозом, т/га | Коэффициент гумификации, % | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---|--------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|
| | вспашка | вспашка + рыхление | вспашка | вспашка + рыхление | | вспашка | вспашка + рыхление |
| 80 | 49,2 | 49,4 | 2,0 | 2,2 | 9,3 | 22 | 24 |
| 160 | 50,3 | 51,4 | 3,1 | 4,2 | 18,6 | 17 | 23 |
| 240 | 52,7 | 54,2 | 5,5 | 7,0 | 27,9 | 20 | 25 |

нению содержания гумуса в слое 0—40 см почвы нами рассчитаны коэффициенты гумификации (табл. 4). Установлено, что в пропашном севообороте при внесении высоких норм бесподстилочного навоза они снижались. Подпахотное рыхление способствовало активизации процесса, преимущественно за счет улучшения водно-воздушного и теплового режимов в слое почвы 20—40 см.

Наиболее достоверным показателем обеспеченности растений азотом является содержание в почве его нитратных и аммиачных форм. По трехлетним данным (1976—1978 гг.), в дерново-подзолистой почве в среднем за вегетацию содержание аммиачного азота было больше, чем нитратного (табл. 5). Это объясняется относительно низкой биохимической активностью почвы.

Содержание доступных форм азота на фоне применения минеральных удобрений увеличивалось в обоих слоях почвы в 1,7—1,8 раза по сравнению с контролем. Количество нитратного азота возрастало несколько сильнее, чем аммиачного.

Внесение жидкого навоза сопровождалось значительным накоплением нитратного и аммиачного азота в 0—20 см слое почвы, в нижнем слое оно было меньше. Возрастание содержания доступных форм азота в слое 20—40 см обусловлено не только разложением органического вещества, но и миграцией в условиях орошения нитратного азота из верхнего слоя.

Подпахотное рыхление способствовало повышению содержания нитратного и аммиачного азота во всех вариантах опыта. Однако наиболее значительное повышение этого показателя отмечено в слое почвы 20—40 см при внесении жидкого навоза. Это связано с тем, что в жидком навозе более половины азота находится в растворимом виде [6], он способен легко проникать в подпахотный слой при его рыхлении.

При рыхлении подпахотного слоя почвы на 10—12 см повышались

Таблица 5

Содержание нитратного и аммиачного азота (мг/кг) в слоях почвы 0—20 и 20—40 см в среднем за 1976—1978 гг.

| Вариант | N—NO ₃ | | N—NH ₄ | | N—NH ₄ и N—NO ₃ | |
|-----------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|---------------------------------------|----------|
| | 0—20 см | 20—40 см | 0—20 см | 20—40 см | 0—20 см | 20—40 см |
| Контроль | 7,2 | 5,7 | 14,2 | 9,4 | 21,4 | 15,1 |
| | 8,5 | 6,5 | 14,2 | 10,2 | 22,7 | 16,7 |
| ЗПК | 15,4 | 11,4 | 22,1 | 14,5 | 37,5 | 25,9 |
| | 17,3 | 12,5 | 21,7 | 17,2 | 39,0 | 29,7 |
| Навоз, 80 т/га + ЗПК | 26,4 | 14,7 | 34,1 | 21,6 | 60,5 | 36,3 |
| | 25,5 | 17,4 | 32,3 | 25,0 | 57,8 | 42,4 |
| Навоз, 240 т/га + ЗПК | 39,3 | 16,4 | 52,3 | 24,8 | 91,6 | 41,2 |
| | 39,2 | 20,2 | 52,1 | 29,4 | 91,3 | 49,6 |
| Среднее по обработке | 22,1 | 12,0 | 30,7 | 17,6 | 52,8 | 29,6 |
| | 22,6 | 14,2 | 30,1 | 20,4 | 52,7 | 34,6 |

Урожайность культур (ц/га) в зависимости от удобрения и обработки

| Норма навоза, т/га | Без НРК | 1 НРК | 2 НРК | 3 НРК | Среднее по жидкому навозу |
|---------------------------------------|---------|-------|-------|-------|---------------------------|
| Кукуруза (среднее за 1976 и 1979 гг.) | | | | | |
| 0 | 342 | 494 | 586 | 634 | 514 |
| | 372 | 585 | 710 | 758 | 605 |
| 80 | 422 | 528 | 603 | 736 | 572 |
| | 448 | 681 | 711 | 796 | 659 |
| 160 | 566 | 598 | 659 | 749 | 643 |
| | 637 | 766 | 794 | 844 | 760 |
| 240 | 651 | 660 | 743 | 778 | 708 |
| | 708 | 795 | 852 | 902 | 814 |
| Среднее по НРК | 495 | 570 | 648 | 724 | |
| | 541 | 707 | 767 | 825 | |
| Кормовая свекла, 1977 г. | | | | | |
| 0 | 384 | 524 | 597 | 637 | 536 |
| | 352 | 533 | 589 | 690 | 541 |
| 80 | 647 | 685 | 730 | 737 | 700 |
| | 555 | 712 | 801 | 825 | 723 |
| 160 | 675 | 692 | 754 | 800 | 730 |
| | 685 | 856 | 804 | 890 | 809 |
| 240 | 743 | 803 | 836 | 828 | 802 |
| | 752 | 805 | 971 | 990 | 880 |
| Среднее по НРК | 612 | 676 | 729 | 750 | |
| | 586 | 726 | 791 | 849 | |
| Ячмень, 1978 г. | | | | | |
| 0 | 20,2 | 25,0 | 33,6 | 35,5 | 28,6 |
| | 22,9 | 27,6 | 34,9 | 32,4 | 29,4 |
| 80 | 36,4 | 35,8 | 38,9 | 40,7 | 38,0 |
| | 32,4 | 35,8 | 36,2 | 34,8 | 34,8 |
| 160 | 30,6 | 30,1 | 29,6 | 29,7 | 30,0 |
| | 33,2 | 30,0 | 34,6 | 31,2 | 32,2 |
| 204 | 39,2 | 37,0 | 34,2 | 35,5 | 36,5 |
| | 34,2 | 36,9 | 29,5 | 36,8 | 34,3 |
| Среднее по НРК | 31,6 | 32,0 | 34,1 | 35,4 | |
| | 37,7 | 32,6 | 33,8 | 33,8 | |

Пр и м е ч а н и е. Значения НСР₀₅ по действию НРК и жидкого навоза оказались одинаковыми и равнялись для кукурузы 50 ц/га, для кормовой свеклы — 32, для ячменя — 2,9 (обычная обработка) и 2,5 ц/га (глубокая обработка).

иммобилизация и вынос азота с урожаем, а газообразные потери азота заметно снижались. Это свидетельствует о том, что подпахотное рыхление не только способствует увеличению объема плодородной почвы, что очень важно в условиях интенсивного использования удобрений и получения высоких урожаев полевых культур, но и уменьшает возможность загрязнения окружающей среды нитратами и газообразным азотом при внесении высоких норм жидкого навоза и минеральных удобрений.

Применение жидкого навоза и минеральных удобрений на фоне орошения позволило получить высокие урожаи полевых культур (табл. 6). Однако их реакция на возрастающие дозы удобрений и подпахотное рыхление была неодинаковой. Пропашные культуры (свекла, кукуруза) лучше использовали высокие нормы удобрений, чем ячмень. Это объясняется благоприятным действием междурядных обработок на строение пахотного слоя и более продолжительным периодом потреб-

ления питательных элементов. Следовательно, при возделывании пропашных культур создаются лучшие условия для эффективного использования изучаемых факторов интенсификации земледелия.

Урожайность кукурузы с повышением норм жидкого навоза и минеральных удобрений при их раздельном внесении возрастала. Однако эффективность каждой последующей нормы минеральных удобрений была ниже, а жидкого навоза до 160 т/га — выше предыдущих. Прирост урожая зеленой массы кукурузы при внесении жидкого навоза в норме 80 т/га по сравнению с вариантом без удобрений был почти в 2 раза меньше, чем при внесении 60N80P60K. Нормы жидкого навоза 160 и 240 т/га оказывали такое же действие на урожай кукурузы, как 120N160P120K и 180N240P180K.

Наибольшие приросты урожая зеленой массы от минеральных удобрений получены при совместном применении с жидким навозом 80 т/га. В то же время на фонах навоза 160 и 240 т/га низкие нормы минеральных удобрений были неэффективны. Заметно увеличилась урожайность при внесении средних и высоких норм минеральных удобрений.

На фоне высоких норм минеральных удобрений варианты с различными нормами жидкого навоза мало различались между собой по урожайности кукурузы. Это свидетельствует о том, что рост ее продуктивности лимитируется другими факторами.

Подпахотное рыхление оказывало положительное влияние на урожайность кукурузы во всех вариантах. Наибольший эффект от него наблюдался в вариантах 2NPK и 3NPK, а также навоз 240 т/га + 3NPK. В среднем максимальные прибавки урожая получены по фону жидкого навоза 160 т/га в сочетании с низкими нормами минеральных удобрений.

С повышением уровня питания урожайность кормовой свеклы возрастала, но эффективность удобрений по мере увеличения их норм снижалась.

При раздельном внесении навоз обеспечивал больший прирост урожая корнеплодов, чем минеральные удобрения.

Максимальное повышение урожайности кормовой свеклы на фоне жидкого навоза получено при низких и средних нормах минеральных удобрений.

Подпахотное рыхление при раздельном внесении жидкого навоза и минеральных удобрений было неэффективным. Положительное действие оно оказывало на фоне высоких норм жидкого навоза в сочетании с минеральными удобрениями. Вероятно, при внесении одного жидкого навоза не обеспечивалось нужное для кормовой свеклы соотношение элементов минерального питания. Внесение минеральных удобрений, и в первую очередь калийных, способствовало повышению урожайности кормовой свеклы, особенно в вариантах с подпахотным рыхлением, в которых значительно улучшался воздушный режим почвы, что очень важно для корнеплодов.

Свекла легко переносит повышение концентрации питательного раствора. Этим объясняется рост урожайности при совместном применении высоких норм навоза и минеральных удобрений.

Урожайность ячменя повышалась при внесении жидкого навоза 80 т/га в сочетании с минеральными удобрениями, но эффект от последних был невысоким. Увеличение нормы жидкого навоза и проведение подпахотного рыхления приводило к полеганию растений и снижению урожайности. Следовательно, при возделывании ячменя следует ограничиться средними нормами навоза или выращивать его в пропашном севообороте с применением минеральных удобрений, а жидкий навоз вносить под предшествующую культуру.

Таким образом, полевые культуры неодинаково реагируют на высокие нормы жидкого навоза и минеральных удобрений.

Исходя из того, что при внесении больших норм удобрений в почве создается высокая концентрация доступных форм азота, мы определя-

Содержание нитратного азота (% на абсолютно сухое вещество в зеленой массе кукурузы и корнеплодах кормовой свеклы в зависимости от обработки почвы и удобрения

| Вариант | Вспашка | | | Вспашка + рыхление | | |
|------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|
| | кукуруза, 1976 г. | кормовая свекла, 1977 г. | кукуруза, 1979 г. | кукуруза, 1976 г. | кормовая свекла, 1977 г. | кукуруза, 1979 г. |
| Контроль | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,02 |
| ЗНПК | 0,12 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,11 | 0,11 |
| Навоз, 80 т/га + ЗНПК | 0,18 | 0,19 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,16 |
| Навоз, 160 т/га + ЗНПК | 0,26 | 0,26 | 0,22 | 0,26 | 0,26 | 0,22 |
| Навоз, 240 т/га + ЗНПК | 0,30 | 0,40 | 0,24 | 0,32 | 0,41 | 0,26 |

ли содержание нитратного азота в товарной продукции кормовых культур (табл. 7). Как показали исследования, наряду с повышением урожайности в вариантах с высокими нормами жидкого навоза и минеральных удобрений возросло содержание нитратного азота в зеленой массе кукурузы и корнеплодах кормовой свеклы, которое превысило предельно допустимую норму (0,25 % на сухое вещество [6]).

Нитратнакопление в значительной степени зависело от погодных условий. Так, понижение температуры и избыточное увлажнение в 1976 г. способствовали повышению содержания нитратов в кукурузе по сравнению с 1979 г.

Подпахотное рыхление не оказывало действия на этот показатель.

Следовательно, при внесении высоких норм жидкого навоза и минеральных удобрений необходимо учитывать возможность накопления нитратов в кормовых культурах и составлять рационы животных таким образом, чтобы не допустить превышения предельных концентраций содержания нитратного азота в корме.

Выводы

1. Вспашка на 25—27 см с подпахотным рыхлением на 10—12 см в сочетании с высокими нормами жидкого навоза и минеральных удобрений в пропашном севообороте является высокоэффективным приемом воспроизводства плодородия дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы.

2. Подпахотное рыхление в условиях интенсивного использования жидкого навоза и минеральных удобрений способствовало снижению кислотности, повышению биологической активности, абсолютных запасов гумуса, иммобилизации азота, коэффициента гумификации навоза, содержания доступных форм азота в слое 20—40 см.

3. Урожайность кукурузы возрастала при подпахотном рыхлении как на фоне отдельного внесения жидкого навоза и минеральных удобрений, так и при их сочетании. Кормовая свекла хорошо отзывалась на этот прием в вариантах в совместном применении минеральных и органических удобрений. Ячмень не реагировал на подпахотное рыхление.

4. Наибольшие урожаи зеленой массы кукурузы и корнеплодов кормовой свеклы получены на фоне высоких норм жидкого навоза и минеральных удобрений, а зерна ячменя — при совместном внесении жидкого навоза 80 т/га и 120N160P120K.

5. При использовании высоких норм жидкого навоза (160—240 т/га) и минеральных удобрений (120—180N160—240P120—180K) содержание нитратного азота в товарной продукции кукурузы и кормовой свеклы превышало допустимую норму. Это необходимо учитывать при составлении рациона сельскохозяйственных животных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балахонов С. И., Табулина В. П., Дроздова Т. В. Влияние различных видов навоза на баланс азота, фосфора и калия в звене севооборота на дерново-подзолистых суглинистых почвах БССР. — Бюл. ВИЖ, 1976, № 32, с. 46—53.
2. Гриценко В. В. Обработка и углубление пахотного слоя почвы. М.: Моск. рабочий, 1971.
3. Гриценко В. В., Кузютин А. В. Эффективность мелиоративных обработок почвы при возделывании многолетних трав. — Изв. ТСХА, 1968, вып. 6, с. 93—97.
4. Доспехов Б. А., Пупонин А. И. Обработка почв в Нечерноземье. Вестн. с.-х. науки, 1975, № 12, с. 12—26.
5. Доспехов Б. А., Бузмаков В. В. Современные проблемы обработки почв. — В сб.: Проблемы земледелия, 1978, с. 212—220.
6. Корнат Г. и др. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрений. М.: Колос, 1978.
7. Лыков А. М., Вьюгин С. М. К методике манометрического определения активности почвы с применением аппарата Варбурга. — Изв. ТСХА, 1973, вып. 4, с. 196—199.
8. Мешков И. В., Ходакова Р. Н. Влияние углубления и окультуривания пахотного слоя на распределение микроорганизмов в профиле дерново-подзолистых почв. — Тр. Почв. ин-та им. Докучаева, 1956, т. 49, с. 129—151.
9. Рюбензам Э., Рауэ К. Земледелие/Пер. с нем. М., Колос, 1969.

Статья поступила 19 октября 1983 г.

SUMMARY

Investigations were carried out in field experiments on the state farm "Voronovo", Podolsk district, Moscow region, in 1976—1979 on soddy-podzolic medium loam soil in crop rotation: corn — fodder beet — barley.

Subsoil shattering alongside with intensive application of liquid manure and commercial fertilizers resulted in the following changes in 20—40 cm soil layer: lower acidity and higher biologic activity and absolute reserves of humus, nitrogen immobilization and removal, liquid manure humification coefficient, content of available nitrogen forms. Subsoil shattering resulted in considerably higher yielding capacity of corn and fodder beet, but barley did not respond to this practice.