

The growth of the specific removal of calcium and magnesium yield practically did not affect the application of calcareous sapropel. The introduction of dolomite, which has a longer aftereffect containing calcium and magnesium, to an increase in the specific removal of calcium from 9,0 to 9,9-10,8 kg/t, magnesium – from 4,1 up to 4,5-5,2 kg/t.

The highest specific removal of calcium was obtained by making chalk – 11,7 kg/ha. Liming slightly acidic soil contributed to the growth of the specific removal of phosphorus on 0,5-1,6 kg/t, but the forms themselves ameliorants had no significant effect on the removal of phosphorus, the values of which the options were 24,2-25,3 kg/t.

On the background of dolomite powder increasing doses of dolomite potassium from 90 to 150 kg/ha increased the potassium content of the dry weight of rapeseed by 0,09% in the straw – on 0,41%. In this case, the specific removal of elements increases from 23,5 to 29,0 kg/t, respectively, more due to increase seed yield of potash fertilizer.

Increasing doses of nitrogen from 120 to 150 kg/ha increased the percentage removal of an element with 37,6 to 38,6 kg/t (1 kg/t).

*Поступила 8 октября 2010 г.*

УДК 631.84:633.1:631.445.2

## **БАЛАНС АЗОТА УДОБРЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ ПОД ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ\***

**Н.Н. Цыбулько<sup>1</sup>, Д.В. Киселева<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Департамент по ликвидации последствий катастрофы  
на Чернобыльской АЭС МЧС, г. Минск, Беларусь*

*<sup>2</sup>Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова,  
г. Могилев, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Проблема оптимизации круговорота азота в земледелии остается актуальной, несмотря на значительные результаты, достигнутые в этой области агрохимии. Интенсивность поглощения и включения азота в продукционный процесс определяется совокупностью процессов трансформации его в почве, биологическими особенностями сельскохозяйственных культур и физиологическими процессами, происходящими в растении.

Доля азота почвы в выносе элемента с урожаем обычно выше, чем из удобрений. Коэффициент использования азота удобрений сельскохозяйственными культурами на разных почвах колеблется от 12 до 70% [1, 2].

\*Работа выполнена в рамках проекта №Б06Р-039 Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

К причинам, ограничивающим размеры потребления и коэффициент использования азота удобрений можно отнести: внесение азотных удобрений в дозах, несоответствующих физиологической потребности растений в азоте; высокая растворимость и быстрое превращение в почве выпускаемых форм азотных удобрений, что приводит к потерям и уменьшению запасов потребляемых растениями соединений азота в почве [3].

На хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах в растения поступает больше азота удобрений, чем на слабоокультуренных почвах [4, 5]. При дробном внесении азота под зерновые культуры коэффициент его использования увеличивается на 3-21% по сравнению с разовым применением [6].

Неиспользованный растениями азот удобрений закрепляется в почве, а также теряется из корнеобитаемого слоя почвы.

Потери азота в результате вымывания зависят от гранулометрического состава почвы, дозы удобрений, суммы годовых осадков и характера их распределения по сезонам года. Выщелачивание из корнеобитаемого слоя за вегетационный период составляет 1-4%, в количественном отношении – 0,1-2,0 кг/га. Наибольшие потери азота от вымывания наблюдаются на легких по гранулометрическому составу с низким содержанием органического вещества почвах и могут достигать на пахотных землях 26 кг/га ежегодно. Минеральный азот выщелачивается из почвы в основном в форме нитратов (97-98%) [7, 8].

Газообразные потери азота в результате улетучивания в полевых условиях колеблются по литературным данным от 9 до 50% от внесенной дозы удобрений [9]. Эмиссия азота происходит главным образом в форме аммиака ( $\text{NH}_3$ ), молекулярного азота ( $\text{N}_2$ ) и его окислов ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Значительная часть газообразного азота теряется из почвы вследствие денитрификации. Основными факторами, влияющими на интенсивность денитрификации, а, следовательно, и потери молекулярного азота, являются влажность, температура, аэрируемость и кислотность почвы, содержание лабильного органического вещества, структура микробного сообщества, количество и формы минерального азота [10-12].

Часть внесенного с удобрениями азота закрепляется в почвенном профиле в труднодоступные растениям формы. Закрепление минеральных соединений азота происходит в результате фиксации катионов  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NH}_3$  глинистыми минералами из группы гидрослюдов, химического связывания почвенным органическим веществом, биологического закрепления аммиачного и нитратного азота – иммобилизации [13]. Азотфиксирующая способность почв возрастает с увеличением показателя pH и содержания органического вещества [14]. В среднем 20-30% (от 7 до 60%) внесенного азота закрепляется в органическом веществе почвы и практически не используется в первый год. Преобладающее значение в закреплении минерального подвижного азота принадлежит биологической иммобилизации. Это обусловлено потреблением азота почвенными микроорганизмами и использованием для синтеза белковых веществ их тел. После отмирания микроорганизмов в процессе разложения и гумификации микробного белка часть связанного в нем азота включается в состав новообразующихся гумусовых веществ [15].

Цель исследований – изучить влияние доз и сроков внесения азотных удобрений, меченных стабильным изотопом  $^{15}\text{N}$ , на азотное питание растений, цикл и баланс азота удобрений в системе почва-растение на дерново-подзолистой супесчаной почве.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2006-2007 годах на полевом опытном стационаре Могилевского филиала РНИУП «Институт радиологии», расположенном на территории землепользования СПК «Зарянский» Славгородского района Могилевской области. Почва опытного участка – дерново-подзолистая супесчаная на водно-ледниковых супесях. Агрохимические показатели пахотного горизонта почвы:  $pH_{KCl}$  – 5,93; гумус – 2,03%,  $P_2O_5$  – 218 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 269 мг/кг почвы.

Содержание общего азота в почве составляло 988 мг/кг почвы, запас потенциально усвояемого азота, включающего азот нитратов, обменного аммония и минерализуемых органических соединений, – 141-150 кг/га, что соответствует среднему содержанию по градации [14]. Около 50% от запаса  $N_{у\text{св}}$  занимали минеральные соединения азота (табл. 1).

Таблица 1

## Содержание и запасы форм азота в пахотном (Ап) слое почвы

| Показатель                             | $N_{\text{общ}}$ | $N_{\text{у\text{св}}}$ | $N_{\text{мин}}$  |                   |                   |
|----------------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                        |                  |                         | всего             | в том числе       |                   |
|                                        |                  |                         |                   | $N-NH_4$          | $N-NO_3$          |
| Содержание, мг/кг почвы                | 988              | 45-47<br>46             | 27,3-34,1<br>30,1 | 6,2-9,1<br>8,8    | 9,4-19,1<br>14,2  |
| Запас в пахотном (0-25 см) слое, кг/га | 3087             | 141-150<br>145          | 48,7-88,1<br>71,9 | 19,3-28,4<br>27,5 | 29,4-59,7<br>44,4 |

Примечание:  $N_{\text{общ}}$  – общий азот;  $N_{\text{у\text{св}}}$  – потенциально усвояемый азот;  $N_{\text{мин}}$  – минеральные соединения азота;  $N-NH_4$  – аммонийный азот;  $N-NO_3$  – нитратный азот;

\*\* – над чертой – колебания по годам, под чертой – среднее значение.

Микрополевой опыт проводился в полевых условиях. Микроделянки опыта площадью 1 м<sup>2</sup> изолировали между собой на глубину почвы 0-40 см. Размер учетных микроделянок 0,25 м<sup>2</sup>. Повторность вариантов в опыте четырехкратная.

В опыте возделывали яровой ячмень сорта Тюрингия (2006 г.) и озимую рожь сорта Игуменская (2007 г.). Схема опыта включала варианты с разными дозами и сроками внесения азотных удобрений: 1.  $P_6K_{12}$  – фон; 2. Фон +  $N_6$ ; 3. Фон +  $N_9$ ; 4. Фон +  $N_6 + N_3^{//}$ ; 5. Фон +  $N_9 + N_3^{//}$ . Сроки внесения азотных удобрений следующие:  $N$  – до посева ячменя и при возобновлении весенней вегетации озимой ржи;  $N^{//}$  – начало фазы выхода в трубку. Дозы удобрений приведены из расчета грамм на 1 м<sup>2</sup>. Степень обогащения азота  $^{15}N$  составляла 25-26 ат.%. Азотные удобрения в форме карбамида вносили в виде водного раствора согласно схеме опыта. Фосфорные (суперфосфат аммонизированный) и калийные (калий хлористый) удобрения вносили перед посевом культур.

Почвенные образцы отбирали до посева и после уборки культур, растительные образцы – в начале фазы выхода в трубку растений перед азотной подкормкой (надземную биомассу) и в период полного созревания (зерно и солома).

В пахотном горизонте почвы определяли: обменную кислотность ( $pH_{KCl}$ ) – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91);  $N_{\text{общ}}$  – по Кьельдалю-Иодльбауеру

(ГОСТ 26107-84);  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91). Анализ растительных образцов на содержание общего азота проводили после их мокрого озоления по методу ЦИНАО [16]. Изотопный состав азота определяли на масс-спектрометре «Thermo Finnigan MAT Delta plus Advantage».

Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного и регрессионного анализа с использованием компьютерного программного обеспечения (Excel 7.0, Statistica 7.0).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании данных формирования надземной биомассы культур и содержания общего азота в биомассе определены параметры потребления азота почвы и азота удобрений растениями ячменя и озимой ржи.

Установлено, что интенсивность потребления и включения азота в продукционный процесс определяется почвенными условиями, биологическими особенностями зерновых культур, дозами и сроками применения азотных удобрений. Полученные данные также свидетельствуют о преимущественном значении почвенного азота в питании растений.

Величина потребления растениями ячменя общего азота в фазу выхода в трубку изменялась от 8,51 до 12,56 г/м<sup>2</sup>. В варианте, где применяли перед посевом 6 г/м<sup>2</sup> (60 кг/га) азота на долю азотных удобрений в общем выносе приходилось 15%, а при дозе 9 г/м<sup>2</sup> (90 кг/га) незначительно больше – 16,4% (табл. 2).

Таблица 2

### Потребление азота почвы и удобрений ячменем в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений

| Вариант                                                | Поглощено азота, г/м <sup>2</sup> |             |           | N <sub>уд</sub> ,<br>% от общего<br>выноса |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------|--------------------------------------------|
|                                                        | Всего                             | в том числе |           |                                            |
|                                                        |                                   | почвы       | удобрений |                                            |
| Фаза выхода в трубку растений                          |                                   |             |           |                                            |
| 1. Р <sub>6</sub> К <sub>12</sub> – фон                | 8,51                              | 8,51        | -         | -                                          |
| 2. Фон + N <sub>6</sub>                                | 11,35                             | 9,65        | 1,70      | 15,0                                       |
| 3. Фон + N <sub>9</sub>                                | 12,56                             | 10,50       | 2,06      | 16,4                                       |
| 4. Фон + N <sub>6</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 11,35                             | 9,65        | 1,70      | 15,0                                       |
| 5. Фон + N <sub>9</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 12,56                             | 10,50       | 2,06      | 16,4                                       |
| Фаза полного созревания                                |                                   |             |           |                                            |
| 1. Р <sub>6</sub> К <sub>12</sub> – фон                | 10,01                             | 10,01       | -         | -                                          |
| 2. Фон + N <sub>6</sub>                                | 14,06                             | 11,85       | 2,21      | 15,7                                       |
| 3. Фон + N <sub>9</sub>                                | 19,58                             | 16,92       | 2,66      | 13,6                                       |
| 4. Фон + N <sub>6</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 21,77                             | 18,36       | 3,41      | 15,7                                       |
| 5. Фон + N <sub>9</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 22,75                             | 18,94       | 3,81      | 16,7                                       |
| НСП <sub>05</sub>                                      | 1,08                              | -           | -         | -                                          |

При содержании общего азота в зерне ячменя в среднем 1,96-2,75% и в соломе – 0,69-0,92% вынос общего азота с урожаем основной и побочной продукции ячменя колебался в зависимости от уровней азотного питания от 10,01 до 22,80 г/м<sup>2</sup>. При внесении азотных удобрений величина потребления азота возросла

по отношению к фосфорно-калийному фону в 1,4-2,3 раза. Наибольший вынос азота (22,80 г/м<sup>2</sup>) отмечен при внесении N<sub>12</sub> в два приема (N<sub>9</sub> – до посева + N<sub>3</sub> – в фазу выхода в трубку). Дробное применение N<sub>9</sub> (вариант 4) существенно увеличило потребление азота по отношению к варианту с однократным применением той же дозы удобрений.

Анализ данных показывает, что 76-77% поглощенного азота удобрений (варианты 2 и 3) растения потребили в период всходы – фаза выхода в трубку.

В целом в формировании урожая основной и побочной продукции ячменя удельный вес азота удобрений составил в среднем 14-17%, почвенного азота – 83-86%. Наиболее низкое относительное участие (около 14%) азота удобрений отмечено в варианте с однократным применением перед посевом N<sub>9</sub>. Увеличение уровня азотного питания до N<sub>12</sub> способствовало повышению доли азота удобрений в общем выносе до 17%.

На озимой ржи влияние доз применения азотных удобрений на параметры потребления азота растениями было таким же, как и на ячмене. Величина поглощения озимой рожью азота в фазу выхода в трубку изменялась от 6,02 до 12,26 г/м<sup>2</sup>. В варианте с ранневесенней подкормкой N<sub>6</sub> (60 кг/га) азот удобрений в общем выносе составил 18,8%. При повышении дозы до N<sub>9</sub> (90 кг/га) доля его увеличилась до 20,9% (табл. 3).

Таблица 3

**Потребление азота почвы и удобрений озимой рожью в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений**

| Вариант                                                | Поглощено азота, г/м <sup>2</sup> |             |           | N <sub>уд</sub> ,<br>% от общего<br>выноса |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------|--------------------------------------------|
|                                                        | Всего                             | в том числе |           |                                            |
|                                                        |                                   | почвы       | удобрений |                                            |
| Фаза выхода в трубку растений                          |                                   |             |           |                                            |
| 1. P <sub>6</sub> K <sub>12</sub> – фон                | 6,02                              | 6,02        | -         | -                                          |
| 2. Фон + N <sub>6</sub>                                | 10,96                             | 8,90        | 2,06      | 18,8                                       |
| 3. Фон + N <sub>9</sub>                                | 12,26                             | 9,70        | 2,56      | 20,9                                       |
| 4. Фон + N <sub>6</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 11,34                             | 9,34        | 2,00      | 17,6                                       |
| 5. Фон + N <sub>9</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 12,26                             | 9,70        | 2,56      | 20,9                                       |
| Фаза полного созревания                                |                                   |             |           |                                            |
| 1. P <sub>6</sub> K <sub>12</sub> – фон                | 10,36                             | 10,36       | -         | -                                          |
| 2. Фон + N <sub>6</sub>                                | 15,91                             | 13,47       | 2,44      | 15,3                                       |
| 3. Фон + N <sub>9</sub>                                | 17,10                             | 14,46       | 2,64      | 15,4                                       |
| 4. Фон + N <sub>6</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 17,91                             | 14,78       | 3,13      | 17,5                                       |
| 5. Фон + N <sub>9</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 20,12                             | 16,38       | 3,74      | 18,6                                       |
| НСР <sub>05</sub>                                      | 1,38                              | -           | -         | -                                          |

Содержание общего азота в зерне озимой ржи колебалось от 1,74 до 2,31%, в соломе – от 0,68 до 0,99%. С урожаем основной и побочной продукции озимой ржи вынос азота колебался от 10,36 (на фоне P<sub>6</sub>K<sub>12</sub>) до 20,12 г/м<sup>2</sup> (в варианте P<sub>6</sub>K<sub>12</sub>N<sub>9</sub>+N<sub>3</sub><sup>//</sup>). За счет азотных удобрений величина потребления азота увеличилась по отношению к фосфорно-калийному фону в 1,5-1,9 раза. Наиболее высокий вынос азота (20,12 г/м<sup>2</sup>) отмечен при внесении N<sub>12</sub> в два приема (N<sub>9</sub> – в ранневесеннюю подкормку + N<sub>3</sub> – в фазу выхода в трубку). Дробное применение N<sub>9</sub> увеличило потребление азота удобрений по отношению к варианту с однократным применением той же дозы.

Применение в ранневесеннюю подкормку озимой ржи (фаза кущения) 6-9 г/м<sup>2</sup> азота удобрений показало, что из потребленного растениями азота удобрений на 84-97% он используется в начальный период вегетации – от фазы кущения до выхода в трубку (включительно).

В формировании урожая основной и побочной продукции озимой ржи удельный вес азота удобрений составил в зависимости от доз и сроков его внесения в среднем 15-19%, почвенного азота – 81-85%.

Азотные удобрения после внесения в почву сразу же претерпевают ряд изменений и вовлекаются в биологический круговорот. Азот аммонийных удобрений вступает в обменные реакции почвенно-поглощающего комплекса, а затем в процессе метаболизма нитрификаторов переводится в нитратную форму. Амидный азот мочевины также под влиянием фермента уреазы превращается в углекислый аммоний, который в последующем нитрифицируется до N-NO<sub>3</sub> азот нитратных удобрений, как и нитраты, образованные из других форм азотных удобрений, хорошо растворимы в почвенном растворе и легко передвигаются капиллярной и гравитационной влагой [18].

Изучен баланс азота (<sup>15</sup>N) удобрений в зависимости от доз и сроков применения азотных удобрений. Размеры закрепления азота удобрений определяли в результате прямого учета содержания его в почве после уборки растений. Величину общих потерь азота мочевины устанавливали на основе принципа баланса по формуле:

$$N_{\text{п}} = N_{\text{уд}} - (N_{\text{ир}} + N_3)$$

где  $N_{\text{п}}$  – потери азота удобрений, г/м<sup>2</sup>;  $N_{\text{уд}}$  – доза азотных удобрений, г/м<sup>2</sup> действующего вещества;  $N_{\text{ир}}$  – азот, использованный растениями, г/м<sup>2</sup>;  $N_3$  – азот, закрепленный в почве, г/м<sup>2</sup>.

Исследования показали, что от 21 до 40% внесенного азота закрепляется в слое почвы 0-40 см и не используется в первый год. Этот азот может принимать участие в минеральном питании последующих культур. Установлено также, что наиболее высокая доля закрепления азота удобрений почвой отмечается в вариантах с однократным применением N<sub>6</sub> перед посевом ячменя и в ранневесеннюю подкормку озимой ржи, которая составила 40,3 и 35,8%, соответственно. В то же время абсолютные значения закрепленного азота в этих вариантах наименьшие (табл. 4).

При внесении одинаковой дозы азота (9,0 г/м<sup>2</sup>) в один прием по сравнению с дробным, закрепление в почве минерального азота происходит несколько интенсивней. Так, если в вариантах 2 (N<sub>9</sub> до посева ячменя и в ранневесеннюю подкормку озимой ржи) в слое почвы 0-40 см иммобилизовалось под ячменем 30,7% и под озимой рожью 27,2% азота удобрений, то при дробном внесении удобрений (N<sub>6</sub> – до посева ячменя и ранневесеннюю подкормку озимой ржи + N<sub>3</sub> – в фазу выхода в трубку) относительная величина закрепленного в почве азота составила 28,4 и 26,8%, соответственно.

С повышением дозы азотных удобрений до 12 г/м<sup>2</sup> относительное закрепление азота снижалось, однако абсолютные размеры иммобилизации возрастали.

Весьма актуальным и дискуссионным является вопрос о миграции азота удобрений в пределах почвенного профиля. В опытах установлено, что основ-

ное количество меченого азота остается в верхней части почвы. К пахотному слою 0-20 см приурочено 65-72% закрепленного в слое 0-40 см азота удобрений, а на глубину 20-40 см проникает 28-35%. По литературным данным [17], в пахотном горизонте может фиксироваться 68-84% всего закрепленного азота минеральных удобрений.

Таблица 4

**Закрепление азота удобрений в почвенном профиле в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений**

| Вариант                                                | Всего закрепилось |                             | В том числе      |                            |                  |                            |
|--------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|
|                                                        | г/м <sup>2</sup>  | % от вне-<br>сенной<br>дозы | в слое 0-20 см   |                            | в слое 20-40 см  |                            |
|                                                        |                   |                             | г/м <sup>2</sup> | % от<br>закреп-<br>ленного | г/м <sup>2</sup> | % от<br>закреп-<br>ленного |
| Ячмень                                                 |                   |                             |                  |                            |                  |                            |
| 1. Р <sub>6</sub> К <sub>12</sub> – фон                | -                 | -                           | -                | -                          | -                | -                          |
| 2. Фон + N <sub>6</sub>                                | 2,42              | 40,3                        | 1,68             | 69,4                       | 0,74             | 30,6                       |
| 3. Фон + N <sub>9</sub>                                | 2,76              | 30,7                        | 1,81             | 65,6                       | 0,95             | 34,4                       |
| 4. Фон + N <sub>6</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 2,56              | 28,4                        | 1,83             | 71,5                       | 0,73             | 28,5                       |
| 5. Фон + N <sub>9</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 2,98              | 24,8                        | 2,04             | 68,5                       | 0,94             | 31,5                       |
| Озимая рожь                                            |                   |                             |                  |                            |                  |                            |
| 1. Р <sub>6</sub> К <sub>12</sub> – фон                | -                 | -                           | -                | -                          | -                | -                          |
| 2. Фон + N <sub>6</sub>                                | 2,15              | 35,8                        | 1,45             | 67,4                       | 0,70             | 32,6                       |
| 3. Фон + N <sub>9</sub>                                | 2,45              | 27,2                        | 1,58             | 64,5                       | 0,87             | 35,5                       |
| 4. Фон + N <sub>6</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 2,41              | 26,8                        | 1,69             | 70,1                       | 0,72             | 29,9                       |
| 5. Фон + N <sub>9</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 2,55              | 21,3                        | 1,70             | 66,7                       | 0,85             | 33,3                       |

Результаты оценки баланса азота удобрений показали, что чем выше величина потребления азота удобрений, тем меньше их относительные потери. Так как разные дозы и сроки применения удобрений оказали влияние на использование внесенного азота, то данные факторы воздействовали и на общую структуру баланса азота минеральных удобрений.

На ячмене в варианте с применением перед посевом N<sub>6</sub> (из расчета 60 кг/га) относительная величина потребления азота растениями составила 37%, закрепилось в почве – 40%, суммарные потери в результате улетучивания и выщелачивания в более глубокие горизонты почвы – 23% от внесенной дозы. При повышении внесения азотных удобрений до 9 г/м<sup>2</sup> (из расчета 90 кг/га) наблюдалось снижение относительного использования азота на 7%, закрепления в почве – на 9%, увеличение потерь – на 16% (табл. 5).

Дробное применение N<sub>9</sub> (N<sub>6</sub> – до посева + N<sub>3</sub> – в фазу выхода в трубку) по сравнению с однократным внесением такой же дозы способствовало повышению величины относительного потребления азота растениями на 8%, снижению иммобилизации в почве – на 3% и суммарных потерь – на 5%.

Следует также отметить, что дробное применение азотных удобрений способствовало снижению миграции их по почвенному профилю (табл. 5). Так, если в варианте с однократным внесением N<sub>9</sub> в слое почвы 0-20 см закрепилось 66%, в слое 20-40 см – 34% азота удобрений, то при дробном соответственно 72 и 28%.

Таблица 5

**Баланс азота удобрений в системе почва-растение в зависимости  
от доз и сроков внесения азотных удобрений**

| Вариант                                                | Поглощено расте-<br>ниями |                             | Закрепилось в почве |                             | Потери           |                             |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|
|                                                        | г/м <sup>2</sup>          | % от вне-<br>сенной<br>дозы | г/м <sup>2</sup>    | % от вне-<br>сенной<br>дозы | г/м <sup>2</sup> | % от вне-<br>сенной<br>дозы |
| <b>Ячмень</b>                                          |                           |                             |                     |                             |                  |                             |
| 1. Р <sub>6</sub> К <sub>12</sub> – фон                | -                         | -                           | -                   | -                           | -                | -                           |
| 2. Фон + N <sub>6</sub>                                | 2,21                      | 37                          | 2,42                | 40                          | 1,37             | 23                          |
| 3. Фон + N <sub>9</sub>                                | 2,66                      | 30                          | 2,76                | 31                          | 3,58             | 39                          |
| 4. Фон + N <sub>6</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 3,41                      | 38                          | 2,56                | 28                          | 3,03             | 34                          |
| 5. Фон + N <sub>9</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 3,81                      | 32                          | 2,98                | 25                          | 5,21             | 43                          |
| <b>Озимая рожь</b>                                     |                           |                             |                     |                             |                  |                             |
| 1. Р <sub>6</sub> К <sub>12</sub> – фон                | -                         | -                           | -                   | -                           | -                | -                           |
| 2. Фон + N <sub>6</sub>                                | 2,44                      | 41                          | 2,15                | 36                          | 1,41             | 23                          |
| 3. Фон + N <sub>9</sub>                                | 2,64                      | 29                          | 2,45                | 27                          | 3,91             | 44                          |
| 4. Фон + N <sub>6</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 3,13                      | 35                          | 2,41                | 27                          | 3,46             | 38                          |
| 5. Фон + N <sub>9</sub> + <sub>3</sub> <sup>//</sup>   | 3,74                      | 31                          | 2,55                | 21                          | 5,71             | 48                          |

С повышением дозы азотных удобрений до 12 г/м<sup>2</sup> (из расчета 120 кг/га) снижалось относительное потребление азота растениями и увеличивались его потери. Так, в варианте опыта с дробным применением под ячмень N<sub>12</sub> по отношению к варианту с дробным внесением N<sub>9</sub> относительное использование азота снизилось на 6%, а потери возросли на 9%, составив 43% от общей дозы азотных удобрений.

На озимой ржи прослеживалась та же тенденция в структуре баланса азота в зависимости от доз и сроков применения азотных удобрений, как и на ячмене. В варианте с внесением в начале весенней вегетации посевов N<sub>6</sub> относительная величина потребления азота растениями была 41%, закрепилось в почве – 36%, суммарные потери в результате улетучивания и выщелачивания – 23% от внесенной дозы. При увеличении дозы ранневесенней азотной подкормки до 9 г/м<sup>2</sup> (из расчета 90 кг/га) относительное использование азота снизилось до 29% (на 12%), а потери возросли до 44% (на 21% по отношению к N<sub>6</sub>).

Дробное применение под озимую рожь N<sub>9</sub> (N<sub>6</sub> – в ранневесеннюю подкормку + N<sub>3</sub> – в фазу выхода в трубку) по сравнению с однократным внесением такой же дозы в начале возобновления весенней вегетации посевов способствовало повышению величины относительного потребления азота растениями на 6% и снижению потерь на 6%.

Дробное применение азота также способствовало снижению миграции элемента вглубь почвенного профиля. В варианте с однократным внесением N<sub>9</sub> в слое почвы 0-20 см закрепилось 65%, в слое 20-40 см – 35% азота удобрений, то при дробном – 70 и 30% соответственно.

Максимальные потери внесенного азота (48%) наблюдались в варианте с применением повышенной дозы (N<sub>12</sub>) азотных удобрений.

За годы исследований урожайность культур в зависимости от уровней применения азотных удобрений составила: ячмень 359-590 г/м<sup>2</sup> (35,9-59,0 ц/га),



озимая рожь – 371-617 г/м<sup>2</sup> (37,1-61,7 ц/га). На фоне РК сформирована урожайность у ячменя и озимой ржи 359 и 371 г/м<sup>2</sup> соответственно (табл. 6).

Азотные удобрения повышали урожайность культур по отношению к фону в 1,2-1,7 раза. За счет вносимого азота формировалось дополнительно от 79 до 246 г/м<sup>2</sup> зерна (7,9 до 24,6 ц/га).

Применение N<sub>6</sub> перед посевом ячменя и в ранневесеннюю подкормку озимой ржи обеспечило увеличение урожайности этих культур по отношению к контролю на 79 и 167 г/м<sup>2</sup> соответственно.

При повышении дозы однократного внесения азотных удобрений до 9 г/м<sup>2</sup> (из расчета 90 кг/га) получены достоверные прибавки зерна по отношению к варианту с N<sub>6</sub> – на ячмене 133 г/м<sup>2</sup>, на озимой ржи – 33 г/м<sup>2</sup>.

*Таблица 6*

**Эффективность азотных удобрений в зависимости от доз и сроков их внесения**

| Вариант                                                | Ячмень                              |                                       | Озимая рожь                         |                                       |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
|                                                        | Урожайность зерна, г/м <sup>2</sup> | Прибавка зерна к РК, г/м <sup>2</sup> | Урожайность зерна, г/м <sup>2</sup> | Прибавка зерна к РК, г/м <sup>2</sup> |
| 1. P <sub>6</sub> K <sub>12</sub> – фон                | 359                                 | -                                     | 371                                 | -                                     |
| 2. Фон + N <sub>6</sub>                                | 438                                 | 79                                    | 538                                 | 167                                   |
| 3. Фон + N <sub>9</sub>                                | 571                                 | 212                                   | 571                                 | 200                                   |
| 4. Фон + N <sub>6</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 583                                 | 224                                   | 579                                 | 208                                   |
| 5. Фон + N <sub>9</sub> + N <sub>3</sub> <sup>//</sup> | 590                                 | 231                                   | 617                                 | 246                                   |
| HCP <sub>05</sub>                                      | 30                                  | -                                     | 16                                  | -                                     |

В отношении действия дробного применения азота удобрений можно отметить следующее. Как на ячмене, так и на озимой ржи, внесение N<sub>9</sub> в два приема (вариант 4) не обеспечило существенного увеличения урожайности по отношению к варианту с однократным применением этой же дозы.

Максимальная урожайность возделываемых культур сформирован в варианте с дробным внесением 12 г/м<sup>2</sup> азотных удобрений (из расчета 120 кг/га), который составил для ячменя 590 г/м<sup>2</sup>, для озимой ржи – 617 г/м<sup>2</sup>. В то же время достоверная прибавка урожайности зерна в этом варианте по отношению к дробному применению N<sub>9</sub> получена только на озимой ржи. На ячмене различия были незначительными.

## ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве в азотном питании зерновых культур преобладает азот почвенных запасов. Урожайность ячменя и озимой ржи на 80-86% формируется за счет почвенного азота и на 14-20% за счет азота удобрений.

2. Коэффициенты использования азота удобрений колеблются в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений от 29 до 41%. Дробное применение азотных удобрений (N<sub>6+3</sub>) по сравнению с однократным (N<sub>9</sub>) способствует

повышению коэффициента использования азота на 6-8%. При увеличении доз внесения азота до  $N_{12}$  величины потребления его растениями возрастают, однако коэффициенты использования снижаются.

3. В почвенном профиле закрепляется от 21 до 40% азота удобрений, неиспользуемого растениями в первый год. С повышением доз удобрений абсолютные размеры закрепления азота возрастают, относительные снижаются. Основное количество (65-72%) закрепленного в почве азота концентрируется в пахотном (0-20 см) слое. Дробное внесение азотных удобрений по сравнению с однократным способствует снижению миграции азота в подпахотные горизонты.

4. Потери азота в результате вымывания и денитрификации составляют в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений от 23 до 47%. Закрепление внесенного азота способствует снижению его потерь. По мере повышения доз азотных удобрений увеличиваются абсолютные и относительные потери азота. При дробном применении наблюдается снижение их на 5-6%.

5. Наиболее оптимальные условия азотного питания зерновых культур, высокий урожай зерна (579-583 г/м<sup>2</sup>), коэффициент использования азота (35-38%) обеспечиваются при дробном внесении 9 г/м<sup>2</sup> азота удобрений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов, П.М. Вопросы агрохимии азота / П.М. Смирнов. – М.: ТСХА, 1982. – 72 с.
2. Кореньков, Д.А. Успехи перспективного использования стабильных изотопов в агрохимии / Д.А. Кореньков, Н.И. Борисова // Вестник с.-х. науки. – 1980. – №9. – С.22-27.
3. Соколов, О.А. Теория и практика рационального применения азотных удобрений / О.А. Соколов, В.М. Семенов. – М.: Наука, 1992. – 207 с.
4. Ефимов, В.Н. Использование азота почвы и удобрений растениями ячменя на дерново-подзолистых супесчаных почвах разной степени окультуренности / В.Н. Ефимов, А.И. Осипов, Е.Ф. Чеснокова // Агрохимия. – 1985. – №7. – С. 3-7.
5. Семененко, Н.Н. Влияние уровня плодородия дерново-подзолистых песчаных почв на использование азота почвы и удобрений ячменем / Н.Н. Семененко, Л.Ю. Полонская // Применение <sup>15</sup>N в агрохимических исследованиях. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 61-63.
6. Семененко, Н.Н. Азот в земледелии Беларуси / Н.Н. Семененко, Н.В. Невмержицкий. – Минск: Хата, 1997. – 196 с.
7. Безлюдный, Н.Н. Потери азота из дерново-подзолистых почв Белорусской ССР и способы их сокращения / Н.Н. Безлюдный [и др.] // Агрохимия. – 1986. – №11. – С. 3-8.
8. Безлюдный, Н.Н. Потери и баланс основных питательных веществ в зависимости от механического состава почв и форм азотных удобрений / Н.Н. Безлюдный [и др.] // Агрохимия. – 1988. – №7. – С. 11-15.
9. Башкин, В.Н. Агрогеохимия азота / Башкин В.Н. – Пущино: АН СССР, 1987. – 270 с.
10. Степанов, А.Л. Микробная трансформация закиси азота в почвах: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А.Л. Степанов. – М: МГУ, 2000. – 49 с.
11. Holtan-Hartwig, L. Low temperature control of soil denitrifying communities: kinetics of N<sub>2</sub>O production and reduction / L. Holtan-Hartwig, P. Dorsch, L.R. Bakken // Soil Biol. and Biochem. – 2002. – V. 34. – P. 1797-1806.

12. Dobbie, K.E. Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: the impact of soil water filled pore space and other controlling variables / K.E. Dobbie, K.A. Smith // *Global Change Biol.* – 2003. – V. 9. – P. 204-218.
13. Руделев, Е.В. Минерализация-иммобилизация азота в основных типах почв России и эффективность азотных удобрений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. / Е.В. Руделев. – М., 1992. – 34 с.
14. Семененко, Н.Н. Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н.Н. Семененко. – Мн.: Хата, 2003. – 164 с.
15. Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья / Под общ. ред. академика РАСХН Н.З. Милащенко. – М., 1993. – 864 с.
16. Методические указания по анализу почв, кормов и удобрений. – М.: ЦИНАО, 1976. – 56 с.
17. Гамзиков, Г.П. Баланс и превращение азота удобрений / Г.П. Гамзиков, Г.И. Кострик, В.Н. Емельянова. – Новосибирск: Наука, 1985. – 161 с.
18. Семенов, В.М. Слагаемые эффективности азотных удобрений в системе почва-растение и критерии их количественной оценки / В.М. Семенов // *Агрохимия*. – 1999. – № 5. – С. 25-32.

## **BALANCE OF NITROGEN OF FERTILIZERS OF SYSTEM SOIL-PLANT UNDER GRAIN CROPS ON SOD-PODZOLIC SANDY SOIL**

**N.N. Tsybul'ko, D.V. Kiseleva**

### **Summary**

On sod-podsolic sandy soil the structure of balance of nitrogen in system soil-plant depending on doses and terms of entering of nitric fertilizers is studied. It is established, that in a nitric nutrition of plants soil nitrogen prevails. Efficiency of barley and winter rye on 80-85% is formed at the expense of soil nitrogen and on 15-20% at the expense of nitrogen of fertilizers. In grain 68-72% of all nitrogen of fertilizers absorbed by plants concentrate.

Operating ratios of nitrogen of fertilizers fluctuate depending on doses and terms of entering of nitric fertilizers from 30 to 38%. Fractional application of nitrogen promotes increase of factor of its use on 5-8%. At increase in doses of fertilizers the size of consumption of nitrogen plants increases, however operating ratios decrease.

In a soil profile it is fixed from 21 to 40% of nitrogen of fertilizers. With increase of doses of fertilizers the absolute sizes of fastening of nitrogen increase, relative decrease. The basic quantity (65-72%) of nitrogen fixed in soil concentrates in arable (0-20 cm) layer. Fractional entering of nitric fertilizers promotes decrease in migration of nitrogen in underarable horizons.

Losses of nitrogen as a result of washing away and denitrification make depending on doses and terms of its entering from 23 to 47%. High speed immobilization and nitrogen fixings promote decrease in its losses. Increase of doses of nitric fertilizers leads to increase in absolute and relative losses of nitrogen, fractional application – to their decrease on 5-6%.

*Поступила 13 октября 2010 г.*