

УДК 631.445.2:631.472:631.416.1

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЯМИ АММОНИЙНОГО И НИТРАТНОГО АЗОТА ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СЛОЕВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

В. В. КИДИН, О. Н. ИОНОВА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Изучали использование ячменем, клевером и картофелем аммонийного и нитратного азота, содержащегося в различных слоях почвы. Применение  $^{15}\text{N}$  позволило установить динамику потребления растениями минерализованного азота из отдельных слоев почвы до посева и в течение вегетации, оценить интенсивность минерализации органического вещества в средне- и хорошо окультуренной почве. Результаты исследований могут быть использованы при диагностике азотного питания и разработке системы удобрения зерновых культур и картофеля.

Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур является важнейшим фактором, определяющим их урожайность и качество продукции. Существенное влияние на рост и развитие растений и эффективность азотных удобрений оказывает содержание минерального азота в почве в начале вегетационного периода. Применение азотных удобрений без учета содержания минерального азота в корнеобитаемом слое почвы снижает их эффективность и вызывает опасность загрязнения окружающей среды и сельскохозяйственной продукции нитратами.

Многочисленными исследованиями, проведенными в различных почвенно-климатических зонах [1—7, 10—12], установлено, что количественная и качественная оценка минерального азота в почве и использования его сельскохозяйственными растениями дает возможность более точно определить экологиче-

ски безопасные дозы азотных удобрений и скорректировать сроки их внесения с учетом погодных условий, предшественника, плодородия почвы и планируемой урожайности.

Известно, что почвенная диагностика является достаточно надежным методом определения потребности сельскохозяйственных культур в азотном питании и удобрении, однако большая трудоемкость отбора почвенных образцов для анализа, особенно в подпахотных горизонтах, а также слабая изученность использования растениями минерального азота из разных слоев почвы существенно ограничивают широкое применение этого метода. Особенно важной в почвенной диагностике остается информация о доступности растениям аммонийного и нитратного азота из различных слоев почвы.

Еще Д. Н. Прянишников [9] отмечал, что равноценный в физиологическом отношении аммонийный и

нитратный азот может использоваться сельскохозяйственными растениями в полевых условиях с неодинаковой эффективностью, в зависимости от кислотности и механического состава почвы.

Несмотря на многочисленные исследования, проведенные в более поздний период [2, 4, 6, 10], вопрос о преимущественном использовании растениями аммонийного или нитратного азота почвы на отдельных этапах онтогенеза до сих пор еще не выяснен. Необходимо подчеркнуть, что практическое использование почвенной диагностики азотного питания требует на современном этапе экономического развития разработки унифицированной техники отбора и анализа почвенных образцов.

До настоящего времени также остаются дискуссионными такие вопросы, как сроки и глубина отбора почвенных образцов для определения содержания минерального азота под посевами зерновых и пропашных культур. Так, многие авторы [1, 3, 6, 10—12] указывают на наличие наиболее тесной корреляционной зависимости между содержанием минерального азота в почве и урожайностью сельскохозяйственных культур при взятии образцов на глубину до 1 м. В то же время ряд исследователей [1, 2, 5, 7] считают, что при почвенной диагностике азотного питания можно ограничиться взятием проб на глубину 20—40 см. Не менее противоречивые данные получены также при определении сроков почвенной диагностики азотного питания [1, 2, 7] и уровня использования сельскохозяйственными культурами минерального азота почвы [2—4, 6, 7, 11—12]. Причина столь противоречивых результатов, вероятно, заключается в том, что лабильное соотношение аммонийного и нитратного азота в почве, обусловленное посто-

янно протекающими в ней процессами аммонификации, нитрификации и денитрификации, а также неодинаковая доступность растениям разных форм азота из различных горизонтов почвы не позволяют определять (в методическом аспекте) реальные коэффициенты их использования без применения стабильного изотопа.

В этой связи нашей задачей являлось изучение с помощью стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  динамики потребления разных форм почвенного минерального азота ячменем и картофелем и определение коэффициента его использования из различных слоев почвы.

### Методика

В качестве объекта исследования использовали дерново-подзолистую среднесуглинистую среднеокультуренную (1984—1985 гг.) и хорошо окультуренную (1988—1991 гг.) почву учхоза Тимирязевской академии «Михайловское» Московской области. Содержание гумуса в почве составляло 1,8—2,5 %, подвижных форм фосфора и обменного калия по Кирсанову — соответственно 130—180 и 160—195 мг/кг,  $\text{pH}_{\text{сол}}$  — 5,2—6,3. Содержание минерального азота в почве (аммонийного и нитратного) определяли перед закладкой опытов послойно через каждые 20 см до глубины 80 или 100 см. Для установления уровня использования растениями минерального азота, содержащегося в различных почвенных горизонтах, перед посевом ячменя и посадкой картофеля его метили небольшим количеством стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$ . Для этой цели раствор  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  или  $\text{Ca}(^{15}\text{NO}_3)_2$ , обогащенный  $^{15}\text{N}$  60,6—97,5 ат. % (с расчета 5 кг/га  $^{15}\text{N}-\text{NH}_4$  и  $^{15}\text{N}-\text{NO}_3$ , что составляло 10—20 % к содержанию минерального азота в каждом слое

почвы, вносили на глубину 10, 30, 50, 70 и 90 см (в середину каждого из 4 или 5 слоев). Минеральный азот почвы метили следующим образом: на каждой опытной делянке с ячменем площадью  $1 \text{ м}^2$  ( $1 \times 1 \text{ м}$ ) и картофелем площадью  $4,2 \text{ м}^2$  ( $2,1 \times 2 \text{ м}$ ) с помощью металлического стержня делали 49 отверстий на  $1 \text{ м}^2$ , расположение которых позволяло равномерно распределять метку в шахматном порядке на расстоянии 14 см. На дно каждого отверстия с помощью шприца-дозатора и пластиковой удлинительной трубки вносили по 5 мл раствора  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  или  $\text{Ca}(^{15}\text{NO}_3)_2$  необходимой концентрации, после чего отверстия засыпали почвой и уплотняли.

Мелкоделяночные опыты проводили в 3-кратной повторности на полях стационарного опыта по общепринятой для Московской области технологии возделывания ячменя и картофеля. В первые 3 года ячмень сорта Надя возделывали в чистых посевах, остальные 2 года — с подсевом клевера.

Для изучения действия азотных и фосфорно-калийных удобрений на уровень использования ячменем, клевером и картофелем минерального азота почвы предусматривались варианты с внесением РК и НРК. Фосфорные и калийные удобрения вносили осенью под вспашку, азотные ( $\text{N}_{\text{aa}}$ ) — весной под культувацию. Дозы удобрений в 1984 и 1985 гг. составляли 60N60P60K, в 1988—1991 гг. — 90N90P90K. Вынос азота ячменем определяли в фазы кущения, трубоквания, колошения и

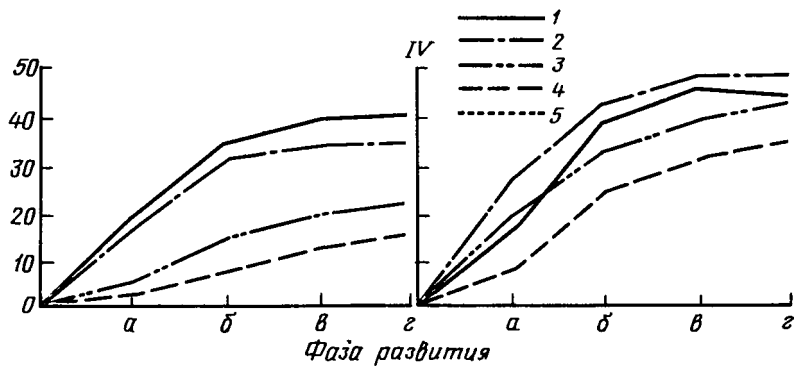
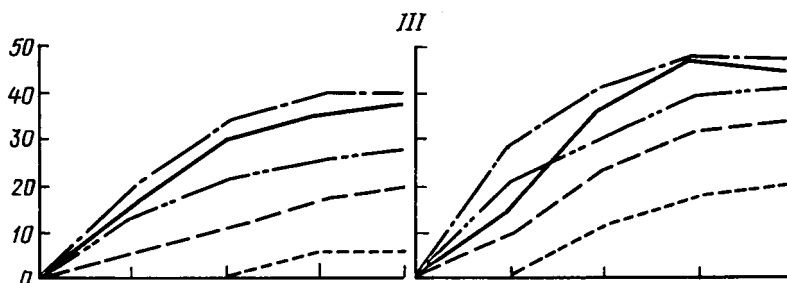
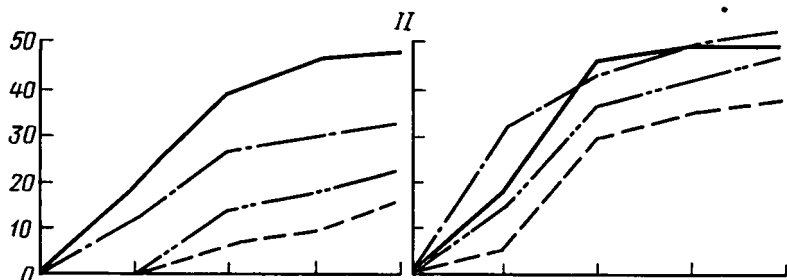
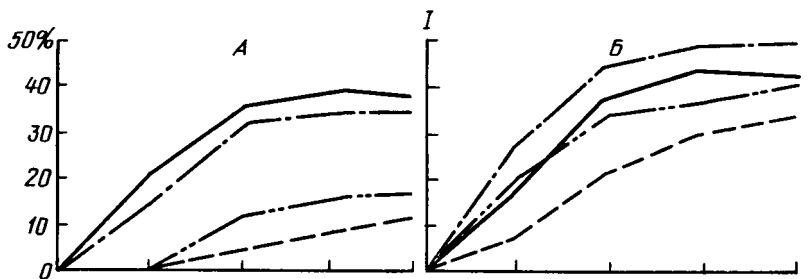
полной спелости, клевером и картофелем — в конце опыта. Ячмень и клевер убирали с учетной делянки  $0,5 \text{ м}^2$ , картофель — из среднего рядка, а два крайних служили в качестве защитных полос. Содержание аммонийного азота в почве и общего азота в растениях определяли по Кьельдалю, нитратного — по Кьельдалю при использовании сплава Деварда, изотопный состав азота — с помощью масс-спектрометра МИ-1305.

В мае 1984 г. количество осадков было среднее, в июне и июле чрезвычайно высокое — соответственно 151 и 103 мм. В 1985 г. температура и количество осадков приближались к средним многолетним. В 1988 г. повышенная температура и оптимальное количество осадков летом, а также засуха осенью способствовали формированию хорошего урожая картофеля. Вегетационный период 1989 г. характеризовался дефицитом влаги в мае — июне и повышенными температурой и влажностью в июле и августе. Весенне-летний период 1990 г. был прохладным, со средним количеством осадков, в июле — сентябре их уровень на 20—80 % превышал норму; 1991 г. отличался повышенным (на 56 %) количеством осадков в мае и дефицитом влаги летом, что ускорило развитие растений и отрицательно отразилось на урожайности ячменя.

## Результаты

Внесение небольшого количества меченого  $^{15}\text{N}$  азота (5 кг/га) в разные слои почвы не оказывало достоверного влияния на урожай-

Рис. 1. Коэффициенты использования ячменем аммонийного (А) и нитратного (Б) азота из различных слоев дерново-подзолистой почвы по фону РК.  
I — 1984 г.; II — 1985 г.; III — 1989 г.; IV — в среднем за 3 года; а — фаза кущения ячменя; б — трубоквания; в — колошения; г — уборка; 1—5 — слой почвы соответственно 0—20, 20—40, 40—60, 60—80 и 80—100 см.



ность сельскохозяйственных культур. Средняя из 4—5 вариантов (различающихся по глубине заделки  $^{15}\text{N}-\text{NH}_4$  и  $^{15}\text{N}-\text{NO}_3$ ) урожайность ячменя на фоне РК колебалась по годам в пределах 26,3—35,1 ц/га. Прибавка урожая зерна при внесении  $\text{N}_{\text{aa}}$  перед посевом (фон НРК) составляла 8,2—11,5 ц/га (табл. 1). Урожайность клевера 1-го года жизни, возделываемого под покровом ячменя, практически не зависела от внесения азотных удобрений.

Применение стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  для изучения трансформации разных форм минерального азота, содержащихся в почве перед посевом, позволило выявить динамику его потребления и долю участия аммонийного и нитратного азота из различных горизонтов в формировании урожая, а также определить уровень минерализации органического азота почвы в течение вегетации растений.

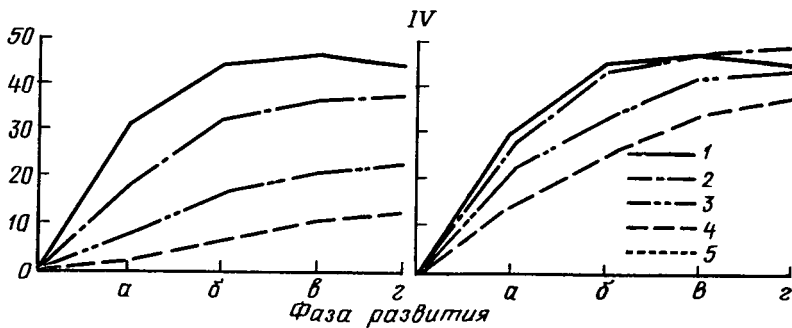
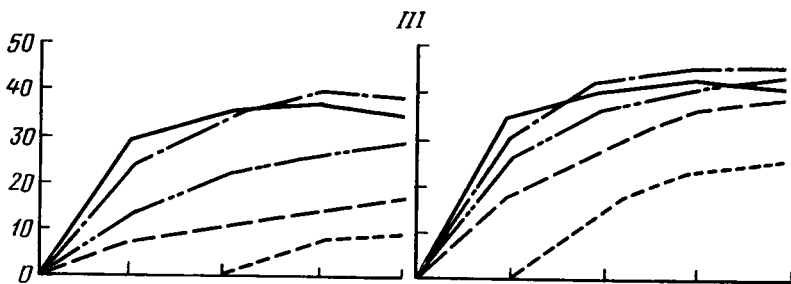
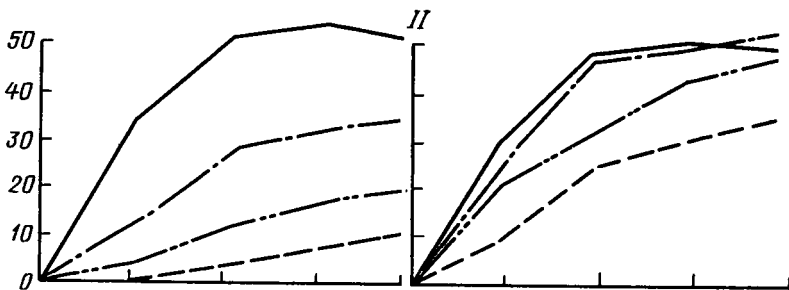
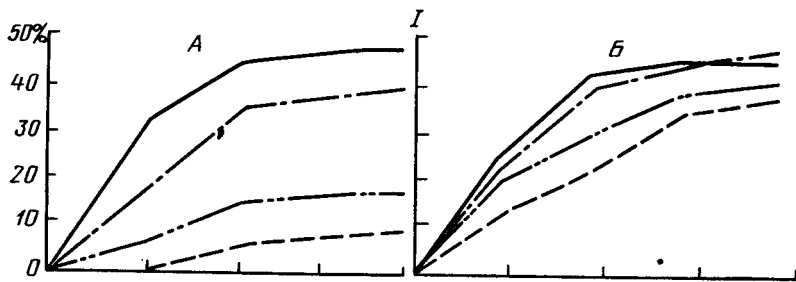
Исследованиями установлено, что коэффициенты использования минерального азота зависят от глубины его расположения в корнеобитаемом слое почвы и фазы развития растений. Наиболее высокие коэффициенты характерны для пахотного и ближайшего подпахотного слоев, в более глубоких горизонтах они значительно меньше. Неравноценность отдельных почвенных горизонтов в обеспечении ячменя азотом гораздо сильнее проявлялась в начале вегетации — в фазу кущения (рис. 1). Наиболее существенное снижение коэффициентов использования аммонийного азота по сравнению с нитратным свойственно среднеокультурен-

ной почве (1984—1985 гг.), характеризующейся наличием остаточного подзолистого горизонта в подпахотном слое и слабокислой (рН 5,2) реакцией среды. При возделывании ячменя на среднеокультуренной почве в фазу кущения потребление аммонийного азота из пахотного слоя по фону РК было в 2—3 раза выше, чем из слоя 40—60 см, а в фазу трубкавания — в 2,5 и 7 раз выше, чем соответственно из слоев 20—40 и 40—60 см. Аналогичная картина наблюдалась и в последующие годы при возделывании ячменя на хорошо окультуренной почве, однако различия оказались менее выраженными, что может быть связано с изменением пространственного расположения корневой системы по профилю почвы и более интенсивно протекающими процессами нитрификации.

Результаты мелкоделяночных опытов во многом зависели от погодных условий. Однако, несмотря на различные почвенные и погодные условия, экспериментальные данные, представленные на рис. 1, однозначно свидетельствуют о преимущественном поступлении в растения в начале вегетации минерального азота из пахотного слоя. В среднем за 3 года в фазу кущения ячменя коэффициенты использования аммонийного азота из слоев 20—40 и 40—60 см были соответственно в 2 и 4 раза ниже (по фону РК), чем из пахотного слоя. Уровень использования ячменем нитратного азота из подпахотных горизонтов в 1-й период вегетации оказался значительно выше, чем аммонийного, и в меньшей степени зависел от глубины его распо-

---

Рис. 2. Коэффициенты использования ячменем аммонийного и нитратного азота из различных слоев дерново-подзолистой почвы по фону НРК.  
Обозначения те же, что на рис. 1



ложения по почвенному профилю. В дальнейшем, по мере роста корневой системы растений вплоть до уборки урожая, коэффициенты использования минерального азота нижних горизонтов почвы постепенно увеличивались, однако были меньше, чем из двух верхних. В среднем за 3 года ячмень в чистых посевах (без подсева клевера) в фазу кушения использовал из корнеобитаемого слоя 0—80 см 15 % аммонийного и 24 % нитратного азота, в фазу трубкования — соответственно 26 и 36, а в конце опыта — 30 и 43 % его содержания перед посевом (рис. 1).

Применение  $N_{aa}$  (фон NPK) тормозило поступление в растения минерального азота почвы. При этом наиболее значительно (на 9—16 %) его поступление из пахотного горизонта снизилось в начале вегетации. Со временем это различие уменьшалось и к концу опыта было несущественным (рис. 2).

Следует отметить, что в отечественной и зарубежной агрохимической практике почвенная диагностика минерального питания сельскохозяйственных культур, к сожалению, проводится без дифференцированного учета доступности растениям отдельных элементов питания из разных горизонтов почвы и доз удобрений. Полученные нами экспериментальные данные позволяют сделать заключение, что сложившееся в литературе мнение об идентичности путей трансформации и доступности растениям минерального азота почвы и удобрений справедливо лишь в пределах одного и того же слоя, например пахотного. Превращение минерального азота в подпахотных горизонтах по сравнению с пахотным имеет свои особенности, которые следует учитывать при корректировке доз удобрений и разработке

мероприятий по охране окружающей среды.

Среди зерновых, возделываемых в качестве покровной культуры многолетних трав в Нечерноземной зоне РФ, наиболее широкое распространение получил яровой ячмень. Между тем особенности почвенной доступности азотного питания ячменя с подсевом клевера изучены недостаточно и практически отсутствуют данные о доступности и динамике потребления ячменем и клевером минерального азота из разных слоев почвы.

На хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве растения ячменя с подсевом клевера (рис. 3 и 4), как и в чистых посевах (рис. 1 и 2), неодинаково использовали аммонийный и нитратный азот из различных слоев почвы. Более высокие коэффициенты использования минерального азота были свойственны пахотному и подпахотному слоям, с глубиной они постепенно снижались. При этом аммонийный азот, содержащийся в нижних горизонтах, потреблялся растениями значительно хуже, чем нитратный. В среднем за 2 года в фазу кушения ячменя коэффициент использования аммонийного азота из слоя 0—20 см по фону РК составлял 34 % и был в 1,8 раза выше, чем из слоя 40—60 см, и примерно в 5 раз выше, чем из слоя 60—80 см. Из более глубоких слоев почвы в этот период азот в растения не поступал. В сумме за 2 года в фазу кушения использование аммония из слоя 0—100 см составляло 18 %, нитратов — 23 % к их содержанию перед посевом. В фазу трубкования наблюдалось дальнейшее увеличение коэффициентов использования азота из всех слоев почвы, а в более поздние фазы развития растений преимущественно потреблялся азот, содержащийся

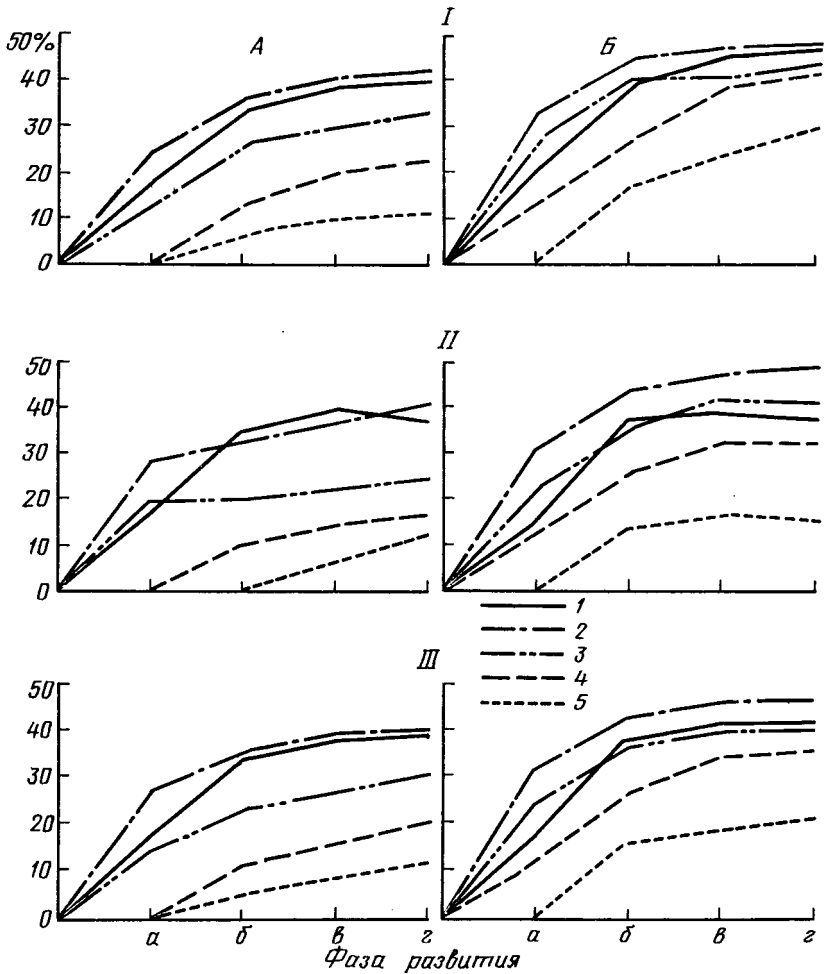


Рис. 3. Коэффициенты использования ячменем аммонийного и нитратного азота из различных слоев хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы по фону РК.

I — 1990 г.; II — 1991 г.; III — в среднем за года. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

ся перед их посевом в более глубоких слоях. К концу вегетации растения использовали из пахотного слоя по фону РК в среднем за 2 года около 41 % аммонийного и 48 % нитратного азота, содержащегося перед посевом, из слоя 20—

40 см — соответственно 42 и 48 %, 40—60 см — 33 и 45, 60—80 см — 22 и 35, а из слоя 80—100 см — 11 и 23 %. Внесение аммиачной селитры в дозе 90N приводило к заметному снижению коэффициентов использования азота из пахотного

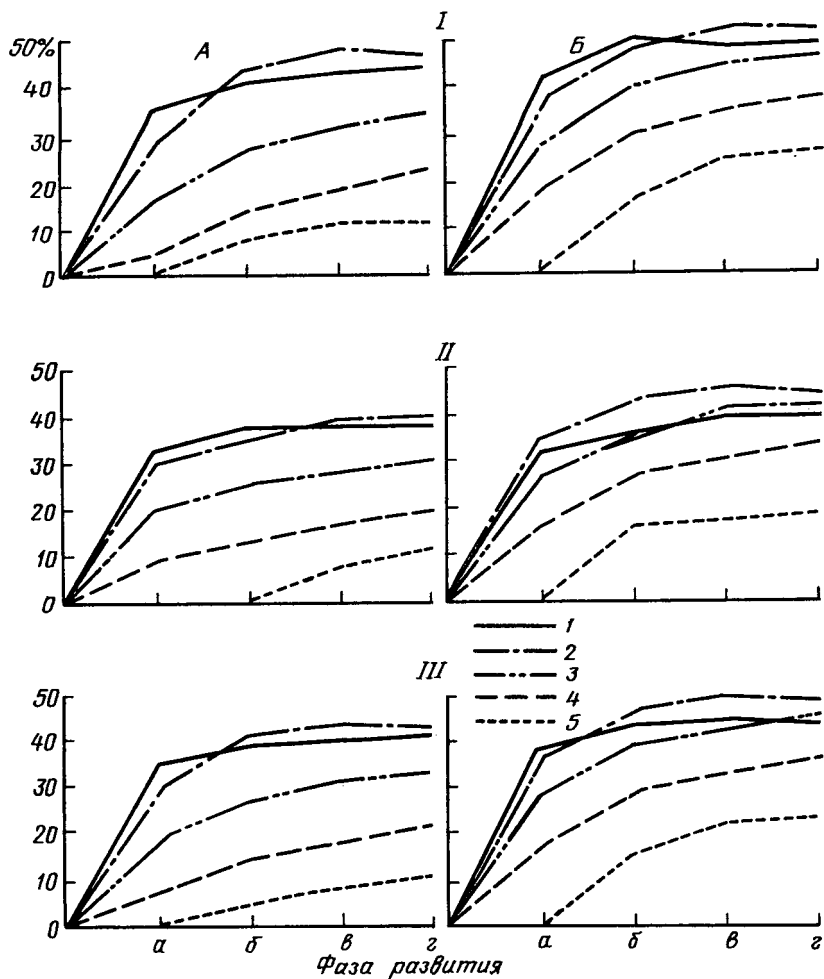


слоя в начале вегетации и практически не оказывало влияния на динамику потребления и коэффициенты использования минерального азота подпахотных горизонтов почвы.

Несмотря на значительные коле-

бания количества минерального азота в почве перед посевом, коэффициенты его использования в чистых и смешанных посевах ячменя были практически одинаковыми (рис. 1—4). В среднем за 5 лет из всего корнеобитаемого слоя поч-

Рис. 4. Коэффициенты использования ячменем аммонийного и нитратного азота из различных слоев хорошо окультуренной почвы по фону NPK. Обозначения те же, что на рис. 1 и 3.



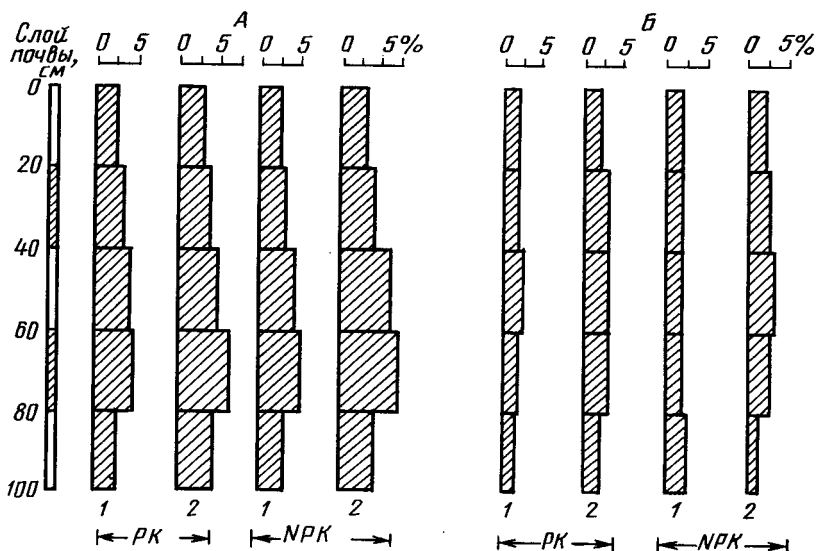


Рис. 5. Использование клевером аммонийного (А) и нитратного (Б) азота из разных слоев почвы.  
1 — 1990 г.; 2—1991 г.

вы (0—80 и 0—100 см) ячменем использовалось 30 % аммонийного азота и 41 % азота нитратов.

Большую практическую значимость в связи с широким распространением посевов клевера в Нечерноземной зоне РФ имеет изучение роли минерального азота почвы в 1-й год его жизни под покровом ячменя. На основании литературных данных можно полагать, что минеральный азот, содержащийся в почве перед посевом, в относительно равной степени доступен как покровной культуре, так и клеверу. Однако наши исследования с  $^{15}\text{N}$  свидетельствуют о довольно незначительной роли минерального азота, содержащегося в почве перед посевом, в питании клевера. Его исходный уровень в почве не может служить надежным диагностическим признаком обеспеченности

азотом многолетних трав, возделываемых под покровом ячменя.

Коэффициенты использования клевером аммонийного азота из различных слоев почвы варьировали в пределах 2,4—7,0 %, а нитратного — 1,5—3,5 % (рис. 5). При этом в отличие от покровной культуры (ячменя) потребление клевером аммонийного азота было примерно в 2 раза выше, чем нитратного. Следует также отметить, что клевер использует аммонийный азот из более глубоких подпахотных горизонтов почвы в большем количестве, чем из пахотного слоя. Так, в среднем за 2 года коэффициент использования аммонийного азота из пахотного слоя составлял 2,9 %, 40—60 см — 4,4, из слоя 60—80 см — 5,3 %.

Использование клевером нитратного азота практически не зави-

село от глубины его нахождения в почве и равнялось 2,5 %.

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о том, что клевер не оказывает существенного влияния на условия азотного питания покровной культуры в начале вегетации, поскольку он потребляет лишь незначительную часть минерального азота почвы. В этот период из-за слабого развития под покровом ячменя клевер не в состоянии конкурировать за потребление азота почвы, а ко времени его интенсивного развития (июль — август) большая часть минерального азота, содержащегося перед посевом, уже поглощается ячменем. По мере дальнейшего развития клевер несколько лучше использует аммонийный азот нижних слоев почвы, который в 1-й половине вегетации менее доступен покровной культуре.

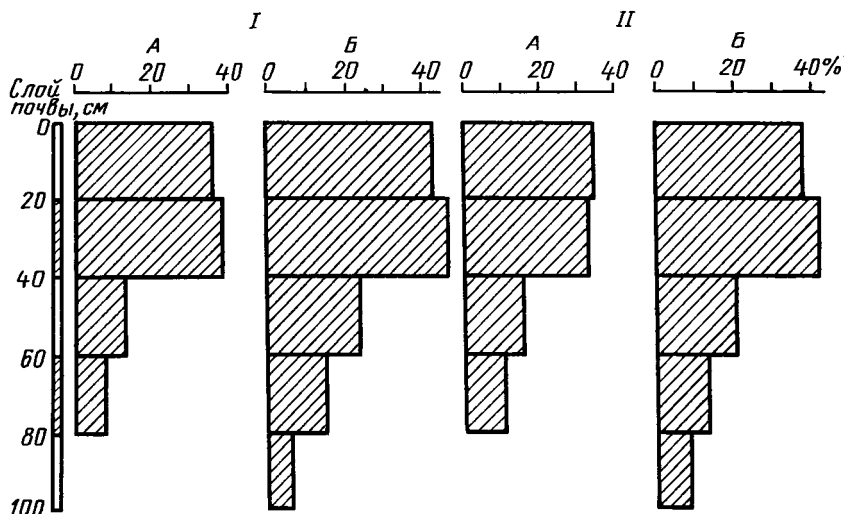
Внесение аммиачной селитры не оказывало существенного влияния на использование клевером мине-

рального азота, содержащегося в почве перед посевом (рис. 5). В целом коэффициент использования клевером из корнеобитаемого слоя почвы (0—100 см) аммонийного азота составлял ~4 %, а нитратного — 2,5 % исходного содержания перед посевом ячменя.

Почвенная диагностика азотного питания имеет особенно важное значение при возделывании картофеля в связи с опасностью загрязнения его нитратами. Дифференцированный учет содержания и доступности растениям азота из разных горизонтов почвы мог бы служить определенной гарантией получения высококачественной продукции.

В опытах с картофелем, который возделывали на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве, содержащийся до его посадки азот в нитратной форме потреблялся растениями лучше, чем аммонийный. В среднем за 2 года коэффициент использования нит-

Рис. 6. Коэффициенты использования картофелем аммонийного (А) и нитратного (Б) азота из различных слоев дерново-подзолистой почвы (I—1988 г., II—1990 г.).



ратного азота из слоя 0—20 см равнялся 40 %, из слоя 20—40 см — 44 %, а аммонийного из каждого слоя — 35 %. Потребление минерального азота из слоев 40—60 и 60—80 см было соответственно в 2—3 и 3,0—4,5 раза ниже, чем из слоя 0—40 см, из слоя 80—100 см он практически не поглощался.

В целом из корнеобитаемого слоя почвы (0—80 см) картофелем к концу вегетации использовалось 23 % аммонийного азота и 30 % нитратного, а из метрового слоя — 19 и 25 % исходного их содержания (рис. 6).

Таким образом, основная часть (3/4) усвоенного картофелем минерального азота почвы приходилась на верхние горизонты (0—20 и 20—40 см) и только четвертая часть поступала из нижних горизонтов.

Установленные с помощью изотопного метода коэффициенты использования растениями аммонийного и нитратного азота (рис. 1—4) позволили определить средневзвешенный вынос (с учетом содержания каждой формы в разных слоях и доступности растениям) и динамику его потребления из различных горизонтов.

Исследования показали, что, несмотря на существенные колебания погодных условий и урожайности в годы проведения опытов, в начале вегетационного периода растения ячменя, выращиваемые на среднеокультуренной дерново-

подзолистой почве, использовали минеральный азот в основном из пахотного слоя (0—20 см) и значительно меньше — из подпахотного (20—40 см). Так, в 1984 г. по фону РК из 54 кг минерального азота, содержавшегося перед посевом в слое почвы 0—20 см в расчете на 1 га, растения в фазу кущения потребляли 15,3 кг, а из слоев 20—40 и 40—60 см, в которых перед посевом содержание минерального азота составляло соответственно 32 и 22 кг, — лишь 6,6 и 2,7 кг (табл. 2). По мере роста надземной массы и корневой системы ячменя общий вынос азота и доля в нем минерального азота подпахотных слоев увеличивались, а доля азота пахотного слоя заметно снижалась. Аналогичные данные об использовании ячменем минерального азота почвы из разных горизонтов получены в 1985 г., из горизонтов хорошо окультуренной почвы — в 1989 г. В среднем за 3 года из 125 кг минерального азота, содержавшегося перед посевом в слое почвы 0—80 см, в расчете на 1 га растения в фазу кущения потребляли 26,6 кг, в том числе из пахотного слоя — 12,3, подпахотного — 7,9, а из слоев 40—60 и 60—80 см — соответственно 4,8 и 1,6 кг азота, что составляло 39 % к первоначальному его содержанию в корнеобитаемом слое.

Подсев клевера в опытах 1990 и 1991 гг. не оказывал заметного влияния на динамику потребления

Таблица 1

Урожайность сельскохозяйственных культур в разные годы (ц/га)

Фон	Ячмень					Картофель		Клевер	
	1984	1985	1989	1990	1991	1988	1990	1990	1991
РК	26,3	31,0	30,2	35,1	27,0	—	—	18,5	21,0
НПК	34,5	40,8	39,6	46,6	37,2	286	245	16,6	19,2

Таблица 2

## Вынос ячменем азота (кг/га) из разных слоев почвы по фонам РК (числитель) и NPK (знаменатель)

Слой почвы, см	Содержание N <sub>мин</sub> в почве перед посевом, кг/га		Кущение	Трубкавание	Колошение	Уборка
	N—NH <sub>4</sub>	N—NO <sub>3</sub>				
<i>1984 г.</i>						
0—20	28	26	15,3	23,7	24,8	24,9
			10,0	19,5	21,8	21,1
20—40	15	17	6,6	11,9	13,2	13,9
			6,6	12,1	13,1	13,3
40—60	13	9	2,7	4,7	5,6	5,9
			1,6	4,6	5,3	5,8
60—80	10	5	0,7	0,9	2,5	2,8
			0,4	0,8	2,3	2,9
0—80	66	57	25,3	41,2	46,1	47,5
			18,6	37,0	42,5	43,1
Общий вынос азота			29,4	49,0	64,5	73,0
			37,4	64,2	88,3	98,5
<i>1985 г.</i>						
0—20	16	22	12,4	19,3	20,2	19,3
			6,7	16,1	18,0	18,0
20—40	15	20	9,5	18,8	20,0	20,9
			10,8	16,5	18,9	20,0
40—60	14	23	5,7	9,2	12,6	13,9
			3,7	10,1	11,7	13,5
60—80	11	9	1,0	2,9	3,7	4,4
			0,6	3,3	4,1	4,9
0—80	56	74	28,6	50,2	56,5	58,5
			21,8	46,0	52,7	56,4
Общий вынос азота			32,5	58,5	73,0	85,2
			40,8	78,0	103,0	116,0
<i>1989 г.</i>						
0—20	15	13	9,1	10,6	11,2	10,4
			4,2	9,2	11,0	11,1
20—40	15	13	7,5	10,8	11,9	11,6
			6,6	10,3	11,8	11,6
40—60	16	15	6,1	8,9	10,1	10,8
			5,1	7,4	9,5	10,1
60—80	14	11	3,1	4,8	6,1	6,6
			1,7	3,8	5,7	6,3
80—100	13	7	—	1,1	2,7	3,1
			—	0,7	2,0	2,0
0—100	73	59	25,8	36,2	42,0	42,5
			17,6	31,4	40,1	41,1

Слой почвы, см	Содержание N <sub>мин</sub> в почве перед посевом, кг/га		Кушение	Трубкавание	Колошение	Уборка
	N—NH <sub>4</sub>	N—NO <sub>3</sub>				
Общий вынос азота			33,8	57,0	76,0	88,0
			46,6	86,0	114,0	129,0
<i>В среднем за 3 года</i>						
0—20	20	20	12,3	17,9	18,7	18,2
			7,0	14,9	17,0	16,7
20—40	15	20	7,9	13,8	15,0	15,5
			8,0	13,0	14,6	15,0
40—60	14	16	4,8	7,6	9,4	10,2
			3,5	8,4	8,8	9,8
60—80	12	8	1,6	2,9	4,1	4,6
			0,9	2,6	4,0	4,7
0—80	61	64	26,6	42,2	47,3	48,5
			19,4	37,9	44,4	46,2
Общий вынос азота			31,9	54,8	71,2	82,0
			41,6	76,0	101,8	114,5

азота ячменем. Как в чистых (табл. 2), так и смешанных посевах (табл. 3) уровень использования растениями содержащегося перед посевом меченого минерального азота по профилю почвы закономерно снижался.

Из данных табл. 2 и 3 следует, что минеральный азот пахотного слоя играет наиболее важную роль в питании растений с начала вегетации ячменя до фазы трубкавания. К моменту наступления этой фазы вынос его достигает максимума, к периоду уборки данный показатель несколько снижается вследствие вымывания азота из растений осадками, частичного отмирания нижних листьев и корневой системы. В конце фазы трубкавания из подпахотного слоя (20—40 см) меченый до посева минеральный азот почвы прекращает поступать в растения, а из более глубоких слоев (40—100 см) он используется до конца вегетации.

Применение азота удобрений (фон NPK) во все годы проведения опытов привело к увеличению общего выноса данного элемента ячменем, однако при этом значительно снизился уровень использования минерального азота почвы из пахотного слоя в течение вегетации.

Использование клевером 1-го года жизни меченого азота перед посевом минерального азота из корнеобитаемого слоя (0—100 см) в среднем за 2 года равнялось 4,5 кг/га при довольно высоком выносе общего азота — 51 кг/га (табл. 3).

Следует отметить, что применение <sup>15</sup>N позволило определить не только динамику потребления ячменем минерального азота почвы, содержащегося перед посевом, но и динамику минерализации и уровня использования азота органического вещества почвы. Сопоставляя общий вынос азота ячменем и вынос меченого минерального азота из

Т а б л и ц а 3

Вынос ячменем и клевером азота (кг/га) из разных слоев почвы по фонам РК (числитель) и NPK (знаменатель)

Слой почвы, см	Содержание N <sub>мин.</sub> в почве перед посевом, кг/га		Кущение	Трубкавание	Колошение	Уборка	
	N—NH <sub>4</sub>	N—NO <sub>3</sub>				ячмень	клевер
<i>1990 г.</i>							
0—20	14	16	$\frac{11,6}{5,7}$	$\frac{13,6}{10,7}$	$\frac{13,7}{12,3}$	$\frac{14,0}{12,8}$	$\frac{0,7}{0,8}$
20—40	12	14	$\frac{8,8}{7,4}$	$\frac{11,9}{10,2}$	$\frac{13,1}{11,0}$	$\frac{12,8}{11,3}$	$\frac{0,6}{0,7}$
40—60	14	19	$\frac{7,9}{6,7}$	$\frac{11,4}{10,9}$	$\frac{13,1}{11,6}$	$\frac{13,9}{12,6}$	$\frac{1,0}{1,0}$
60—80	13	10	$\frac{2,5}{1,2}$	$\frac{4,8}{4,3}$	$\frac{6,0}{6,4}$	$\frac{6,9}{7,0}$	$\frac{0,8}{0,9}$
80—100	10	8	—	$\frac{2,2}{2,1}$	$\frac{3,2}{2,8}$	$\frac{3,2}{3,6}$	$\frac{0,4}{0,5}$
0—100	63	67	$\frac{30,8}{21,0}$	$\frac{43,9}{38,2}$	$\frac{49,1}{44,1}$	$\frac{50,8}{47,4}$	$\frac{3,5}{3,9}$
Общий вынос азота			$\frac{37,8}{49,0}$	$\frac{66,5}{93,0}$	$\frac{82,0}{123,4}$	$\frac{90,5}{136,0}$	$\frac{49,0}{41,0}$
<i>1991 г.</i>							
0—20	15	11	$\frac{8,4}{4,1}$	$\frac{9,7}{9,2}$	$\frac{10,0}{10,1}$	$\frac{10,1}{9,6}$	$\frac{0,8}{0,7}$
20—40	15	13	$\frac{9,1}{8,1}$	$\frac{10,9}{10,7}$	$\frac{11,6}{11,5}$	$\frac{11,6}{12,2}$	$\frac{1,0}{0,9}$
40—60	16	13	$\frac{6,7}{5,6}$	$\frac{8,7}{7,6}$	$\frac{9,6}{8,9}$	$\frac{10,3}{8,0}$	$\frac{1,2}{1,3}$
60—80	14	10	$\frac{2,8}{1,2}$	$\frac{4,5}{3,9}$	$\frac{5,4}{5,3}$	$\frac{6,1}{5,6}$	$\frac{1,3}{1,3}$
80—100	73	9	—	$\frac{1,4}{1,3}$	$\frac{2,3}{2,2}$	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{0,8}{0,7}$
0—100	73	56	$\frac{27,0}{19,0}$	$\frac{35,2}{32,7}$	$\frac{38,9}{38,0}$	$\frac{41,1}{39,5}$	$\frac{5,1}{5,0}$
Общий вынос азота			$\frac{35,5}{45,0}$	$\frac{54,0}{76,8}$	$\frac{56,0}{93,0}$	$\frac{74,0}{105,0}$	$\frac{53,0}{47,0}$
<i>В среднем за 2 года</i>							
0—20	15	13	$\frac{10,0}{4,9}$	$\frac{11,7}{10,0}$	$\frac{11,9}{11,2}$	$\frac{12,1}{11,4}$	$\frac{0,8}{0,8}$
20—40	14	13	$\frac{8,9}{7,8}$	$\frac{11,4}{10,5}$	$\frac{12,4}{11,3}$	$\frac{12,2}{11,8}$	$\frac{0,8}{0,8}$
40—60	15	16	$\frac{7,3}{6,2}$	$\frac{10,1}{9,3}$	$\frac{11,4}{10,2}$	$\frac{12,1}{10,8}$	$\frac{1,1}{1,2}$

Слой почвы, см	Содержание N <sub>мин</sub> в почве перед посевом, кг/га		Кушение	Трубно- вание	Коло- шение	Уборка	
	N—NH <sub>4</sub>	N—NO <sub>3</sub>				ячмень	клевер
60—80	14	10	2,7	4,6	5,7	6,5	1,1
			1,2	4,1	5,8	6,3	1,1
80—100	11	8	—	1,8	2,7	3,1	0,6
			—	1,8	2,5	3,3	0,6
0—100	69	60	28,9	39,6	44,0	46,0	4,4
			20,0	35,7	41,1	43,6	4,5
Общий вынос азота			36,7	60,2	74,0	82,2	51,0
			47,0	84,9	108,2	120,5	44,0

корнеобитаемого слоя — 0—80 (100 см), можно заключить, что доля вновь минерализованного азота почвы в общем выносе его растениями в течение вегетации непрерывно возрастала. Причем на хорошо окультуренной почве (1989—1991 гг.), а также при внесении N<sub>аа</sub> (фон NPK) интенсивность минерализации и уровень использования растениями азота органического вещества почвы были в 2 раза выше, чем на среднеокультуренной почве и по фону РК (табл. 2 и 3). Так, на среднеокультуренной почве (1984—1985 гг.) в фазу кушения растения ячменя по фону РК использовали 4 кг вновь минерализованного азота в расчете на 1 га, на хорошо окультуренной — 8 кг, в фазу трубкавания — соответственно 8 и 21 и во время уборки — 26 и 43 кг (табл. 2—4).

Исходя из экспериментально установленных коэффициентов использования минерального азота почвы (рис. 1—4) и данных о содержании в растениях вновь минерализованного азота (табл. 2, 3), нами рассчитано общее количество минерализованного в течение вегетации азота и гумуса в средне- и хорошо окультуренной почве (табл. 4).

В целом в годы проведения опытов доля минерального азота перед посевом ячменя в общем выносе его растениями во время уборки на среднеокультуренной почве составляла около 65 %, хорошо окультуренной — 50 %, остальная часть выноса урожаем приходилась на азот почвы, минерализовавшийся после посева.

Таким образом, одним из способов повышения эффективности удобрений и улучшения баланса азота в системе почва — растение является дифференцированное их внесение с учетом содержания и доступности минерального азота почвы.

До настоящего времени в практике почвенной диагностики азотного питания исходили из того, что сельскохозяйственные растения в равной степени используют примерно половину аммонийного и нитратного азота из всего корнеобитаемого слоя почвы. Данное утверждение, по нашему мнению, отчасти справедливо лишь по отношению к минеральному азоту, содержащемуся в пахотном и ближайшем подпахотном слоях, где коэффициенты его использования ячменем составляли 40—45 % и кар-



Таблица 4

Общий вынос азота растениями ячменя и использование ими минерализованного азота среднекультуренной (числитель) и хорошо окультуренной (знаменатель) почвы в течение вегетации

Показатель	Кущение	Трубкование	Колошение	Уборка
Общий вынос азота ячменем, кг/га	$\frac{31}{36}$	$\frac{54}{59}$	$\frac{68}{76}$	$\frac{79}{88}$
В т. ч. минерализованного:				
до посева	$\frac{27}{28}$	$\frac{46}{38}$	$\frac{51}{43}$	$\frac{53}{45}$
после посева	$\frac{4}{8}$	$\frac{8}{21}$	$\frac{17}{33}$	$\frac{26}{43}$
Коэффициент использования, %	$\frac{30}{13}$	$\frac{40}{20}$	$\frac{40}{42}$	$\frac{40}{65}$
Минерализованный азот почвы, кг/га	$\frac{26}{0,26}$	$\frac{52}{0,40}$	$\frac{82}{0,84}$	$\frac{106}{1,30}$
Минерализованный гумус, т/га	$\frac{0,52}{0,52}$	$\frac{1,04}{1,04}$	$\frac{1,54}{1,54}$	$\frac{2,10}{2,10}$

тофелем — 33—42 %. Коэффициенты использования минерального азота из слоя 0—80 см были на 10—20 % ниже принятых в практике и варьировали в зависимости от форм азота в пределах 30—40 % (рис. 1—6). В связи с этим при диагностике азотного питания и разработке систем удобрения дерново-подзолистых почв необходимо учитывать формы минерального азота почвы и соответствующие глубине взятия образцов коэффициенты использования его растениями.

### Выводы

1. Внесение на различную глубину меченных  $^{15}\text{N}$  сульфата аммония и кальциевой селитры в качестве метки разных форм минерального азота, содержащегося в почве перед посевом, позволяет определить динамику использования их растениями из отдельных слоев почвы и установить уровень потребления азота, минерализованного в течение вегетации.

2. Коэффициенты использования

ячменем меченого перед посевом аммонийного и нитратного азота почвы пахотного слоя (0—20 см) были близкими и в среднем за 5 лет по фону РК составили 44 %, NPK — 41 %. Применение азотных удобрений существенно снижало использование азота почвы в 1-й половине вегетации растений.

3. Коэффициенты использования аммонийного азота из подпахотных горизонтов были значительно ниже, чем нитратного: из слоя 20—40 см — соответственно 40 и 48 %, 40—60 см — 28 и 43, 60—80 см — 13 и 35, а из слоя 80—100 см — 11 и 24 % исходного их содержания перед посевом в каждом слое почвы.

Содержавшийся перед посевом минеральный азот использовался растениями из различных слоев почвы неравномерно. Из пахотного слоя минеральный азот потреблялся до фазы трубкования, из подпахотного слоя усвоение его продолжалось до колошения, а минеральный азот более глубоких слоев почвы поступал в растения до конца вегетации.

4. Клевер 1-го года жизни, воз-

дельяемый под покровом ячменя, не оказывал заметного влияния на потребление покровной культурой минерального азота, содержащегося в почве перед посевом. Коэффициенты использования клевером меченого аммонийного азота из различных слоев почвы варьировали в пределах 2,4—6,6 %, нитратного — 1,5—3,0 %.

5. Коэффициенты использования картофеля меченого перед посадкой аммонийного азота из пахотного (0—20 см) и подпахотного (20—40 см) слоев почвы составляли в среднем 35 %, нитратного — 42 %. На долю минерального азота, содержавшегося в этих слоях почвы, приходилось около 2/3 общего выноса его картофелем и примерно 1/3 выноса с урожаем составлял азот из более глубоких (40—100 см) горизонтов почвы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акулов П. Г., Доманов Н. М., Афанасьев Р. М. Оптимизация азотного питания озимой пшеницы.— Химизация сельск. хоз-ва, 1989, вып. 4, с. 41—47.— 2. Гамзиков Г. П. Азот в земледелии Западной Сибири.— М.: Наука, 1981.— 3. Кидин В. В., Замараев А. Г. Использование ячменем минерального азота из

различных слоев дерново-подзолистой почвы.— Изв. ТСХА, 1989, вып. 5, с. 78—82.— 4. Кореньков Д. А., Руделев Е. В., Кузнецов А. В. Использование растениями минерального азота удобрений, внесенных на разную глубину.— Почвоведение, 1986, № 2, с. 63—68.— 5. Корчагина Ю. И., Шафран С. А. Азотный режим почв Нечерноземья.— Химизация сельск. хоз-ва. 1988, № 4, с. 28—30.— 6. Кудеяров В. Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений.— М.: Наука, 1989.— 7. Мальцев В. П. Формирование урожая яровой пшеницы и использование азота удобрений в зависимости от глубины их размещения.— Агрохимия, 1988, № 8, с. 3—7.— 8. Пискунов А. С., Кожухова М. М. К вопросу о потребности в азоте зерновых культур.— В кн.: Повышение эффективности химизации в интенсивном земледелии.— Пермь: Пермский СХИ, 1988, с. 6—8.— 9. Прянишников Д. Н. Аммиак, нитраты и нитриты как источники азота для высших растений.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов.— М.: ОГИЗ — Сельхозгиз, 1926, т. 13, с. 18.— 10. Черепанов Г. Г. Определение потребности в азотных удобрениях на основе агрохимических методов.— М.: ВНИИТЭИСХ, 1985.— 11. Dressel I., Jung I.— J. Agron, Crop., Sci., 1987, vol. 159, N 3, p. 149—156.— 12. Matzel W., Teske W., Lippold H.— Arch. Acker und Pflanzenbau und Bodenk, 1984, Bd. 28, N 7, S. 393—401.

Статья поступила 28 апреля 1992 г.

#### SUMMARY

In experiments with barley, clover and potatoes, consumption by plants of ammonium and nitrate nitrogen from different soil layers was studied. Application of  $^{15}\text{N}$  allowed to determine the dynamics of using mineralized nitrogen from certain soil layers by plants before sowing and during vegetation, to estimate the intensiveness of organic matter mineralization in mid- and well-cultivated soil. The results of these investigations can be used in diagnosing nitrogenous nutrition and in developing the system of fertilization for grain crops and potatoes.