

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ АЗОТА В АГРОЦЕНОЗАХ ПШЕНИЦЫ И ГОРОХА РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

A.N. Kadychegova, V.A. Kadychegov

THE INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON METABOLIC PROCESSES OF NITROGEN IN WHEAT AND PEA AGROCOENOSIS OF THE REPUBLIC OF KHAKASSIA

Кадычегова А.Н. – канд. с.-х. наук, доц. каф. прикладной информатики, математики и естественнонаучных дисциплин Хакасского технического института – филиала Сибирского федерального университета, г. Абакан.

E-mail: azot-kad@yandex.ru

Кадычegov В.А. – канд. с.-х. наук, доц. каф. фундаментальной подготовки Саяно-Шушенского филиала Сибирского федерального университета, Республика Хакасия, г. Саяногорск.

E-mail: azot-kad@yandex.ru

Kadychegova A.N. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Applied Informatics, Mathematics and Natural Science Disciplines, Khakass Technical Institute – Branch of Siberian Federal University, Abakan.

E-mail: azot-kad@yandex.ru

Kadychegov V.A. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Fundamental Training, Sayano-Shushenskaya Branch, Siberian Federal University, Republic of Khakassia, Sayanogorsk.

E-mail: azot-kad@yandex.ru

В статье представлены результаты опыта по изучению обменных процессов азота в агроценозах гороха и пшеницы под влиянием минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) на агрочерноземе текстурно-карбонатном сухостепной зоны Республики Хакасия. Агрохимические показатели почвы: $pH_{водн}$ – 8,2; гумус (по Тюрину) – 2,93 %; содержание подвижных (по Мачигину) P_2O_5 – 2,0; K_2O – 21,0 мг/100 г почвы соответственно. Надземную биомассу определяли методом сплошного учета, запасы подземного растительного вещества – методом отмычки из монолитных образцов. Растительные пробы анализировали на содержание азота методом БИК-спектроскопии. Почвенные образцы анализировались на содержание нитратного азота потенциометрическим методом, легкогидролизуемого и трудногидролизуемого азота – по Корнфильду (1н. и 6 н. NaOH). Оценку переходов азота из фонда в фонд вели в соответствии с графической схемой обменных процессов и системой балансовых уравнений, предложенных В.В. Чупровой. Установлено, что процессы высвобождения и закрепления азота протекают в агроценозах круглогодично. Потребление азота в агроценозе пшеницы при внесении минеральных удобрений увеличивается на треть, при-

чем повышается и вынос азота с урожаем. В агроценозе гороха потребление и вынос азота с урожаем в вариантах $N_0P_0K_0$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ отличаются незначительно. В вариантах $N_0P_0K_0$ преобладает процесс перехода легкогидролизуемого азота в минеральный. Максимальная интенсивность потока отмечена в агроценозах пшеницы и гороха $N_0P_0K_0$, минимальная – в агроценозе пшеницы $N_{60}P_{60}K_{60}$. При внесении удобрений преобладает процесс $N_m \rightarrow N_{pl}/g$. Максимальная интенсивность потока отмечена в агроценозе гороха $N_{60}P_{60}K_{60}$, минимальная – в агроценозе гороха $N_0P_0K_0$.

Ключевые слова: азот, обменные процессы, агроценоз, агрочернозем текстурно-карбонатный, пшеница, горох, Республика Хакасия.

The results of the experiment on studying the exchange processes of nitrogen metabolic processes in pea and wheat agrocoenosis under the influence of mineral fertilizers ($N_{60}P_{60}K_{60}$) on textural and calcareous agrochernozem of dry steppe zone of the Republic of Khakassia are presented in the study. Agrochemical indicators of the soil were pH_{water} – 8,2; humus (by Tyurin) – 2,93 %; the content of mobile (by Machigin) P_2O_5 – 2,0; K_2O – 21,0 mg/100 g of soil, respectively. Aboveground bio-

mass was determined by the method of universal enumeration, the reserves of underground plant matter – by the method of washing out of monolithic samples. Plant samples were analyzed for nitrogen content by the method of NIR spectroscopy. Soil samples were analyzed for content of nitrate nitrogen by potentiometric method, easily hydrolyzable nitrogen and hardly hydrolyzable nitrogen by Cornfield (1n. and 6 n. NaOH). The assessment of nitrogen conversion from bank to bank was conducted in accordance with graphic scheme of metabolic processes and the system of balance equations proposed by V.V. Chuprova.. It was established that the processes of release and fixation of nitrogen occurred in agrocoenosis all year round. Consumption of nitrogen in wheat agrocoenosis at introduction of mineral fertilizers increased by one third, and also carrying out of nitrogen with a crop increased. In pea agrocoenosis nitrogen intake and nitrogen yield with the harvest did not differ significantly in variants $N_0P_0K_0$ and $N_{60}P_{60}K_{60}$. In variants $N_0P_0K_0$ the process of easily hydrolyzable nitrogen conversion into the mineral nitrogen dominated. The maximum rate of flow was noticed in the wheat and pea agrocoenosis $N_0P_0K_0$, the minimum – in the wheat agrocoenosis $N_{60}P_{60}K_{60}$. In case of fertilization the process $N_m \rightarrow Nl/g$ dominated. The maximum rate of the flow was noticed in pea agrocoenosis $N_{60}P_{60}K_{60}$, the minimum – in pea agrocoenosis $N_0P_0K_0$.

Keywords: nitrogen, metabolic processes, agrocoenosis, textural and calcareous agrochernozem, wheat, pea, the Republic of Khakassia.

Введение. Азот – важнейший элемент питания растений. Накопление его – характерная черта почвообразовательного процесса, обусловленная биологическим круговоротом веществ в системе почва–растение. Направленность баланса содержания элемента в почве определяется интенсивностью процессов трансформации азотсодержащих соединений в системе почва–удобрение–растение–атмосфера. Основные приходные и расходные статьи баланса азота зависят от культуры в севообороте и использования удобрений [1–3].

Сельскохозяйственные культуры, выращиваемые в сухостепной зоне Республики Хакасия, зачастую нуждаются в азоте, что обуслов-

лено низким содержанием общего азота и его минеральных и легкогидролизуемых форм. Дефицит азота обусловлен замедлением процессов минерализации органического вещества в связи с недостатком влаги. Возможности мобилизации растениями азота почвенных ресурсов сдерживаются жесткими климатическими условиями региона исследований. Важнейшими источниками поступления азота в почву являются корневые и пожнивные остатки, минеральные и органические удобрения, соединения азота, поступившие в почву с атмосферными осадками и семенами, а также азот, связанный свободноживущими и симбиотическими азотфиксаторами [4, 5]. Усиление азотмобилизующей способности сельскохозяйственных культур может осуществляться различными путями, например, в результате симбиотической азотфиксации и (или) внесения удобрений. Для успешного решения задач сохранения почвенного плодородия и увеличения урожайности полевых культур в данном регионе необходимы знания об особенностях потоков азотного цикла и специфике баланса элемента в различных агроценозах. Несмотря на имеющиеся научные сведения о почвах региона, многие вопросы трансформации почвенного азота до сих пор остаются малоизученными. Это и определило цель наших исследований.

Цель исследования. Изучить влияние вида полевой культуры и агрофона на основные потоки цикла азота в агроценозе текстурно-карбонатном в условиях сухостепной зоны Республики Хакасия.

Материалы и методы исследования. Исследование по изучению обменных процессов азота в агроценозах гороха (сорт Радомир) и пшеницы (сорт Саратовская 29) под влиянием минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) проводилось на агроценозе текстурно-карбонатном сухостепной зоны Республики Хакасия. Минеральное удобрение (азофоска $N_{16}P_{16}K_{16}$) вносили перед посевом. Использование комплексного минерального удобрения обусловлено низким исходным содержанием подвижного фосфора и калия в исследуемых почвах. Повторность – четырехкратная, расположение вариантов рядное. Посевная площадь делянки – 2,1 м². Агрохимические показатели почвы: рН_{водн} – 8,2; гумус (по Тюрину) – 2,93 %; содержание подвиж-

ных (по Мачигину) P_2O_5 – 2,0; K_2O – 21,0 мг/100 г почвы соответственно. Надземную биомассу определяли в конце вегетационного сезона методом сплошного учета, запасы подземного растительного вещества – методом отмывки из монолитных образцов на глубину 0-20, 20-40 см. Площадь монолитной рамки – 0,2 м². Растительные пробы анализировали на содержание азота методом БИК-спектроскопии [6]. Почвенные образцы отбирались со всех вариантов опыта: весной перед посевом, осенью после уборки урожая. Отбор почвенных проб проводили почвенным буром в пятикратной повторности методом конверта на глубину 0-20 и 20-40 см. Почвенные образцы анализировались на содержание нитратного азота потенциометрическим методом, легкогидролизуемого и трудногидролизуемого азота – по Корнфильду (1н. и 6 н. NaOH). Оценку переходов азота из фонда в фонд проводили в соответствии с графической схемой обменных процессов и системой балансовых уравнений, предложенных В.В. Чупровой [7].

У бобовых культур азотный фонд почвы существенно пополняет азот, связанный за счет симбиотической азотфиксации. Доля симбиотически фиксированного азота, по литературным данным, составляет в среднем 60 % от общего выноса надземной массой гороха [8]. В наших расчетах, по сведениям В.М. Назарюк, газообразные потери из удобрений приняты за 20 % от внесенного количества азота удобрений, что составляет 12 кг/га [8, 9]. Среднегодовое поступление азота с осадками, учитывая засушливость климата зоны проведения исследований, принято за 4 кг/га в год [9].

Результаты исследования и их обсуждение. В результате проведенных исследований установлено, что потребление азота растениями пшеницы в варианте $N_0P_0K_0$ составило 36,5 кг/га в год (рис. 1). Существенная часть потребленного азота (23 кг/га) отчуждается с урожаем. Вынос азота продукцией компенсировался поступлением азота, освобождающегося при разложении растительных остатков на 38 %, с осадками на 11 %, остальное (51 %) за счет запасов, сосредоточенных в почвенных легкогидролизуемых органических соединениях.

Внесение минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) увеличивает потребление азота рас-

тениями пшеницы на 48 % (54 кг/га в год) и отчуждение с урожаем на 39 % (32 кг/га в год). Вынос азота в данном варианте опыта компенсируется в значительной степени за счет минеральных удобрений (89 %); при освобождении азота в процессах минерализации растительных остатков (39 %) и осадков (7 %).

В агроценозах гороха в вариантах $N_0P_0K_0$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ величины потребления растениями азота – 122 и 128 кг/га в год соответственно (рис. 2). Отчуждение с урожаем составляет одинаковую величину – 77 кг/га в год. Следовательно, относительное отчуждение азота из почвы горохом без удобрений незначительно выше, что также отмечается в агроценозах пшеницы. Поступление азота в варианте без удобрений со всеми источниками компенсирует затраты потребленного элемента на 82 %, из них за счет азотфиксации – на 42 %, за счет поступления с растительными остатками – на 37 %, за счет азота осадков – на 3 %. Использование в агроценозе гороха минеральных удобрений обеспечивает полное возмещение затрат на вынос азота с продукцией (120 %). Наибольший вклад в пополнение запасов азота вносит процесс азотфиксации – 40,4 %; с растительными остатками возвращается в почву 39,2 %, с минеральными удобрениями – 37,6 %; с осадками – 2,7 %. Запасы минерального азота в почве агроценозов пшеницы и гороха существенно варьируют от весны к осени и от осени к весне. Фонд минерального азота израсходован не полностью, так как он пополнялся в результате постоянно протекающих в почве процессов минерализации. Ближайшим резервом для его пополнения являются фонды легкогидролизуемого почвенного азота и азота, высвобождающегося в процессах разложения растительных остатков. В варианте пшеница без удобрений из растительных остатков поступило 13,5 кг/га азота в год. Переход легкогидролизуемого азота в минеральный составил 26,3 кг/га в год; обратный переход минерального в легкогидролизуемый – 7,2 кг/га в год. Следовательно, восстановление запасов азота в минеральном фонде за счет минерализации легкогидролизуемых почвенных соединений составляет 19,1 кг/га в год. Это в 1,4 раза больше, чем из растительных остатков.

За период исследования запасы легкогидролизуемого азота уменьшились более чем на 20 %, что обусловлено его значительным содержанием в почве вследствие внесения органических удобрений под предыдущие культуры севооборота и расходом на два парал-

лельно идущих процесса: высвобождение нитратного азота и закрепление в трудногидролизуемом фонде. Интенсивность закрепления азота в трудногидролизуемом фонде достигает в среднем 58,2 кг/га в год.

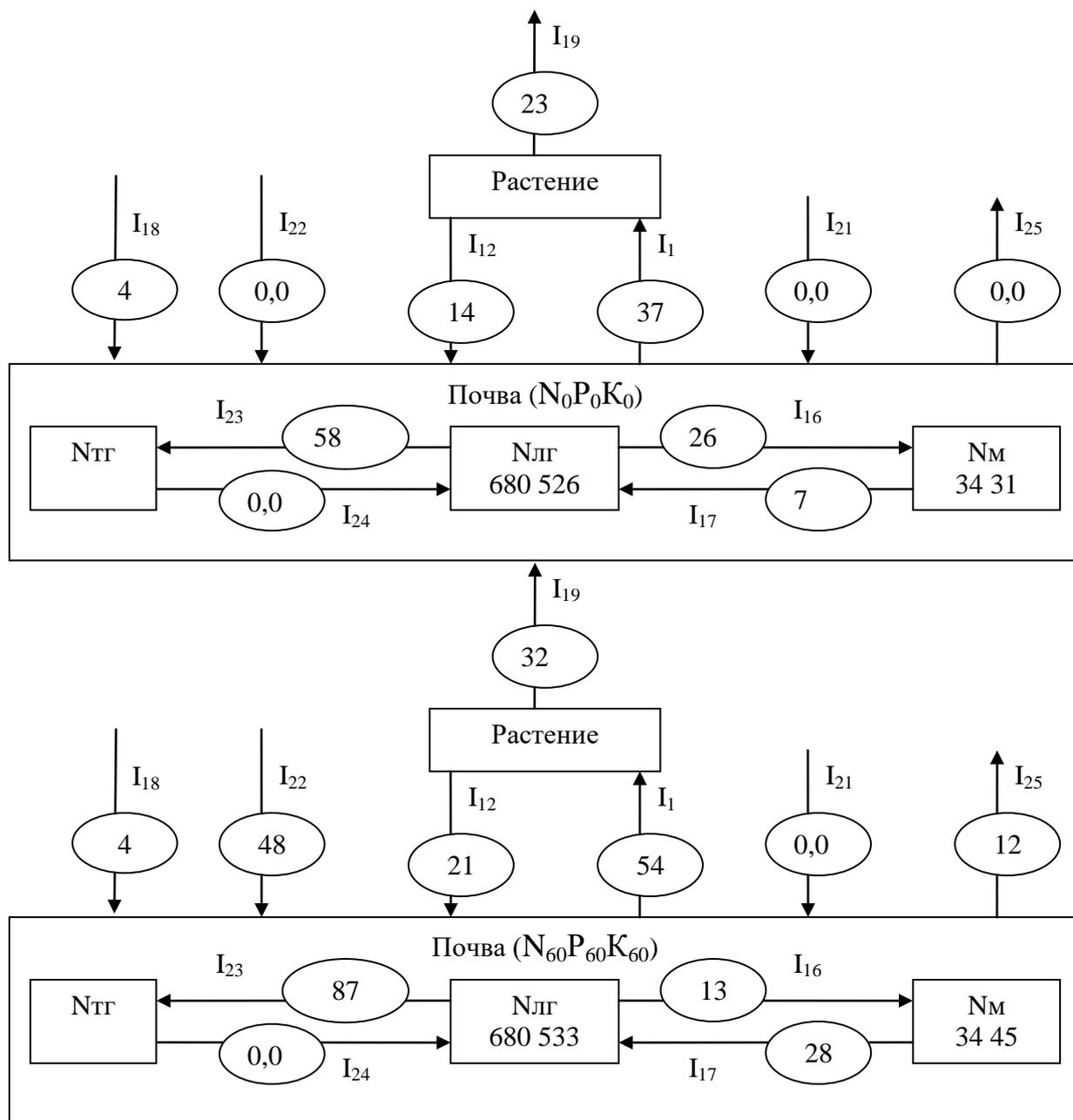


Рис. 1. Интенсивность потоков азота в агроценозах пшеницы, кг/га-год. Здесь и далее: I_1 – поглощение растениями; I_{12} – поступление с растительными остатками; I_{16} – переход легкогидролизуемого органического вещества (Нлг) в минеральные (Nм); I_{17} – переход Nм в Нлг; I_{18} – поступление с осадками; I_{19} – вынос с урожаем; I_{21} – симбиотическая азотфиксация; I_{22} – поступление с удобрениями; I_{23} – переход Нлг в трудногидролизуемый (Nтг); I_{24} – переход Nтг в Нлг; I_{25} – газообразные потери из удобрений; цифры в прямоугольниках – запас азота в фонде на начало и конец периода, кг/га

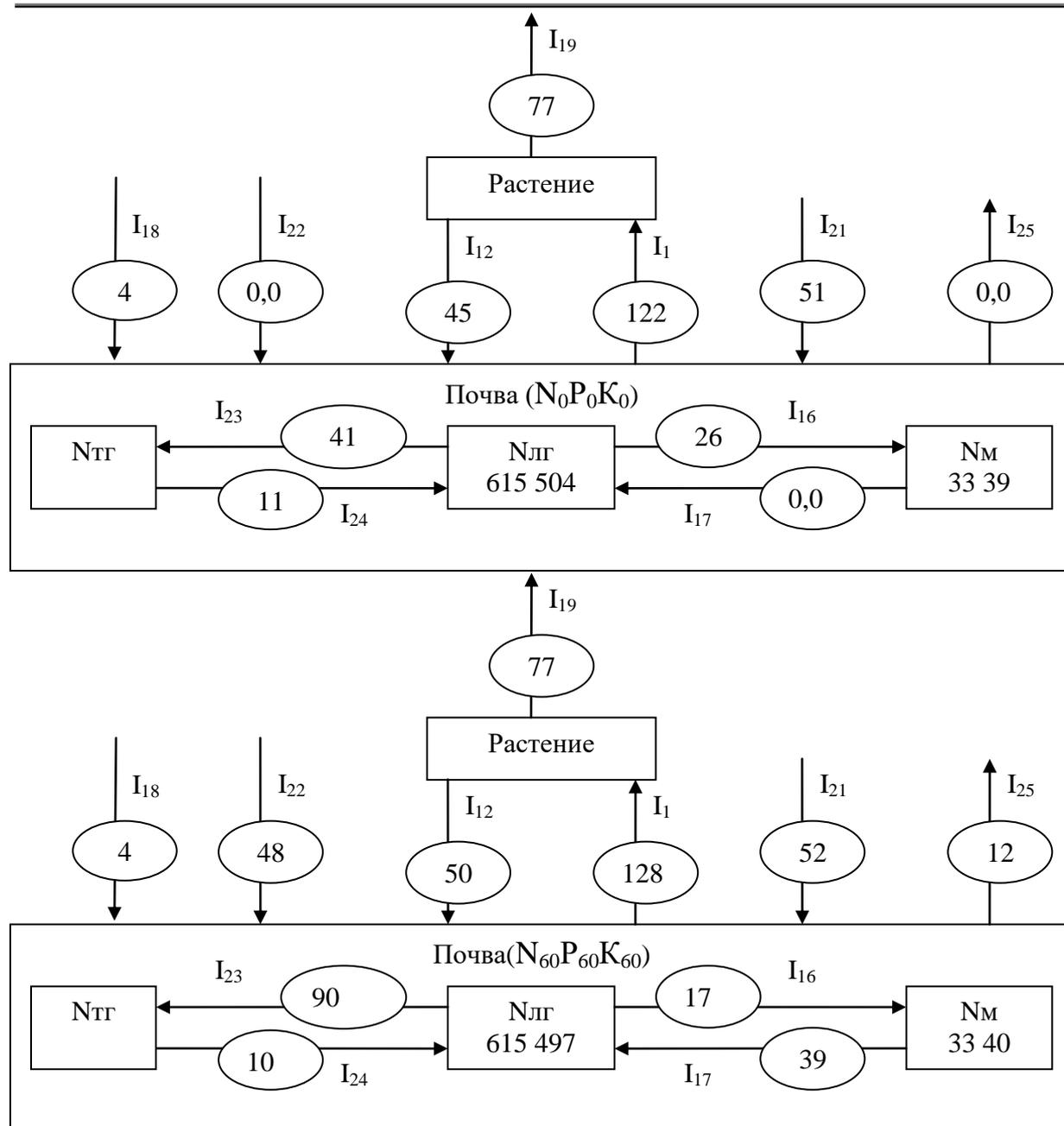


Рис. 2 Интенсивность потоков азота в агроценозах гороха, кг/га·год

Запасы минерального азота при внесении удобрений также существенно варьируют в агроценозе пшеницы в течение года, но при этом в отличие от варианта без удобрений увеличиваются к концу периода более чем на 30 %. В связи с этим в варианте опыта пшеница N₆₀P₆₀K₆₀, в отличие от варианта без удобрений преобладают процессы закрепления минерального азота в фонде легкогидролизуемом. Интенсивность этого процесса составляет 26,6 кг/га в год, обратный переход легкогидролизуемого в минеральный – 13,2 кг/га. Запасы

легкогидролизуемого азота в агроценозе пшеницы N₆₀P₆₀K₆₀ также снижаются, но в меньшей степени. Поток Nлг→Nтг так же, как и в варианте без удобрений, преобладает над обратным процессом. Интенсивность закрепления азота в трудногидролизуемом фонде достигает в среднем 86,9 кг/га в год.

Процессы перехода азота из фонда в фонд в агроценозах гороха имеют схожий характер с агроценозами пшеницы, но другие количественные характеристики. В варианте без удобрений протекают преимущественно процессы минера-

лизации. Интенсивность их составляет 26 кг/га в год, обратный переход отсутствует. На удобренных вариантах, наоборот, доминируют процессы закрепления минерального азота в легкогидролизуемой фракции – 39,3 кг/га в год, обратный переход легкогидролизуемого в минеральный – 17,2 кг/га в год. Преимущество потока азот легкогидролизуемый → азот трудногидролизуемый над обратным переходом более выражено при использовании удобрений. Интенсивность их составляет в варианте без удобрений – 40,8 и 11,2 кг/га в год; в агроценозе гороха $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 90,4 и 9,6 кг/га в год соответственно.

Выводы. Потребление и вынос азота с урожаем в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ по сравнению с вариантом $N_0P_0K_0$ в агроценозах пшеницы увеличивается, в агроценозах гороха не изменяется. Вынос азота продукцией компенсировался преимущественно поступлением азота, освобождающегося при разложении растительных остатков (37–39 %), за счет азотфиксации (40–42 %), минеральных удобрений (38 % горох; 89 % пшеница), запасов, сосредоточенных в почвенных органических компонентах (51 % пшеница $N_0P_0K_0$). В вариантах $N_0P_0K_0$ преобладает процесс освобождения азота из легкогидролизуемого азота и его переход в минеральный фонд над процессом закрепления азота в легкогидролизуемых органических соединениях. Причем в период *осень – весна* протекают только процессы минерализации легкогидролизуемого азота. Интенсивность этого процесса в агроценозах пшеницы и гороха мало отличается. Максимальная интенсивность потока отмечена в агроценозах пшеницы и гороха $N_0P_0K_0$, минимальная – в агроценозе пшеницы $N_{60}P_{60}K_{60}$. При внесении удобрений преобладает процесс $N_m \rightarrow N_{л/г}$. Самая высокая интенсивность потока отмечена в агроценозе гороха $N_{60}P_{60}K_{60}$, минимальная – в агроценозе гороха $N_0P_0K_0$.

В агроценозах пшеницы без внесения минеральных удобрений баланс азота отрицательный и составляет -2 кг/га. В варианте горох $N_0P_0K_0$ баланс азота положительный – 8 кг/га, что обусловлено значительным вкладом симбиотически фиксированного азота. Применение минеральных удобрений сопровождается изменением баланса азота в положительную сторону. Наиболее высокое значение положительно-

го баланса азота зафиксировано в агроценозе пшеницы при применении минеральных удобрений (12 кг/га). В агроценозе гороха использование минеральных удобрений увеличивает положительный баланс азота по сравнению с неудобренным вариантом лишь на 14 % (8 кг/га), свидетельствуя о низкой эффективности применения минерального азота в дозе 60 кг/га под горох.

Литература

1. Лобков В.Т., Бобкова Ю.А. Влияние органических удобрений и возделываемых культур на азотный режим темно-серой лесной почвы орошении // *Агрохимия*. – 2015. – № 10. – С. 3–9.
2. Прокина Л.Н., Моисеев А.А. Вынос элементов питания урожаем многолетних трав в зависимости от средств химизации в условиях Нечерноземной зоны // *Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 гг.: мат-лы всерос. совещания науч. учреждений-участников географической сети опытов с удобрениями*. – М., 2018. – С. 235–239.
3. Волошин Е.И., Рудой Н.Г. Особенности накопления растительных остатков полевых культур в Средней Сибири // *Вестник КрасГАУ*. – 2019. – № 2. – С. 3–10.
4. Продуктивность и азотфиксирующая способность современных сортов зернобобовых культур в одновидовых и смешанных посевах в зависимости от элементов технологии и вклад биологического азота в плодородие дерново-подзолистой почвы / В.В. Конончук, В.Д. Штырхунов, С.М. Тимошенко [и др.] // *Достижения современной аграрной науки сельскохозяйственному производству: мат-лы науч.-прак. конф. с междунар. участием*. – Калуга, 2017. – С. 265–274.
5. Конончук В.В., Бородуля М.В. Источники азота и диагностика азотного питания озимой пшеницы в полевом севообороте на дерново-подзолистой почве // *Агрохимический вестник*. – 2012. – № 1. – С. 8–11.
6. Борцов В.С. Использование автоматизированной аналитической системы на основе

- отражательной спектроскопии в исследовании агроценозов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. – Красноярск: КрасГАУ, 2002. – 26 с.
7. Чупрова В.В. Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири. – Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 1997. – 166 с.
 8. Гурьев Г.П. К вопросу о симбиотической азотфиксации у гороха в условиях Орловской области // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2012. – № 2. – С. 66–71.
 9. Назарюк В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 257 с.

Literatura

1. Lobkov V.T., Bobkova Ju.A. Vlijanie organicheskikh udobrenij i vzdelyvaemykh kul'tur na azotnyj rezhim temno-seroj lesnoj pochvy oroshenii // Agrohimiya. – 2015. – № 10. – С. 3–9.
2. Prokina L.N., Moiseev A.A. Vynos jelementov pitaniya urozhajem mnogoletnih trav v zavisimosti ot sredstv himizacii v uslovijah Nechernozemnoj zony // Itogi vypolnenija programmy fundamental'nyh nauchnyh issledovanij gosudarstvennyh akademij na 2013–2020 gg.: mat-ly vseros. soveshhanija nauch. uchrezhdenij-uchastnikov geograficheskoj seti opytov s udobrenijami. – М., 2018. – С. 235–239.
3. Voloshin E.I., Rudoj N.G. Osobennosti nakoplenija rastitel'nyh ostatkov polevykh kul'tur v Srednej Sibiri // Vestnik KrasGAU. – 2019. – № 2. – С. 3–10.
4. Produktivnost' i azotfiksirujushhaja sposobnost' sovremennykh sortov zernobobovykh kul'tur v odnovidovykh i smeshannykh posevah v zavisimosti ot jelementov tehnologii i vklad biologicheskogo azota v plodorodie dernovo-podzolistoj pochvy / V.V. Kononchuk, V.D. Shtyrhunov, S.M. Timoshenko [i dr.] // Dostizhenija sovremennoj agrarnoj nauki sel'skohozjajstvennomu proizvodstvu: mat-ly nauch.-prak. konf. s mezhdunar. uchastiem. – Kaluga, 2017. – С. 265–274.
5. Kononchuk V.V., Borodulja M.V. Istochniki azota i diagnostika azotnogo pitaniya ozimoi pshenicy v polevom sevooborote na dernovo-podzolistoj pochve // Agrohimicheskij vestnik. – 2012. – № 1. – С. 8–11.
6. Borcov V.S. Ispol'zovanie avtomatizirovannoj analiticheskoj sistemy na osnove otrazhatel'noj spektroskopii v issledovanii agrocnovozov: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.16. – Красноярск: КрасГАУ, 2002. – 26 с.
7. Чупрова В.В. Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири. – Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 1997. – 166 с.
8. Гурьев Г.П. К вопросу о симбиотической азотфиксации у гороха в условиях Орловской области // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2012. – № 2. – С. 66–71.
9. Назарюк В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 257 с.