

Земледелие и мелиорация

УДК 631.55 + 631.81 : 631.423.3 : 631.8.022.3 + 631.84 : 633.1

DOI: 10.31857/S2500262721060016

ВЫНОС УРОЖАЕМ, БАЛАНС В ПОЧВЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ В СМЕШАННЫХ И ОДНОВИДОВЫХ АГРОЦЕНОЗАХА.А. Завалин¹, академик РАН, М.А. Алёшин², кандидат сельскохозяйственных наук¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 127550, Москва, ул. Прянишникова 31а
E-mail: zavalin.52@mail.ru²Пермский государственный аграрно-технологический университет им. Д.Н. Прянишникова, 614990, Пермь, ул. Петропавловская 23
E-mail: matvei0704@mail.ru

Исследования проводили с целью изучения влияния доз азотного удобрения на урожайность, содержание азота в урожае и эффективность использования элемента яровой пшеницей и посевным горохом в смешанных и одновидовых посевах этих культур. Почва опытного участка дерново-мелкоподзолистая с содержанием гумуса 1,68...1,81 %, высокой обеспеченностью подвижным фосфором и калием. Наибольшая в опыте урожайность зерна (3,07...3,16 т/га) отмечена в смешанных посевах пшеница 75 % от посевной нормы в чистом виде + горох 25 % и пшеница 50 % + горох 50 %, а наибольшая прибавка от внесения N_{30} (+0,23 т/га) и N_{60} (+0,65 т/га) – в агроценозе с преобладанием пшеницы (пшеница 75 % + горох 25 %). Больше всего азота в зерне пшеницы (2,22 %) накапливалось в посеве с преобладанием гороха (пшеница 25 % + горох 75 %) при внесении N_{60} . Содержание азота в зерне гороха составляло 3,24...3,64 %, увеличиваясь с повышением доли бобового компонента в составе высеваемой смеси (25 % → 50 % → 75 %). Потреблённый растениями пшеницы и гороха азот большей частью накапливался в зерне. Азотный индекс для пшеницы составлял 0,77, для гороха – 0,66. Положительный баланс азота в почве (+8,3...+17,8 кг/га) при внесении N_{60} складывался после смешанного (пшеница 25 % + горох 75 %) и одновидового агроценозов гороха. Для достижения уравновешенного баланса этого элемента в смешанных посевах с высокой долей пшеницы (пшеница 50 % + горох 50 % и пшеница 75 % + горох 25 %) необходимо внесение более высоких доз азотного удобрения.

CROP REMOVAL, SOIL BALANCE AND EFFICIENCY OF NITROGEN USE BY GRAIN CROPS IN MIXED AND SINGLE-SPECIES AGROCENOSSESZavalin A.A.¹, Alyoshin M.A.²¹All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 127550, Moskva, ul. Pryanishnikova, 31a
E-mail: zavalin.52@mail.ru²Perm State Agro-Technological University named after D.N. Pryanishnikov, 614990, Perm, ul. Petropavlovskaya, 23
E-mail: matvei0704@mail.ru

The results of a study on the effect of nitrogen fertilizer doses on yield, nitrogen content in the crop and the efficiency of nitrogen use by spring wheat and seed peas in mixed and single-species crops are presented. A higher grain yield of 3.07...3.16 t/ha was obtained in mixed crops of wheat 75% + peas 25% and wheat 50% + peas 50%. The agroecosystems wheat 75% + peas 25% was marked by a built and consistent responsiveness to the levels of nitrogen nutrition (N_{30} +0.23 t/ha, N_{60} +0.65 t/ha). The maximum content of N in wheat grain (2.22%) was in sowing wheat 25% + peas 75% when applying N_{60} . The N content in the pea grain was at the level of 3.24...3.64%. With an increase in the proportion of the bean component in the composition of the sown mixture (25% → 50% → 75%) there was an increase in the concentration of N in the pea grain. Nitrogen consumed by wheat and pea plants was mostly accumulated in the grain. The nitrogen index for wheat was 0.77, for peas – 0.66. A positive nitrogen balance in the soil (+8.3...+17.8 kg/ha) was formed after mixed (wheat 25% + peas 75%) and single-species agroecosystems of peas, when applying nitrogen fertilizer at a dose of 60 kg d.v./ha. To achieve a balanced nitrogen balance in mixed crops of wheat 50% + peas 50% and wheat 75% + peas 25%, a higher dosage of nitrogen fertilizer is necessary.

Ключевые слова: вынос урожая, окупаемость удобрений, баланс в почве, яровая пшеница, посевной горох, смешанные посевы

Key words: crop removal, fertilizer payback, soil balance, spring wheat, seeded peas, mixed crops

Баланс азота в земледелии России за последние 25 лет оценивается как остро дефицитный. Это означает, что значительная доля урожая формируется благодаря минерализованному азоту почвы, который практически не накапливается в свободном состоянии, а быстро ассимилируется растениями и микроорганизмами [1, 2]. В масштабе страны уже наметилась тенденция к снижению содержания питательных веществ в почвах пашни. В первую очередь это касается Нечерноземной зоны, где в отдельных субъектах уменьшение степени

обеспеченности почв питательными веществами снизило потенциально возможную урожайность зерновых культур на 0,51...0,73 т/га.

Оценка состояния баланса элементов питания в системе удобрение – почва – растение служит важной характеристикой эффективности использования минеральных и органических удобрений. Изучение баланса элементов питания в почве позволяет систематически контролировать и направленно управлять ее агрохимическими свойствами, повышать уровень плодородия

[3]. Регулирование баланса азота и, следовательно, его биологического круговорота путем оптимизации доз и соотношений питательных веществ, вносимых с удобрениями, способствует увеличению урожайности, улучшению качества основной продукции, повышению доли хозяйственно-ценной части урожая в биологической массе [4], сохранению и увеличению плодородия почвы [5].

Накопленный в почве симбиотически связанный биологический азот после одновидовых и смешанных ценозов бобовых культур положительно отражается на балансе азота в севообороте в целом. Он служит дополнительным источником азотного питания растений, способствует повышению урожайности и белковости производимой растениеводческой продукции, используется другими культурами севооборота [6]. В связи с изложенным, в нашей стране необходимо резкое расширение посевов и увеличение урожайности бобовых, их выращивание в одновидовых посевах или травосмесях с преобладанием бобового компонента (50...75 %) [7].

Выстраивание аналогичной стратегии отмечается и за рубежом с целью разработки более эффективной, менее загрязняющей формами азота и безопасной европейской продовольственной системы. Такой подход к возделыванию бобовых культур для восстановления плодородия почвы и производства кормов, позволяет уменьшить зависимость от импорта удобрений и кормов [8].

Для успешной реализации этого направления необходимо совершенствование существующей системы применения удобрений. По утверждению некоторых авторов [9], используемые приемы должны быть с одной стороны максимально эффективными для формирования урожая и накопления белка, с другой – не оказывать отрицательного влияния на способность растений фиксировать молекулярный азот симбиотическим путем. Важнейшим аспектом при этом выступает сохранение уравновешенного баланса элементов питания в конкретных почвенно-климатических условиях.

Цель исследований – установить вынос урожаем и эффективность использования азота в смешанных и одновидовых агроценозах пшеницы и гороха при формировании дефицитного баланса в дерново-подзолистой почве Предуралья.

Методика. Работу проводили на опытном поле Пермского ГАТУ в 2012–2014 гг. на дерново-мелкоподзолистой среднесуглинистой почве со следующей характеристикой пахотного слоя: pH_{KCl} – 5,6...6,4 ед.; содержание гумуса (по Тюрину) – 1,68...1,81 %; подвижных форм P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) – соответственно 242...401 и 224...340 мг/кг.

Закладку полевого опыта проводили по следующей схеме:

состав агроценоза (фактор А) – пшеница 100 %, пшеница 75 % от посевной нормы в чистом виде + горох 25 %, пшеница 50 % + горох 50 %, пшеница 25 % + горох 75 %, горох 100 %;

доза азота (фактор В) – N_0 , N_{30} , N_{60} .

Соотношения компонентов в составе смеси устанавливали в соответствии с посевной нормой в одновидовом посеве злаковой культуры – 7 млн шт./га, бобовой – 1,4 млн шт./га. Азотное удобрение (N_{m2} , 46 % д.в.), вносили под предпосевную культивацию. Расположение вариантов по делянкам систематическое, повторность 4-кратная. Учётная площадь делянок при уборке на зерно составляла 109 м². Предшественник

озимая рожь. Объекты исследований: пшеница яровая сорт Иргина, горох посевной сорт Альбумен, имеющие близкие по продолжительности вегетационные периоды. Посев проводили сеялкой СЗ-3,6 в первой декаде мая, учёт урожая зерна – прямым комбайнированием по достижению полной спелости зерна.

Содержание азота в зерне и соломе определяли по ГОСТ 13496.4-93. Расчёт баланса азота проводили на основании [10] с использованием нормативных и справочных данных ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. Данные по урожайности и содержанию азота в хозяйственной части урожая подвергнуты статистическому анализу по методике Б.А. Доспехова.

Результаты и обсуждение. Во все годы исследований смешанные посевы отличались более устойчивым уровнем семенной продуктивности. Варьирование урожайности составляло в среднем 17...24 %. Последовательное увеличение доли пшеницы в составе смеси с 25 % до 50 % и 75 % сопровождалось повышением выхода её зерна в общем урожае в 1,7...1,8 раза. Для гороха повышение урожая зерна в 2,2 раза отмечено только при увеличении его доли в составе смеси с 25 % до 50 % (табл. 1).

Наибольшая в опыте урожайность зерна (3,07...3,16 т/га) была сформирована в смешанных посевах пшеница 75 % + горох 25 % и пшеница 50 % + горох 50 %. Выстроенной и последовательной отзывчивостью на применение азотного удобрения в дозах N_{30} (+0,23 т/га) и N_{60} (+0,65 т/га) характеризовался агроценоз пшеница 75 % + горох 25 %, благодаря доминированию яровой пшеницы в составе посева и снижению напряжённости в рамках конкурентного взаимодействия между компонентами. Смешанный посев пшеница 50 % + горох 50 % превосходил по урожайности зерна одновидовые агроценозы пшеницы в 2013–2014 гг., гороха – во все годы проведения исследований. Растения пшеницы, высеянные половинной нормой, в полном объёме справляются с ролью поддерживающего компонента в составе смешанного посева. Создаются благоприятные условия для формирования урожая гороха и последующей механизированной уборки.

Высокой отзывчивостью на внесение N-удобрения отличались одновидовые агроценозы пшеницы. Прибавка урожайности относительно N_0 составляла 0,36 т/

Табл. 1. Урожайность зерна пшеницы и гороха в составе смешанных и одновидовых посевов (среднее за 2012–2014 гг.), т/га

| Состав агроценоза (фактор А) | Доза азота (фактор В) | | | | | | | |
|---|-----------------------|----------|----------|--------------|-------|----------|----------|--------------|
| | пшеница | | | среднее по А | горох | | | среднее по А |
| | N_0 | N_{30} | N_{60} | | N_0 | N_{30} | N_{60} | |
| Пшеница 100 % | 2,42 | 2,78 | 3,02 | 2,74 | - | - | - | - |
| Пшеница 75 % + горох 25 % | 1,99 | 2,21 | 2,56 | 2,25 | 0,78 | 0,79 | 0,87 | 0,82 |
| Пшеница 50 % + горох 50 % | 1,28 | 1,34 | 1,43 | 1,35 | 1,72 | 1,87 | 1,84 | 1,81 |
| Пшеница 25 % + горох 75 % | 0,76 | 0,82 | 0,72 | 0,76 | 1,89 | 1,90 | 1,59 | 1,79 |
| Горох 100 % | - | - | - | - | 2,39 | 2,34 | 1,99 | 2,24 |
| Среднее по В | 1,61 | 1,78 | 1,93 | | 1,70 | 1,73 | 1,57 | |
| НСР ₀₅ гл. эфф. | | 0,09 | | 0,68 | | 0,12 | | 0,24 |
| НСР ₀₅ для частных различий по фактору | А | | 1,18 | | | 0,42 | | |
| | В | | 0,17 | | | 0,24 | | |

га (N_{30}) и 0,60 т/га (N_{60}). Растения гороха в монопосеве не менее интенсивно, чем пшеница в одновидовом посеве, использовали азот из почвы и удобрения. Отмечено значительное затягивание межфазных периодов (до 10...12 дней), избыточный рост вегетативной массы, неравномерность созревания бобов на растениях, сильное (порою до полного) полегание посевов, наличие большого числа зелёных горошин в составе зернового вороха. Снижение урожайности гороха при внесении N-удобрения объясняют [11] уменьшением нодуляции и симбиотической активности азотфиксирующих микроорганизмов, инфицирующих корневую систему гороха на начальных этапах вегетации. Выраженное ингибирующее действие азотного удобрения на развитие корневого ризобияльного аппарата гороха отчасти связано с отсутствием интенсивного потребления этого элемента пшеницей, которое характерно для смешанного посева. Учитывая обозначенные параметры, морфо-биологические особенности роста и специфику архитектоники гороха, возникает чёткое понимание необходимости его совместного возделывания на зерно в агроценозах с поддерживающими культурами.

Возделывание пшеницы и гороха в смешанных агроценозах для получения зерна, отличается не только величиной производимого урожая основной и побочной продукции, но и концентрацией азота в их составе. Так, в зерне пшеницы в смешанных агроценозах содержание азота было выше, чем в одновидовом посеве, на 0,09...0,44 % (табл. 2). Более высокая величина этого показателя в целом по опыту (2,16 %), была характерной для агроценоза пшеница 25 % + горох 75 %. Полученный результат подтверждает положение о том, что совместное выращивание зерновых и зернобобовых культур в смешанных посевах приводит к существенному увеличению содержания белка в зерне злакового компонента [12, 13]. При изменении уровня азотного питания ($N_0 \rightarrow N_{30} \rightarrow N_{60}$) происходило повышение содержания азота в зерне пшеницы на 0,06...0,12 %. По данным [14], при использовании азотных удобрений растут содержание белка в зерне и продуктивность пшеницы. Повышение содержания белка в зерне происходит не в результате усиления его синтеза, а вследствие торможения отложения крахмала в эндосперме зерна. Максимальное в опыте содержание азота в зерне пшеницы (2,22 %) отмечено в посеве пшеница 25 % + горох 75 % на фоне внесения N_{60} , что связано с оптими-

Табл. 2. Содержание N в зерне и соломе яровой пшеницы (среднее за 2012–2014 гг.), % на а.с.в.

| Состав агроценоза (фактор А) | Доза азота (фактор В) | | | | | | | |
|---|-----------------------|----------|----------|--------------|-------|----------|----------|--------------|
| | пшеница | | | среднее по А | горох | | | среднее по А |
| | N_0 | N_{30} | N_{60} | | N_0 | N_{30} | N_{60} | |
| Пшеница 100 % | 1,66 | 1,73 | 1,76 | 1,72 | 0,49 | 0,44 | 0,43 | 0,45 |
| Пшеница 75 % + горох 25 % | 1,76 | 1,80 | 1,87 | 1,81 | 0,51 | 0,47 | 0,52 | 0,50 |
| Пшеница 50 % + горох 50 % | 1,96 | 2,02 | 2,11 | 2,03 | 0,55 | 0,42 | 0,44 | 0,47 |
| Пшеница 25 % + горох 75 % | 2,11 | 2,16 | 2,22 | 2,16 | 0,52 | 0,46 | 0,42 | 0,47 |
| Среднее по В НСР ₀₅ гл. эфф. | 1,87 | 1,93 | 1,99 | | 0,51 | 0,45 | 0,45 | |
| | | 0,03 | | 0,02 | | 0,01 | | 0,03 |
| НСР ₀₅ для частных различий по фактору | А | | 0,04 | | | | 0,06 | |
| | В | | 0,06 | | | | 0,03 | |

зацией азотного питания злака при увеличении общего пула поступающих посредством экзоосмоса азотистых веществ в ризосферу гороха и увеличения количества доступного для питания азота вследствие его поступления с удобрением.

Концентрация азота в соломе пшеницы составляла 0,42...0,55 % и не зависела от состава агроценоза. При использовании азотного удобрения отмечено снижение содержания этого минерального элемента в соломе, как по отдельным ценозам (-0,04...-0,13 %), так и в целом по опыту (-0,06 %). Известно [14], что содержание азота в вегетативных органах злаков связано с его реутилизацией при наливе зерна. Полнота оттока зависит от сроков и условий проведения уборки, а также аттрагирующей способности колоса в отношении питательных веществ. С увеличением доз азотного удобрения реутилизация азота из вегетативных органов в зерно пшеницы возрастала на 25,8 % при отсутствии существенных изменений у гороха. Аналогичные изменения отмечены для полноты оттока азота в зерно.

Высокое содержание N в вегетативных частях (стеблях, листьях) и зерне бобовых культур, обусловлено биологическими особенностями их развития. В зерне гороха, выращенном в смешанных агроценозах, содержание азота находилось на уровне 3,24...3,64 % (табл. 3). С повышением доли бобового компонента в составе высеваемой смеси (25 % → 50 % → 75 %) происходило увеличение концентрации этого элемента в зерне гороха, что отчасти связано со снижением конкуренции со стороны злакового компонента в посеве. Более высокое содержание азота (3,70 %) в зерне было характерно для одновидового посева. При внесении азотного удобрения в целом по опыту отмечена тенденция к повышению величины этого показателя (3,48 % → 3,51 % → 3,53 %). Содержание азота в соломе гороха варьировало не значительно, при отсутствии чёткой зависимости от состава агроценоза и доз N-удобрения.

Табл. 3. Содержание N в зерне и соломе посевного гороха (среднее за 2012–2014 гг.), % на а.с.в.

| Состав агроценоза (фактор А) | Доза азота (фактор В) | | | | | | | |
|---|-----------------------|----------|----------|--------------|--------|----------|----------|--------------|
| | зерно | | | среднее по А | солома | | | среднее по А |
| | N_0 | N_{30} | N_{60} | | N_0 | N_{30} | N_{60} | |
| Пшеница 75 % + горох 25 % | 3,18 | 3,22 | 3,31 | 3,24 | 1,36 | 1,52 | 1,35 | 1,41 |
| Пшеница 50 % + горох 50 % | 3,43 | 3,42 | 3,50 | 3,45 | 1,30 | 1,39 | 1,51 | 1,40 |
| Пшеница 25 % + горох 75 % | 3,56 | 3,70 | 3,66 | 3,64 | 1,45 | 1,29 | 1,34 | 1,36 |
| Горох 100 % | 3,75 | 3,69 | 3,65 | 3,70 | 1,48 | 1,37 | 1,41 | 1,42 |
| Среднее по В НСР ₀₅ гл. эфф. | | 3,48 | 3,51 | 3,53 | | 1,40 | 1,39 | 1,40 |
| | | | 0,04 | 0,07 | | 0,06 | | 0,07 |
| НСР ₀₅ для частных различий по фактору | А | | | 0,12 | | | 0,13 | |
| | В | | | 0,08 | | | 0,12 | |

Суммарный вынос азота урожаем включает вынос основной (зерном) и побочной (соломой) продукцией (табл. 4). В одновидовом посеве гороха он был в 1,6...2,5 раза выше, чем в одновидовом посеве пшеницы. Для посевов злакового компонента характерно увеличение выноса при использовании N-удобрения на 7,2...12,6 кг/га. В посевах бобовой культуры отмечена обратная тенденция – снижение выноса на 6,6...22,6 кг/га при использовании N-удобрения. Для смешанных посевов

Табл. 4. Вынос урожаем и эффективность использования азота в одновидовых и смешанных агроценозах пшеницы и гороха (среднее за 2012–2014 гг.)

| Культура | Пшеница 100 % | | | Пшеница 75 % + горох 25 % | | | Пшеница 50 % + горох 50 % | | | Пшеница 25 % + горох 75 % | | | Горох 100 % | | |
|---|----------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | N ₀ | N ₃₀ | N ₆₀ | N ₀ | N ₃₀ | N ₆₀ | N ₀ | N ₃₀ | N ₆₀ | N ₀ | N ₃₀ | N ₆₀ | N ₀ | N ₃₀ | N ₆₀ |
| Вынос урожаем, кг/га | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пшеница | 46,7 | 53,9 | 59,3 | 40,3 | 44,7 | 54,9 | 28,8 | 29,1 | 32,4 | 17,6 | 18,7 | 16,7 | | | |
| в том числе зерно | 34,5 | 41,3 | 45,8 | 30,0 | 34,1 | 41,3 | 21,5 | 23,3 | 25,9 | 13,6 | 14,9 | 13,6 | | | |
| Горох | | | | 33,6 | 35,8 | 37,5 | 76,0 | 84,3 | 86,4 | 89,0 | 87,0 | 73,9 | 116,6 | 110,0 | 94,0 |
| в том числе зерно | | | | 21,6 | 22,2 | 24,6 | 50,9 | 55,2 | 55,4 | 58,1 | 59,8 | 50,1 | 77,0 | 74,2 | 62,6 |
| Всего: | 46,7 | 53,9 | 59,3 | 73,9 | 80,4 | 92,5 | 104,8 | 113,4 | 118,7 | 106,6 | 105,7 | 90,6 | 116,6 | 110,0 | 94,0 |
| Индекс хозяйственного использования азота | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пшеница | 0,74 | 0,77 | 0,77 | 0,41 | 0,42 | 0,45 | 0,21 | 0,21 | 0,22 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | | | |
| Горох | | | | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,49 | 0,49 | 0,47 | 0,54 | 0,57 | 0,55 | 0,66 | 0,67 | 0,67 |
| Коэффициент использования азота из удобрения (КИУ _N), % | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пшеница | | 24,1 | 21,1 | | 14,5 | 24,3 | | 1,1 | 5,9 | | 3,4 | - | | | |
| Горох | | | | | 7,2 | 6,5 | | 27,7 | 17,4 | | - | - | | - | - |
| Оплата азотного удобрения прибавкой урожая зерна, кг/кг | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пшеница | | 10,3 | 8,6 | | 6,2 | 8,3 | | 1,8 | 2,1 | | 1,4 | - | | | |
| Горох | | | | | 0,3 | 1,0 | | 4,3 | 1,7 | | - | - | | - | - |
| Создано зерна на 1 кг потребленного азота, кг | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пшеница | 44,6 | 44,3 | 43,8 | 42,3 | 42,3 | 40,1 | 38,1 | 39,5 | 37,9 | 36,6 | 36,8 | 36,7 | | | |
| Горох | | | | 20,2 | 19,2 | 19,8 | 19,5 | 19,1 | 18,3 | 18,4 | 18,6 | 18,5 | 17,6 | 18,3 | 18,2 |
| Прибавки массы зерна на единицу потребленного азота, кг | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пшеница | | 5,7 | 3,5 | | 4,2 | 5,7 | | 1,8 | 2,3 | | 2,2 | - | | | |
| Горох | | | | | 0,2 | 1,4 | | 1,5 | -0,3 | | - | - | | - | - |
| Прибавка зерна на 1 кг азота потребленного из удобрения, кг | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пшеница | | 42,8 | 40,8 | | 42,9 | 34,1 | | 67,0 | 36,1 | | 40,0 | - | | | |
| Горох | | | | | 4,0 | 15,8 | | 15,7 | 9,7 | | - | - | | - | - |
| Потребление (вынос) азота 1 т зерна, кг | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пшеница | 22,4 | 18,8 | 19,0 | 19,7 | 19,7 | 20,8 | 21,9 | 21,1 | 22,0 | 22,8 | 22,6 | 22,7 | | | |
| Горох | | | | 49,5 | 52,0 | 50,6 | 51,2 | 52,2 | 54,5 | 54,5 | 53,8 | 54,0 | 56,7 | 54,8 | 54,8 |

с преобладанием пшеницы (пшеница 75 % + горох 25 %) и при равном соотношении компонентов (пшеница 50 % + горох 50 %) отмечено увеличение выноса азота пшеницей и горохом при использовании удобрения. В варианте с преобладанием в смеси гороха (пшеница 25 % + горох 75%) количество азота и тенденция его накопления в урожае при внесении азотного удобрения были схожи с одновидовым посевом бобового компонента.

Эффективность использования культурами азота оценивают по соотношению его накопления в урожае основной (зерно) и побочной (солома) продукции. Потребленный растениями пшеницы и гороха азот в одновидовых и смешанных посевах большей частью накапливался в зерне. В среднем по опыту азотный индекс для яровой пшеницы составлял 0,77, для посевного гороха – 0,66. В зависимости от состава смеси и доз N-удобрения индекс хозяйственного использования изменялся не значительно, так как его преимущественно определяют генотипические особенности культур. Более весомый вклад в вынос азота зерном (68,1...70,3 %) в смеси с равным соотношением компонентов (пшеница 50 % + горох 50 %) отмечен для гороха, благодаря его повышенной концентрации N в зерне. В остальных смесях преимущество было за культурой, преобладающей в их составе.

Коэффициент использования растениями пшеницы азота удобрения в смеси пшеница 75 % + горох 25 % составлял 14,5...24,3 %, что близко к уровню одновидового посева. При снижении доли пшеницы в смеси до 50 % происходило его уменьшение на 13,4...18,4 %. При уве-

личении доли гороха в смеси с 25% до 50% его КИУН возрастал на 10,9...20,5 %. Отрицательные КИУН пшеницей и горохом отмечали в смеси пшеница 25% + горох 75%, что обусловлено снижением семенной продуктивности культур при внесении азотного удобрения в этом варианте. Аналогичная тенденция отмечена в одновидовом посеве гороха.

Максимальную в опыте суммарную прибавку урожая зернового вороха от 1 кг азота (9,3 кг) наблюдали в смеси пшеница 75 % + горох 25 % при внесении N₆₀. Больше всего зерна (43,8...44,6 кг) на 1 кг потребленного азота было создано в одновидовом посеве пшеницы. При включении и последующем увеличении доли гороха в посеве (25 % → 50 % → 75 % → 100 %) происходило снижение эффективности использования азота и количества зерна, созданного благодаря его потреблению. Использование возрастающих доз азотного удобрения в смесях с долей пшеницей более 25 % и в одновидовом посеве злака (пшеница 100 %) способствовало снижению величин этого показателя на 0,5...0,9 кг. Прибавка массы зерна на 1 кг потребленного азота в смешанных посевах не превышала 4,2...5,7 кг для пшеницы и 1,4...1,5 кг для гороха. Увеличение дозы приводило к снижению количества созданного зерна на 1 кг азота, потребленного из удобрения. Больше зерна гороха на 1 кг потребленного азота (15,7...15,8 кг) было создано при внесении N30 в смеси с равным долевым участием культур (пшеница 50 % + горох 50 %) или при внесении N₆₀ в посеве пшеница 75 % + горох 25 %.

Вынос азота 1 т зерна в рассматриваемых агроценозах изменялся, прежде всего, в зависимости от доли гороха и в меньшей степени от доз азотного удобрения. В обоих случаях отмечен постепенный рост потребления N не только злаковой, но и бобовой культурой. При этом использование азотного удобрения определённым образом сдерживало изменение количества потреблённого азота при увеличении доли гороха в составе смешанного посева с 4,9 кг/т до 4,6 и 4,4 кг/т у пшеницы и с 7,3 кг/т до 2,8 и 4,2 кг/т у гороха.

Полученные значения по выносу азота отличаются от существующих нормативов по затратам элементов питания для получения 1 т зерна с соответствующим количеством соломы. Это связано с тем, что нормативы были разработаны на основании результатов опытов географической сети, проведенных в различных почвенно-климатических условиях страны при достигнутом на тот момент потенциале плодородия почв, использовании существовавшего селекционного материала, ассортимента и объёмов агрохимикатов.

Положительный баланс азота (+8,3...+17,8 кг/га) отмечен после смешанного (пшеница 25 % + горох 75 %) и одновидового агроценозов гороха (табл. 5) при внесении азотного удобрения в дозе 60 кг д.в./га. Для достижения уравновешенного баланса N в смешанных посевах с равным соотношением компонентов (50 % + 50 %) или с преобладанием злаковой культуры (75 % + 25 %) такой дозы не достаточно. При отсутствии поступления азота с удобрением в посевах гороха отмечали резко отрицательный баланс этого элемента (-43,6...-57,5 кг/га), несмотря на симбиотическую фиксацию азота. Отчуждение из почвы такого его количества, в пересчете на подвижные формы, составляет 14...19 мг/кг. Отсутствие азотных удобрений приводит к снижению обеспеченности почвы этим элементом, что указывает на слабую способность современных сортов гороха к симбиотрофному питанию азотом атмосферы. Решение этой проблемы возможно путем селекции [15], использования соответствующих ми-

кробиологических препаратов и возделывания зернобобовых культур в составе смешанных агроценозов со злаками [16, 17, 18].

При соотношении результатов по балансу с данными по выносу азота урожаем зерна и соломы получена отрицательная величина (-9,6...-67,1 %), что не соответствует требованиям к балансу элементов питания за севооборот и не допустимо даже для почв с очень высоким их содержанием. Это указывает на необходимость использования азотных удобрений при возделывании одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха в условиях Предуралья в дозах ≥ 60 кг д.в./га.

Таким образом, наибольшая в опыте урожайность зерна (3,07...3,16 т/га) отмечена в смешанных посевах пшеница 75 % + горох 25 % и пшеница 50 % + горох 50 %. Более высокая отзывчивость на внесение азотного удобрения в дозах N_{30} (+0,23 т/га) и N_{60} (+0,65 т/га) характерна для агроценоза с преобладанием пшеницы.

В смешанных агроценозах в зерне пшеницы содержание азота было выше, чем в одновидовом посеве, на 0,09...0,44 %. При внесении N-удобрения в дозах 30 и 60 кг д.в./га происходило повышение содержания азота в зерне пшеницы на 0,06...0,12 % с максимальной в опыте величиной этого показателя (2,22 %) в агроценозе пшеница 25 % + горох 75 % на фоне N_{60} .

Потребленный растениями пшеницы и гороха азот в одновидовых и смешанных посевах большей частью накапливался в зерне. Азотный индекс для яровой пшеницы составлял 0,77, для посевного гороха – 0,66. Максимальная в опыте суммарная прибавка урожая зернового вороха от 1 кг N (9,3 кг) отмечена в смеси пшеница 75 % + горох 25 % при внесении N_{60} .

Вынос азота 1 т зерна с соответствующим количеством соломы в одновидовых посевах яровой пшеницей составлял 19,0...22,4 кг, посевным горохом – 54,8...56,7 кг, в смешанных посевах он изменялся, прежде всего, в зависимости от доли гороха в составе посева и в меньшей степени от доз азотного удобрения.

Табл. 5. Структура баланса азота при возделывании одновидовых и смешанных агроценозов пшеницы и гороха (среднее за 2012-2014 гг.), кг/га

| Показатель | Пшеница 100 % | | | Пшеница 75 % + горох 25 % | | | Пшеница 50 % + горох 50 % | | | Пшеница 25 % + горох 75 % | | | Горох 100 % | | |
|--|---------------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|-------------|----------|----------|
| | N_0 | N_{30} | N_{60} | N_0 | N_{30} | N_{60} | N_0 | N_{30} | N_{60} | N_0 | N_{30} | N_{60} | N_0 | N_{30} | N_{60} |
| Приход: | 15,3 | 49,3 | 79,3 | 33,8 | 68,9 | 99,2 | 54,5 | 92,9 | 123,8 | 61,8 | 93,2 | 117,7 | 80,1 | 111,2 | 133,4 |
| с осадками | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| с семенами | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 10,4 | 10,4 | 10,4 |
| с удобрением | 0 | 30 | 60 | 0 | 30 | 60 | 0 | 30 | 60 | 0 | 30 | 60 | 0 | 30 | 60 |
| благодаря свободноживущим азотфиксаторам | 6 | 10 | 10 | 6 | 10 | 10 | 6 | 10 | 10 | 6 | 10 | 10 | 6 | 10 | 10 |
| благодаря симбиотической азотфиксации | - | - | - | 16,9 | 18,1 | 18,4 | 36,2 | 40,5 | 41,4 | 42,0 | 39,4 | 33,8 | 58,7 | 55,8 | 48,1 |
| Расход: | 46,7 | 59,9 | 71,3 | 77,3 | 90,0 | 108,1 | 112,0 | 127,5 | 139,0 | 115,0 | 119,5 | 109,4 | 128,3 | 127,2 | 115,6 |
| вынос (зерном + соломой) | 46,7 | 53,9 | 59,3 | 73,9 | 80,4 | 92,5 | 104,8 | 113,4 | 118,7 | 106,6 | 105,7 | 90,6 | 116,6 | 110,0 | 94,0 |
| газообразные потери из удобрения | - | 6,0 | 12,0 | - | 6,0 | 12,0 | - | 6,0 | 12,0 | - | 6,0 | 12,0 | - | 6,0 | 12,0 |
| газообразные потери биологического азота | - | - | - | 3,4 | 3,6 | 3,7 | 7,2 | 8,1 | 8,3 | 8,4 | 7,9 | 6,8 | 11,7 | 11,2 | 9,6 |
| Итого: | -31,3 | -10,6 | 8,0 | -43,6 | -21,1 | -8,9 | -57,5 | -34,6 | -15,3 | -53,2 | -26,3 | 8,3 | -48,2 | -16,0 | 17,8 |
| В % к выносу | -67,1 | -19,6 | 13,5 | -58,9 | -26,3 | -9,6 | -54,9 | -30,5 | -12,9 | -49,9 | -24,9 | 9,1 | -41,4 | -14,6 | 19,0 |

В обоих случаях увеличивалось потребление азота не только злаковой, но и бобовой культурой.

Положительный баланс азота в почве (+8,3...+17,8 кг/га) достигался после смешанного (пшеница 25 % + горох 75 %) и одновидового агроценозов гороха при внесении N_{60} . Без азотного удобрения отмечен резко отрицательный баланс азота (-31,3...-57,5 кг/га), что не допустимо для почв даже с очень высоким содержанием элементов питания. Представленные результаты указывают на необходимость использования азотных удобрений при возделывании одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха в условиях Предуралья в дозах ≥ 60 кг д.в./га.

Литература

1. Кудеяров В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // *Агрохимия*. 2018. №10. С. 3–11.
2. Сычев В.Г., Шафран С.А. О балансе питательных веществ в земледелии России // *Плодородие*. 2017. №1. С. 1–4.
3. Van Der Hoek K.W. Nitrogen cycling on dairy farms // *Материалы конференции «Снижение отрицательного воздействия на окружающую среду химически активного азота при производстве сельскохозяйственной продукции»*. 2010. С. 78–86.
4. Лапа В.В., Кулеши О.Г., Лопух М.С. Вынос и баланс элементов питания в зернотравяном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // *Почвоведение и агрохимия*. 2013. №2 (51). С. 143–150.
5. Плотников А.М., Кабдунова Г.С. Баланс элементов питания и продуктивность зернопарового севооборота при применении минеральных удобрений // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2018. № 1. С. 38–41.
6. Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биомодифицированных азотных удобрений под озимую пшеницу // *Агрохимический вестник*. 2021. № 1. С. 33–37. doi: 10.24412/1029-2551-2021-1-006.
7. Научно-обоснованные параметры применения минеральных удобрений с учетом использования биологического азота в севооборотах Нечерноземной зоны России / А.А. Завалин, В.Г. Сычев, Н.С. Алметов и др. М.: ВНИИА, 2014. 82 с.
8. Nitrogen use and food production in European regions from a global perspective / H. Van Grinsven, J. Spiertz, H. Westhoek, et al. // *The Journal of Agricultural Science*. 2014. Vol. 152 (S1). P. 9–19. doi: 10.1017/S0021859613000853.
9. Новикова Н.Е. Физиологическое обоснование листовой подкормки для оптимизации питания зерновых бобовых культур в онтогенезе растений (обзор) // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. №1(25). С. 60–67.
10. Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия: структуривно-методическое издание / А.Л. Иванов, А.А. Завалин, А.И. Карпунин и др. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. 464 с.
11. Jensen E.S. Grain yield, symbiotic N_2 fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops // *Plant and Soil*. 1996. Vol. 182. P. 25–38. doi:10.1007/BF00010992
12. Пасынкова Е.Н. Влияние азотных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в одновидовом и смешанном с викой посевах // *Агрохимия*. 2009. № 2. С. 18–27.
13. Nitrogen Fertilizer Effects on Pea-Barley Intercrop Productivity Compared to Sole Crops in Denmark / R.J. Cowden, A.N. Shah, L.M. Lehmann, et al. // *Sustainability* 2020. Vol. 12. No. 22. 9335. <https://doi.org/10.3390/su12229335>
14. Завалин А.А., Соколов О.А. Азот и качество зерна пшеницы // *Плодородие*. 2018. № 1. С. 14–17.
15. Проворов Н.А., Тихонович И.А. Эколого-генетические принципы селекции растений на повышение эффективности взаимодействия с микроорганизмами // *Сельскохозяйственная биология*. 2003. № 3. С. 11–24.
16. Влияние азотных удобрений и биопрепаратов на урожайность зерна в смешанных бобово-мятликовых агроценозах / А.С. Кононов, Н.М. Белоус, В.Е. Ториков и др. // *Агрохимический вестник*. 2021. № 2. С. 3–9. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-001.
17. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review / B. Laurent, E.-P. Journet, H. Hauggaard-Nielsen, et al. // *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. Vol. 35. P. 911–935. doi: 10.1007/s13593-014-0277-7.
18. Jensen E.S., Carlsson G., Hauggaard-Nielsen H. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N : A global-scale analysis // *Agronomy for Sustainable Development*. 2020. Vol. 40: 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>.

Поступила в редакцию 31.08.2021

После доработки 16.09.2021

Принята к публикации 05.10.2021