

## ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА И РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ И БАЛАНС АЗОТА В ПОЧВЕ

**В. Б. ВОРОБЬЕВ, И. Ю. ГРИЩЕНКО, С. И. ЛАСТОЧКИНА**

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Беларусь, 213407, e-mail: twins50@mail.ru, ira.grischenko2011@yandex.ru

(Поступила в редакцию 30.03.2018)

В статье приведены результаты изучения влияния содержания в почве гумуса на урожайность ячменя, возделываемого на фоне  $P_{60}K_{120}$  при дозах азотного удобрения: 80, 80+20, 80+40 и 80+60 кг д.в./га. На основании корреляционно-регрессионного анализа результатов трех лет исследований (всего около 700 пар сравнения) разработаны трендовые модели, характеризующие закономерности изменения урожайности зерна и соломы ячменя в зависимости от содержания в почве гумуса и доз азота. Показано влияние гумусированности почвы и доз азотного удобрения на интенсивность хозяйственного баланса азота в посевах ячменя, коэффициент использования растениями азота из удобрений и минерализацию гумуса. Установлено, что при содержании гумуса в почве менее 2,00 % наибольшую урожайность зерна (от 4,65 до 7,15 т/га) ячменя, обеспечивает доза азотного удобрения 140 кг д.в./га (80 кг/га в основную заправку и 60 кг/га – в подкормку в фазу конец кущения – начало выхода в трубку). При содержании гумуса в почве от 2,00 до 2,50 % дозы азотного удобрения  $N_{80+60}$  и  $N_{80+40}$  обеспечивают равновеликую урожайность зерна (от 6,98 до 5,15 и от 6,93 до 5,00 т/га соответственно). При возделывании ячменя на делянках с содержанием гумуса от 2,50 % и выше преимущество доз азота  $N_{80+60}$  и  $N_{80+40}$  по сравнению с дозой  $N_{80+20}$  исчезает.

Наиболее высокое использование азота из удобрения (66,15–67,41 %), наибольшая минерализация гумуса (1368–1369 кг/га), а так же наименьшая интенсивность хозяйственного баланса азота (62 %) в посевах ячменя наблюдается при гумусированности почвы на уровне 1,80–1,90 % и дозе азота  $N_{80+60}$ .

**Ключевые слова:** ячмень, урожайность, гумус, дозы азота, хозяйственный баланс азота, коэффициент использования азота из удобрения, минерализация гумуса.

The article presents results of studying the effect of humus content in soil on the yield of barley cultivated against the background of  $P_{60}K_{120}$  and the following doses of nitrogen fertilizer: 80, 80 + 20, 80 + 40 and 80 + 60 kg of acting substance / ha. Based on the correlation-regression analysis of results of three years of research (totaling about 700 pairs of comparison), trend models have been developed that characterize regularities of changes in the yield of barley grain and straw depending on the content of humus and nitrogen doses in the soil. We have shown the influence of soil humus content and nitrogen fertilizer doses on the intensity of economic balance of nitrogen in barley crops, and the coefficient of nitrogen fertilizer use by plants and the mineralization of humus. It has been established that when the humus content in the soil is less than 2.00%, the highest grain yield (from 4.65 to 7.15 t / ha) of barley is provided by a dose of nitrogen fertilizer of 140 kg of acting substance / ha (80 kg / ha during the main dressing and 60 kg / ha – in top dressing in the phase of “end of tillering – the beginning of stem elongation). With humus content in soil from 2.00 to 2.50%, the doses of nitrogen fertilizer of  $N_{80+60}$  and  $N_{80+40}$  provide an equal grain yield (from 6.98 to 5.15 and from 6.93 to 5.00 t / ha, respectively). When barley is cultivated in plots with a humus content of 2.50% and higher, the advantage of nitrogen doses of  $N_{80+60}$  and  $N_{80+40}$  in comparison with the dose of  $N_{80+20}$  disappears.

The highest utilization of nitrogen from fertilizer (66.15-67.41%), the highest mineralization of humus (1368-1369 kg / ha), and the lowest intensity of economic balance of nitrogen (62%) in barley crops are observed with soil humification at the level of 1.80-1.90% and a nitrogen dose of  $N_{80+60}$ .

**Key words:** barley, yield, humus, nitrogen doses, economic nitrogen balance, nitrogen utilization rate from fertilizer, humus mineralization.

### Введение

Проблема эффективного использования азотного удобрения неразрывно связана с содержанием в почве гумуса, который отличается не только высокой энергоемкостью, но и является для растений важным источником элементов питания и в первую очередь азота [1, 2, 9, 10]. Именно поэтому, почвы с высоким содержанием гумуса всегда отличаются и большими запасами азота. Даже при применении азотных удобрений, растения около 50 % своих потребностей в этом элементе удовлетворяют за счет его органически связанных соединений, переходящих в доступную форму в результате минерализации [3, 6, 8]. Существует немало примеров, говорящих и о том, что на почвах с высоким содержанием гумуса растения более эффективно используют элементы питания и из минеральных удобрений [4, 5, 7]. Это объясняется в первую очередь большой ролью гумусовых веществ в формировании многих свойств почвы, оказывающих непосредственное влияние на рост и развитие растений. Именно поэтому весьма востребованным является изучение эффективности применения азотных удобрений на почвах с различным содержанием гумуса.

### Основная часть

Роль гумуса в формировании урожайности ячменя при разном уровне азотного питания нами изучалась в производственных посевах ячменя (сорт Гонар) учебно-опытного хозяйства УО БГСХА на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на фоне  $P_{60}K_{120}$ , где было выделено 20 участков с различным содержанием гумуса. На этих участках были внесены следующие дозы азотного

удобрения: 80, 80+20, 80+40 и 80+60 кг д.в./га. Контролем служил вариант без азота. На каждом уровне азотного удобрения были выделены по 2 учетные площадки размером 0,25 м<sup>2</sup>. С этих площадок был произведен учет урожая зерна и соломы, отобраны образцы почвы для анализа на показатели, характеризующие их гумусовое состояние, агрофизические свойства почвы и свойства почвенного поглощающего комплекса. Полученные результаты были подвергнуты корреляционному анализу. На основании обобщения трех лет исследований нами были рассчитаны уравнения полиномиальных линий тренда урожайности зерна ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения (табл. 1). В совокупности при расчете этих уравнений было использовано около 700 пар сравнения. Достоверность полученных уравнений линий тренда подтверждается величиной аппроксимации (R<sup>2</sup>), или так называемым коэффициентом детерминации, показывающим степень соответствия трендовой модели исходным данным. В нашем случае он находился в пределах от 0,40 до 0,77. Это говорит о том, что от 40 до 77 % всех изменений урожайности зерна ячменя были обусловлены изменением содержания в почве гумуса. Значительная доля остальной части изменения урожайности приходится на погодные условия, из-за особенностей которых урожайность зерна в отдельные годы существенно отличалась, что в конечном итоге несколько снизило значение величины аппроксимации. Тем не менее можно с уверенностью отметить, что полученные уравнения достоверны и позволяют достаточно точно судить о закономерностях изменения урожайности зерна ячменя под влиянием комплексного воздействия различных доз азотного удобрения и содержания в почве гумуса.

Таблица 1. Уравнения полиномиальных линий тренда урожайности зерна ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на почве с различным содержанием гумуса

Дозы азотного удобрения	Уравнения полиномиальных линий тренда	Величина достоверности аппроксимации (R <sup>2</sup> )	Интервал содержания в почве гумуса, %
Без азота	$Y = -1,7208X^3 + 7,772X^2 - 10,249X + 6,7734$	0,77	1,2–2,4
N <sub>80</sub>	$Y = 2,2375X^3 - 15,496X^2 + 33,762X - 19,22$	0,40	1,2–2,4
N <sub>80+20</sub>	$Y = 1,0591X^3 - 7,2332X^2 + 15,971X - 6,8707$	0,40	1,2–2,6
N <sub>80+40</sub>	$Y = 14,684X^4 - 111,94X^3 + 307,32X^2 - 357,78X + 53,79$	0,61	1,2–2,6
N <sub>80+60</sub>	$Y = -6,2409X^2 + 22,883X - 13,818$	0,46	1,2–2,4

Для этого нами были разработаны трендовые модели урожайности зерна ячменя в зависимости от уровня азотного питания и гумусированности почвы (рис. 1). Их анализ показывает, что оптимальный уровень содержания в почве гумуса в посевах ячменя находится в пределах от 1,80 до 2,00 %. При этом в варианте без азота наибольшая урожайность зерна соответствовала 2,00 % гумуса. В вариантах с дозами азота 80 кг д.в./га и 80+60 кг/га – 1,80 %, а в вариантах с 80+20 и 80+40 кг д.в./га – 1,90 %.

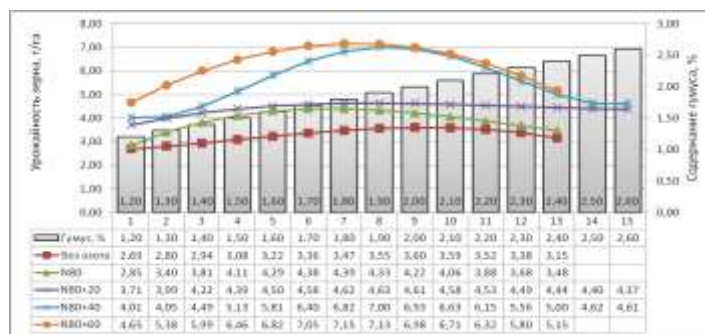


Рис. 1. Трендовая модель урожайности зерна ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на почве с различным содержанием гумуса

Обращает на себя внимание, что при гумусированности почвы ниже оптимального значения дозы азотного удобрения в 140 кг д.в./га по сравнению с дозой 120 кг имеет существенное преимущество. При содержании гумуса более 1,90 % это преимущество значительно снизилось. Следует отметить, что при гумусированности почвы более 2,40 % линии тренда урожайности зерна ячменя при дозах азота N<sub>80+20</sub>, N<sub>80+40</sub> и N<sub>80+60</sub> существенно сближаются. Это в первую очередь говорит о том, что при возделывании ячменя на участках с содержанием гумуса от 2,50 и более % можно ограничиться дозой азотного удобрения 100 кг д.в./га. Тот факт, что наибольшая урожайность зерна ячменя в контрольном варианте соответствует более высокой гумусированности почвы (2,00 %), чем в вариантах с применением азотных удобрений дает основание предположить, что недостаток азота не является фактором, лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур на почвах с высоким содержанием гумуса. Нами также были рассчитаны уравнения полиномиальных линий тренда урожайности соломы ячменя в зависимости от содержания гумуса и доз азотного удобрения. Разработанные с помощью этих уравнений трендовые модели урожайности соломы оказались в

значительной степени похожими на модели урожайности зерна. Исследования показали, что у ячменя достоверная корреляционная связь между содержанием в почве гумуса и содержанием азота в отчуждаемой с поля продукции отсутствует (практически во всех случаях  $t_{\phi}$  оказалось меньше  $t_{05}$ ). В среднем за годы исследований содержание азота в зерне находилось в пределах от 1,46 до 1,71 %. В соломе – от 0,70 до 0,85 %. В обоих случаях значение данного показателя было максимальным в варианте с дозой азота 140 кг д.в./га.

Используя данные о хозяйственном выносе азота, мы рассчитали полиномиальные линии тренда интенсивности его хозяйственного баланса (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2. Уравнения полиномиальных линий тренда интенсивности хозяйственного баланса азота в посевах ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса

Дозы азотного удобрения	Уравнения полиномиальных линий тренда	Величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ )	Интервал содержания в почве гумуса, %
Без азота	$Y = 46,215X^4 - 380,7X^3 + 1097,3X^2 - 1299,5X + 615,6$	0,70	1,2–2,4
$N_{80}$	$Y = -15,548X^4 + 121,41X^3 - 422,04X^2 + 709,63X - 333,13$	0,27	1,2–2,4
$N_{80+20}$	$Y = 13,564X^3 - 104,97X^2 + 256,82X - 82,083$	0,33	1,2–2,4
$N_{80+40}$	$Y = 59,87X^4 - 443,92X^3 + 1143,2X^2 - 1173,1X + 516,76$	0,48	1,2–2,4
$N_{80+60}$	$Y = -191,39X^2 + 709,64X - 431,58$	0,68	1,2–2,4

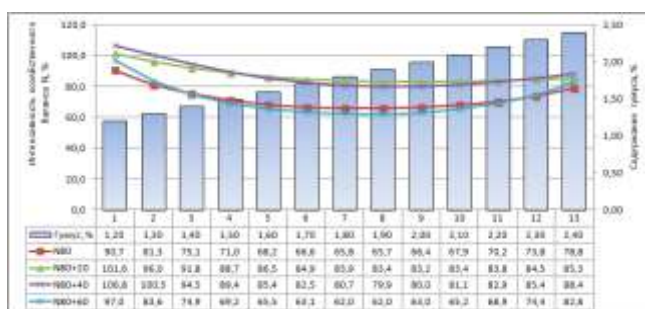


Рис. 2. Трендовая модель интенсивности хозяйственного баланса азота в посевах ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на почве с различным содержанием гумуса

Полученные результаты несколько противоречат общепринятому представлению о том, что более высокие дозы удобрения должны обеспечивать и более высокую интенсивность баланса, вносимого с ним элемента. В нашем случае интенсивность хозяйственного баланса азота оказалась значительно меньше в посевах ячменя, возделываемого в варианте с дозой азота  $N_{80+60}$  (61,99–96,96 %), по сравнению с вариантами  $N_{80+40}$  (79,87–106,84 %) и  $N_{80+20}$  (83,20–101,64 %). На наш взгляд, это связано с различным использованием азота из удобрения и почвы. Несомненно, что уменьшение степени использования элемента питания из удобрений и почвы ведет к увеличению интенсивности его хозяйственного баланса. И наоборот, чем больше того или иного элемента используется из удобрения и почвы, тем выше урожайность, больше хозяйственный вынос с отчуждаемой с поля продукцией, а соответственно и меньше интенсивность баланса в почве.

В подтверждение этому мы рассчитали процент использования азота из удобрения растениями ячменя (так называемый коэффициент использования) при разном содержании в почве гумуса. Для этого воспользовались формулой:  $K_N = [(B_N - B_0) / D_N] \cdot 100$  %, где:  $K_N$  – коэффициент использования азота из удобрения,  $B_N$  – вынос азота с урожаем на удобренном участке, кг/га;  $B_0$  – вынос азота с урожаем на участке без удобрения, кг/га;  $D_N$  – доза азотного удобрения, кг д.в./га.

В наших исследованиях посевы ячменя использовали от 10,7 до 67,4 % азота удобрения (рис. 3).

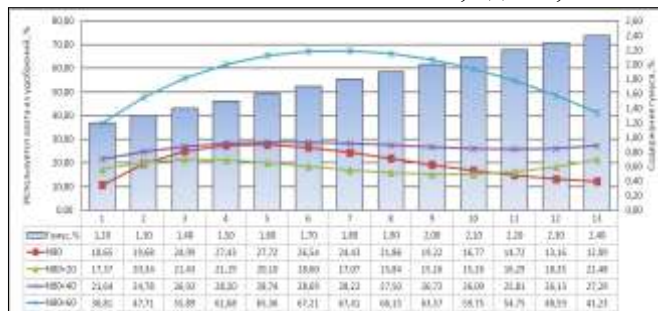


Рис. 3. Трендовая модель использования азота удобрений ячменем, возделываемым при разных дозах азотного удобрения на почве с различным содержанием гумуса

Полученная трендовая модель использования азота из минерального удобрения убедительно показывает, что значение данного показателя во многом зависит не только от дозы азотного удобрения, но и от содержания в почве гумуса. Максимальное использование азота из удобрения растениями ячменя (67,21; 67,41 и 66,15 %) было в варианте с дозой азота N<sub>80+60</sub> и соответствовало содержанию гумуса 1,70; 1,80 и 1,90 %. При этой же дозе азотного удобрения было отмечено и более высокое использование азота из почвы, что подтверждается уравнениями линий тренда (табл. 3) и трендовой моделью потерь гумуса, представленной на рис. 4.

Таблица 3. Уравнения полиномиальных линий тренда потерь гумуса (кг/га) в посевах ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на почве с различным содержанием гумуса (среднее за 2008–2011 гг.)

Дозы азотного удобрения	Уравнения полиномиальных линий тренда	Величина достоверности аппроксимации (R <sup>2</sup> )	Интервал содержания в почве гумуса
Без азота	$Y = -529,68X^2 + 2107,8X - 914$	0,94	1,2–2,4
N <sub>80</sub>	$Y = -449,54X^2 + 1679,1X - 827,46$	0,99	1,2–2,4
N <sub>80+20</sub>	$Y = -192,26X^2 + 778,01X - 55,158$	0,99	1,2–2,4
N <sub>80+40</sub>	$Y = -417,97X^2 + 1631,8X - 686,96$	0,99	1,2–2,4
N <sub>80+60</sub>	$Y = -1159,8X^2 + 4300,5X - 2615,5$	1,00	1,2–2,4

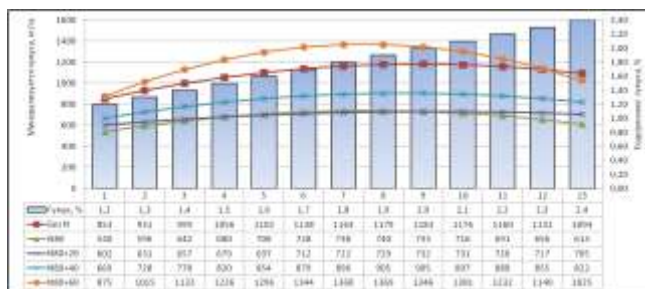


Рис. 4. Трендовая модель потерь гумуса (кг/га) в посевах ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса

Анализ данной модели показывает, что в вариантах без применения азотного удобрения, в среднем по всему интервалу гумусированности (от 1,20 до 2,40 %) потери гумуса составили 1081 кг/га (100 %). При дозе азотного удобрения 80 кг д.в./га, внесенного в основную заправку, потери гумуса по сравнению с вариантом без азота снизились в среднем до 669 кг/га (61,9 %). Вместе с тем по мере увеличения суммарной дозы азотного удобрения до 100, 120 и 140 кг д.в./га значение данного показателя возросло соответственно до 692 (64,0 %), 831 (76,8 %) и 1188 кг/га (109,9 %).

### Закключение

На фоне P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> при содержании гумуса в почве менее 2,00 % наибольшую урожайность зерна (от 4,65 до 7,15 т/га) ячменя, возделываемого на фуражные цели обеспечивает доза азотного удобрения 140 кг д.в./га (80 кг/га в основную заправку и 60 кг/га – в подкормку в фазу конец кушения – начало выхода в трубку). При содержании гумуса в почве от 2,00 до 2,50 % дозы азотного удобрения N<sub>80+60</sub> и N<sub>80+40</sub> обеспечивают равновеликую урожайность зерна (от 6,98 до 5,15 и от 6,93 до 5,00 т/га соответственно). При возделывании ячменя на делянках с содержанием гумуса от 2,50 % и выше преимущество доз азота N<sub>80+60</sub> и N<sub>80+40</sub> по сравнению с дозой N<sub>80+20</sub> исчезает. На этом же фоне в интервале гумусированности почвы от 1,30 до 2,30 % доза азотного удобрения 140 кг д.в./га обеспечивает наибольшую урожайность соломы (от 5,82 до 7,97 т/га). Наиболее высокое использование азота из удобрения (66,15–67,41 %), наибольшая минерализация гумуса (1368–1369 кг/га), а также наименьшая интенсивность хозяйственного баланса азота (62 %) в посевах ячменя наблюдается при гумусированности почвы на уровне 1,80–1,90 % и дозе азота N<sub>80+60</sub>.

Представленные в статье уравнения трендовых моделей урожайности ячменя, удельного выноса азота и минерализации гумуса рекомендуются использовать при расчетах баланса азота и гумуса в почве. Очевидный интерес они представляют при планировании урожайности ячменя, возделываемого на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса, а также при разработке мероприятий, направленных на повышение эффективности минеральных удобрений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кононова, М. М. Органическое вещество почв / М. М. Кононова. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
2. Кулаковская, Т. Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т. Н. Кулаковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 220 с.
3. Лыков, А. М. Органическое вещество и плодородие дерново-подзолистых почв в условиях интенсивного земледелия: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / А. М. Лыков; ТСХА. – М., 1976. – 46 с.
4. Лыков, А. М. Гумус и плодородие почвы / А. М. Лыков. – М.: Московский рабочий, 1985. – 192 с.
5. Лыков, А. М. Органическое вещество и плодородие почвы / А. М. Лыков // Актуальные проблемы земледелия. – М.: Колос, 1984. – С. 34–42.

6. Сапожников, Н. А. Трансформация азота удобрений в почве и повышение эффективности его использования растениями / Н. А. Сапожников // Сб. тр. / ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии. – Л., 1980. – Т. 49. – С. 65–81.
7. Семеновко, Н. Н. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семеновко, Н. В. Невмержицкий. – Минск: Хата, 1997. – 196 с.
8. Смирнов, П. М. Проблемы азота в земледелии и результаты исследований с  $N^{15}$  / П. М. Смирнов // Агрохимия. – 1977. – № 1. – С. 3–25.
9. Тейт, Р. Органическое вещество почвы / Р. Тейт. – М.: Мир, 1991. – 349 с.
10. Тюрин, И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии / И. В. Тюрин. – М.: Наука, 1965. – 319 с.