

УРОЖАЙНОСТЬ, ВЫНОС И КОЭФФИЦИЕНТЫ ВОЗМЕЩЕНИЯ ВЫНОСА ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И ПРИМЕНЯЕМОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ ПОД ЯРОВОЙ ЯЧМЕНЬ

Н. Н. Семененко, О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Зерно – важнейшее сырье для пищевой и технической промышленности, около 80 % объемов его производства используется в животноводстве в качестве концентрированных кормов. В настоящее время перед земледелием Беларуси поставлена задача – довести и стабилизировать ежегодные валовые сборы зерна на уровне 10 млн т. Проблема повышения урожайности и валовых сборов также актуальна и для ячменя – главной фуражной культуры, посевные площади которой составляют более 500 тыс. га. Аграрной наукой производству предложены новые сорта и технологии возделывания этой культуры. В то же время средняя урожайность зерна ячменя по Беларуси составляет около 34 ц/га. Важнейшим резервом увеличения урожайности и валовых сборов, снижения себестоимости производства зерна ячменя может быть совершенствование технологии его возделывания на основе, прежде всего, повышения эффективности использования удобрений и почвенных ресурсов.

Плодородие почв является основой устойчивого развития аграрного комплекса. Поэтому большое народнохозяйственное значение имеют поиски путей рационального использования почв, сохранения и повышения их плодородия. Согласно данным последнего тура агрохимических обследований установлено [1], что почвы Беларуси по содержанию гумуса, а значит и азота, подвижных соединений фосфора и калия по отдельным полям даже одного сельхозпредприятия различаются в 3–4 и более раз. Около 30 % обследуемой площади пашни занимают высококультурные земли, часть из которых содержит более 600 мг/кг почвы подвижных форм фосфатов и 400 калия, что значительно выше оптимального уровня. На отдельных полях встречаются почвы с низкими запасами доступных растениям соединений азота и содержанием фосфатов и калия выше оптимального уровня. В исследованиях с применением изотопных индикаторов [2–5] было показано, что для формирования урожайности сельскохозяйственные культуры поглощают элементы минерального питания из двух источников – почвы и вносимых удобрений пропорционально наличию их в почве в доступных растениям соединениях. Так, с применением изотопов фосфора P^{32} и азота – N^{15} установлено (Н. Н. Семененко, 1973, 1992, 2003), что доля участия фосфора и азота удобрений в общем выносе его урожаем изменяется от 60–50 % при очень низком и низком до 15–10 % при высоком содержании доступных растениям форм фосфора и потен-

циально усвояемого азота в почве. В зоне размещения животноводческих комплексов выявлены поля (участки), на которых содержание усвояемого азота в слое 0–40 см почвы превышает оптимальный (250–350 кг/га – песчаные и супесчаные на песках и 300–400 кг/га – суглинистые и супесчаные подстилаемые суглинком) или имеет экологически опасный уровень (более 350 и 400 кг/га соответственно), где применение азотных удобрений не требуется. Поэтому для более эффективного использования почвенных ресурсов и удобрений необходим дифференцированный подход в использовании последних на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур применительно для каждого поля.

Агрохимической наукой для определения доз удобрений на планируемую урожайность предложен ряд методов. Многие разработанные ранее расчетные методы, основанные на коэффициентах использования растениями питательных веществ из почвы и удобрений в связи с их высокой вариабельностью отличаются неточностью определения доз удобрений [6–8]. Рекомендации о дозах удобрений, основанные на экстраполяции данных полевых опытов с соответствующими поправками на свойства почв, также оказались мало приемлемы в современных условиях из-за отсутствия достаточно обоснованных поправок к таким дозам.

В Беларуси применение удобрений основывается на концепции расширенного воспроизводства плодородия почв [9–12]. В соответствии с которой одним из приемов повышения плодородия почв является применение более высоких доз фосфорных и калийных удобрений. Например, на почвах с содержанием элементов питания ниже оптимального уровня предлагается увеличивать дозы внесения фосфорных удобрений на 40–120, а калийных – 20–40 % сверх выноса (на 48–75 и 30–103 кг/га соответственно). Эффективность такой системы применения удобрений в предыдущий период была обусловлена низкими ценами на удобрения и энергоресурсы. К настоящему времени цены на удобрения выросли в несколько раз. Применение удобрений в дозах существенно превышающих вынос элементов питания с урожаем приводит к снижению их окупаемости, рентабельности использования и доступности растениям поглощенных фосфатов, ухудшению качества продукции и состава микроорганизмов почвы, потерям азота и калия. Поэтому в современных производственных условиях системы применения удобрений под зерновые культуры должны основываться на критериях экономической и экологической целесообразности, поддержания или умеренного повышения запасов элементов питания в почвах и улучшения качества продукции. Такой принцип использования удобрений в странах Западной Европы находит применение с конца 80-х годов прошлого века.

По мнению ученых ближнего и дальнего Зарубежья [13], а также благодаря результатам новых исследований, полученных в Беларуси, для расчета оптимальной дозы элемента питания удобрения на планируемую урожайность культуры наиболее перспективным считается использование метода возмещения выноса (регулируемого баланса). Сущность этого метода заключается в том, что вынос элементов питания планируемым урожаем компенсируется за счет удобрения с корректировкой на уровень содержания их в почве, используя для этого соответствующие коэффициенты возмещения выноса.

Для создания нормативной базы коэффициентов возмещения удобрениями выноса элементов питания урожаем сельскохозяйственных культур для суглинистых, супесчаных и песчаных почв разного уровня плодородия необходимо проведение серии полевых опытов с широким диапазоном вариантов систем удобрения. Особую актуальность разработка нормативов возмещения выноса элементов питания урожаем имеет для почв с высоким потенциальным плодородием, имеющих близкие к оптимальным значения агрохимических, агрофизических и агробиологических свойств. Такие почвы способны обеспечить формирование высокого уровня урожайности и качества продукции практически всех сельскохозяйственных культур при более низких затратах минеральных удобрений. Поэтому разработка приемов более эффективного использования таких почв, обеспечивающих их высокую продуктивность и дальнейшее сохранение плодородия, а также повышение окупаемости удобрений является новой и актуальной.

Цель исследований – выявить наиболее эффективные варианты систем удобрения по действию на урожайность, вынос и коэффициенты возмещения выноса основных элементов питания для ярового ячменя, возделываемого на дерново-подзолистых легкосуглинистых, высокообеспеченных фосфатами и калием почвах; установить роль удобрений в повышении устойчивости ячменя к неблагоприятным погодным условиям вегетации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные полевые исследования проводились в стационарном опыте РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района в 2015–2017 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в севообороте: вико-рапсовая смесь – кукуруза на зеленую массу – яровая пшеница – яровой ячмень – яровой рапс – озимая пшеница. Соломистый навоз вносился под кукурузу. Агрохимические показатели ($A_{\text{пах.}}$) почвы опытного участка: pH – 6,3, содержание гумуса – 2,3 %, подвижных форм фосфатов – 652 и калия – 366 мг/кг почвы, Нусв. (слой 0–40 см.) – 115 кг/га. Содержание в почве подвижных форм фосфатов и калия определяли по Кирсанову в 0,2 М HCl [14], а Нусв. – по методу Н. Н. Семененко и др. [15]. Почва характеризуется оптимальным для сельскохозяйственных культур уровнем кислотности, средним содержанием гумуса, низкой обеспеченностью доступными растениям соединениями азота, высокой – калия и очень высокой – фосфора. Это указывает на сильную разбалансированность содержащихся в почве элементов и необходимость создания за счет удобрений оптимального режима минерального питания растений ячменя. Дисперсионный анализ экспериментальных данных выполнен по методу Б. А. Доспехова [16] с использованием программы MS Excel.

Агротехника возделывания ячменя – рекомендованная для Центральной зоны на суглинистых почвах. Сорт ячменя – Стратус, элита, норма высева – 230 кг/га. Схема опыта и дозы удобрений представлены в табл. 1. Минеральные удобрения – мочевины, аммонизированный суперфосфат (N – 8 %, P_2O_5 – 33 %) и хлористый калий применяли в основное внесение, кроме того, мочевины – в подкормку согласно схеме опыта. Общая площадь делянки – 36 м².

При определении норматива удельного выноса (Нуд. в.) элементов питания с одной тонной продукции (кг/т) использовалась следующая информация: урожай-

ность основной и побочной продукции, содержание сухого вещества и элементов питания в ней. Норматив удельного выноса элементов питания определялся по формуле

$$N_{\text{уд.в.}} = \frac{[(Y_{\text{см1}} \cdot C_1) + (Y_{\text{см2}} \cdot C_2)]}{Y_0}, \quad (1)$$

где $N_{\text{уд.в.}}$ – норматив удельного выноса элементов питания, кг/т; $Y_{\text{см1}}$ и $Y_{\text{см2}}$ – вес сухой массы основной и побочной продукции, т; C_1 и C_2 – содержание элементов питания в основной и побочной продукции, %; В числителе – $[(Y_{\text{см1}} \times C_1) + (Y_{\text{см2}} \times C_2)]$ – хозяйственный вынос элементов питания, кг/га; Y_0 – урожайность основной продукции при стандартной влажности, т/га.

Коэффициент возмещения выноса (K_v) представляет собой соотношение внесенного удобрения к его выносу урожаем культуры. K_v , выраженный в процентах, т.е. умноженный на 100, в агрохимической литературе трактуется как интенсивность баланса. В каждом конкретном случае коэффициент возмещения выноса рассчитывается по формуле

$$K_v = D_f / B_f, \quad (2)$$

где D_f – годовая доза фактически внесенного в оптимальном варианте системы удобрения опыта элемента питания под полученную урожайность, кг/га; B_f – фактический вынос данного элемента урожаем основной и побочной продукции, кг/га.

Метеорологические условия вегетационных периодов 2015–2017 гг. исследований различались по температурному режиму и количеству осадков, что оказало неоднозначное влияние на рост и развитие растений и формирование урожайности ячменя (табл. 1). Погодные условия вегетационного периода 2015 г. отличались от среднеемноголетних показателей. Но при этом достаточное количество осадков и оптимальный температурный режим в апреле и мае благоприятно повлияли на закладку и развитие вегетативных и генеративных органов растений. Некоторый недостаток влаги и повышенные температуры в июне и августе не оказали значительного негативного влияния на формирование урожайности зерна ячменя. Вегетационный период 2016 г. по погодным условиям отличался повышенной температурой воздуха в течение всей вегетации ячменя (на 1,9–4,5 °C выше среднеемноголетнего) и недостатком осадков в мае и июне (31 % от среднеемноголетнего). Такие гидротермические условия негативно сказались на кущении, закладке колосков в колосе и цветков в колосках. Только обильные июльские дожди обеспечили хороший налив и формирование крупного зерна. В течение всего периода роста и развития ячменя вегетационный период 2017 г. характеризовался температурой воздуха близкой к среднеемноголетним показателям. Однако осадки в течение периода вегетации растений выпадали крайне неравномерно: в апреле и июле осадков выпало почти в 2 раза больше, а в мае (2–3 декады) и июне (1 декада) – только 23 % от среднеемноголетних значений. В целом же сумма осадков (381 мм), выпавших за вегетационный период 2017 г. в Минском районе, превышала среднеемноголетний показатель на 11 %, что также не способствовало хорошему формированию урожайности.

Таблица 1

Метеорологические показатели наблюдений за вегетационные периоды 2015–2017 гг.

Показатель	Годы	Апрель		Май			Июнь			Июль			Август			Сум- ма за вегета- цию
		декады		декады			декады			декады			декады			
		2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Осад- ки, мм	2015	18	20	34	6	27	0	23	2	23	28	2	3	0,1	2	188,1
	2016	23	12	8	7	30	4	49	1	40	78	31	5	28	6	322
	2017	22	44	21	4	4	8	17	28	17	27	106	21	12	50	381
	Сред. мн.	14	15	17	19	22	28	29	29	29	29	32	28	25	27	343
Темпе- рату- ра, °C	2015	7,0	11,0	12,0	11,0	15,4	18,2	17,6	16,4	21,1	16,6	18,1	22,8	19,5	19,9	226,6
	2016	9,3	7,2	14,7	13,4	18,0	15,9	17,0	22,1	18,6	18,7	21,1	20,8	16,3	19,3	232,4
	2017	3,7	5,5	9,5	12,3	17,1	14,5	17,5	17,1	15,6	17,3	19,8	20,5	22,3	14,2	206,9
	Сред. мн.	7,3	9,6	11,7	13,4	14,7	15,6	16,4	17,2	18,0	18,6	18,8	18,6	17,8	16,1	213,8

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что за счет эффективного плодородия почвы средняя за три года урожайность ячменя составила 35 ц/га. Последствие навоза способствовало получению дополнительных 4,1 ц/га зерна, что составляет прирост 11 % в сравнении с вариантом без внесения удобрений, при окупаемости 1 т навоза 6,8 кг зерна ячменя. В зависимости от системы удобрения в среднем за три года урожайность зерна ячменя по вариантам опыта варьировала в пределах от 39,1 до 63,6 ц/га.

При этом наиболее высокий её уровень достигнут при комплексном применении азотных, в дозе N_{90+30} , на фоне последствия навоза, внесения фосфорных, калийных и микроудобрений. Максимальная прибавка от внесения удобрений составила 28,6 ц/га, или 82 % к контролю. Из минеральных удобрений по действию на урожайность зерна ячменя наиболее эффективным оказалось применение азотных. При внесении дозы азота N_{60+30} прибавка урожайности зерна составила в среднем 17,5 ц/га при окупаемости 1 кг азота 19,4 кг зерна. Внесение рекомендуемых для исследуемых почв доз фосфорных и калийных удобрений $P_{20}K_{45}$ обеспечило получение прибавки урожайности зерна 2,9 ц/га при окупаемости 1 кг РК 4,5 кг зерна. Повышение доз этих видов удобрений в два раза до $P_{40}K_{90}$ оказалось неэффективным приемом, дополнительная прибавка урожайности зерна составила только 0,8 ц/га. По результатам полевых трехлетних исследований так же установлено, что применение микроудобрений не оказало значимого влияния на повышение урожайности зерна ячменя, отразив лишь тенденцию его увеличения (0,8–1 ц/га).

Известно, что на формирование урожайности, наряду с минеральным питанием, большое влияние оказывают водный и температурный режимы почв и воздуха в течение вегетации растений. Климатическая зона Беларуси характеризуется неустойчивыми по годам в период вегетации сельскохозяйственных культур гидротермическими условиями. Поэтому особо следует остановиться на влиянии погодных условий на формирование урожайности ячменя и эффективности применения удобрений на высокоокультуренных суглинистых почвах.

Таблица 2

Влияние систем удобрения и погодных условий на урожайность зерна ячменя

Вариант	Урожайность, ц/га				Прибавка, ц/га				Окупаемость, кг зерна			
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее	к конт-ролю	от N	от РК	от навоза	1 кг N	1 кг РК	1 кг N	1 т навоза
Без удобрений (контроль)	48,2	22,6	34,0	35,0	—	—	—	—	—	—	—	—
П.н.* – Фон 1	55,9	25,7	35,7	39,1	4,1	—	—	4,1	—	—	—	6,8
Фон 1 + N ₆₀	64,0	38,2	51,0	51,1	16,1	12,0	—	—	20,0	—	—	—
Фон 1 + N ₆₀₊₃₀	69,6	43,9	56,2	56,6	21,6	17,5	—	—	19,4	—	—	—
Фон 1 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	67,3	48,1	56,7	57,4	22,4	—	—	—	—	—	—	—
Фон 1 + N ₉₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	70,7	50,4	57,5	59,5	24,5	—	—	—	—	—	—	—
П.н.* + P₂₀K₄₅ – Фон 2	56,3	29,4	40,4	42,0	7,0	—	2,9	—	—	4,5	—	—
Фон 2 + N ₆₀	65,1	45,2	55,0	55,1	20,1	13,1	—	—	21,8	—	—	—
Фон 2 + N ₆₀₊₃₀	70,0	47,5	60,6	59,4	24,4	17,4	—	—	19,3	—	—	—
Фон 2 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	66,3	51,2	60,8	59,4	24,4	—	—	—	—	—	—	—
Фон 2 + N ₉₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	72,3	52,7	65,8	63,6	28,6	—	—	—	—	—	—	—
П.н.* + P₄₀K₉₀ – Фон 3	57,0	29,6	41,9	42,8	7,8	—	3,7	—	—	2,8	—	—
Фон 3 + N ₆₀	65,2	45,9	55,7	55,6	20,6	12,8	—	—	21,3	—	—	—
Фон 3 + N ₆₀₊₃₀	67,6	50,6	63,1	60,4	25,4	17,6	—	—	19,6	—	—	—
Фон 3 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	67,2	52,8	64,2	61,4	26,4	—	—	—	—	—	—	—
Фон 3 + N ₉₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	69,8	53,4	67,2	63,5	28,5	—	—	—	—	—	—	—
НСР ₀₅	2,8	2,7	2,8	2,6	—	—	—	—	—	—	—	—

П.н.* – 2-й год последдействия 60 т/га соломистого навоза.

Для характеристики водного и теплового режимов в период вегетации растений пользуются данными отклонений фактического состояния от среднемноголетних показателей осадков и температуры воздуха. Приведенные в табл. 3 данные показывают, что как недостаток, так и избыток влаги и тепла в отдельные периоды вегетации, в сравнении с многолетними данными, негативно сказались на урожайности ячменя. За счет почвенного плодородия по годам исследования она колебалась в пределах от 48,2 (более благоприятные) до 22,6 ц/га (относительно менее благоприятные погодные условия).

Таблица 3

Участие почвы и удобрений в формировании урожайности ячменя при различных погодных условиях вегетации растений

Факторы	Годы					
	2015		2016		2017	
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Почва	48,2	67	22,6	43	34,0	52
Последствие навоза	7,7	10,5	3,1	6	1,7	2
РК – удобрения	0,4	0,5	3,7	7	4,7	7
N – удобрения	16,0	22	23,3	44	25,4	39
Урожайность, ц/га	72,3	100	52,7	100	65,8	100

Только за счет погодных условий урожайность ячменя в 2016 году снизилась в сравнении с 2015 более чем в 2 раза. Коэффициент вариации урожайности за три года исследований составляет 38 %, что характеризует совокупность данных по урожайности как неоднородную. При применении же оптимальной системы удобрений, включающей внесение $N_{90+30}P_{20}K_{45} + Cu_{50} + Mn_{50}$ на фоне второго года последствия 60 т/га навоза, урожайность ячменя по годам исследования также колебалась, но на более высоком уровне: от 72,3 (более благоприятные) до 52,7 ц/га (относительно менее благоприятные погодные условия). При средней за три года 63,6 ц/га коэффициент вариации урожайности составляет 16 % (степень рассеивания данных средняя) и в 2,3 раза ниже, чем в варианте без удобрений. Это указывает на то, что внесение оптимальных доз удобрений способствует существенному снижению негативного влияния погодных условий и стабилизации урожайности и валовых сборов зерна.

Научный и практический интерес представляют результаты анализа влияния отдельных факторов на формирование урожайности ячменя при изменяющихся погодных условиях. На примере оптимального варианта системы удобрения (приведена выше) рассмотрим влияние отдельных факторов (почва, последствие навоза, фосфорные, калийные, азотные удобрения) на урожайность в зависимости от погодных условий вегетации ячменя. При более благоприятных гидротермических условиях апреля и мая 2015 года доля участия почвы в формировании урожайности достигает 67 и последствие навоза – 10,5 %. Прибавка урожайности от фосфорных и калийных удобрений составляет 0,4 ц/га (0,5 % от общей), т.е. незначительная. Более высокая прибавка (16,0 ц/га и 20,0 % соответственно) – от азотных. В то же время при неблагоприятных погодных условиях 2016 года (сильный недостаток влаги в мае и июне) доля участия почвы в формировании урожайности ячменя снижается до 43 %, или в 1,4 раза, возрастает роль фос-

форных и калийных до 7 и особенно азотных удобрений – до 44 % от общей. Таким образом, даже на высокоокультуренной суглинистой почве при недостатке влаги долевое участие почвы, а также последствия навоза в формировании урожайности снижается почти на 30 %. В таких условиях в два раза возрастает роль минеральных (всего 51 %), особенно азотных удобрений. Это имеет важное практическое значение. Относительно высокое влияние азотных удобрений на формирование урожайности ячменя в целом ожидаемое, т. к. исследуемая почва характеризуется низким содержанием потенциально усвояемых соединений азота. Вероятно, при недостатке влаги значительно снижается доступность растениям соединений фосфатов и калия почвы, что обуславливает достоверную эффективность действия фосфорных и калийных удобрений.

Вынос элементов питания урожаем ячменя и его возмещение за счет применения удобрений. В интенсивных системах земледелия ставится задача получать не только высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур хорошего качества, но и создавать условия для расширенного воспроизводства плодородия почв. Для обоснования более эффективных уровней применения удобрений и целенаправленного регулирования почвенного плодородия в настоящее время используется балансовый метод определения оптимальных доз минеральных удобрений. Основан он на количественных нормативах удельного (кг на тонну основной продукции с учетом побочной) и хозяйственного (кг/га) выноса элементов питания с урожаем и их возмещения. Поэтому для более объективной оценки эффективности исследуемых систем удобрения и погодных условий наряду с урожайностью ячменя в опыте изучалось также их влияние на хозяйственный и удельный вынос и коэффициенты возмещения элементов питания по вариантам опыта. Обобщенные результаты этих исследований представлены в табл. 4, 5.

Установлено (табл. 4), что уровень хозяйственного выноса основных элементов питания зависел от применяемых систем удобрения, погодных условий вегетационных периодов, урожайности зерна и соломы ячменя. Яровой ячмень накапливал больше азота и калия и меньше фосфора. На дерново-подзолистой суглинистой почве солоmistый навоз второго года последствия оказал положительное влияние на хозяйственный вынос элементов питания. В среднем за 3 года в сравнении с контролем по азоту он увеличился на 17, по фосфору – на 15 и калию – на 12 %. Дополнительное внесение минеральных удобрений увеличило общий вынос азота до 54,7–111,1; фосфора – 42,4–70,8 и калия – 69,9–132,8 кг/га. За 3 года исследований в варианте с максимальной урожайностью зерна ячменя (63,6 ц/га) среднегодовой хозяйственный вынос азота составил 111,1; фосфора – 64,5 и калия – 121,9 кг/га.

В рекомендациях производству для расчета доз удобрений на планируемую урожайность используют данные усредненных нормативов удельного выноса элементов питания с основной и побочной продукцией (кг/т). В нашем опыте в среднем за три года в зависимости от системы удобрения удельный вынос азота изменялся от 13,6 до 17,7; фосфора – 10,1–11,3 и калия – 12,4–20,3 кг/т. При системе удобрения, обеспечивающей получение максимальной урожайности зерна ячменя (63,6 ц/га), удельный вынос основной и соответствующей количеством побочной продукции в среднем составил: азота – 17,7; фосфора – 10,2 и калия – 18,5 кг/т.

Таблица 4

Влияние систем удобрения на вынос и коэффициент возмещения элементов питания ячменем (среднее за 2015–2017 гг.)

Вариант	Урожай- ность зерна, ц/га	Вынос с урожаем, кг/га			Удельный вынос, кг/т			Коэффициент возмещения		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений (контроль)	35,0	44,3	34,7	45,4	13,1	10,1	12,6	–	–	–
П.н.* – фон 1	39,1	52,0	40,2	50,3	13,6	10,4	12,4	–	–	–
фон 1 + N ₆₀	51,1	72,9	54,2	71,5	14,5	10,7	13,6	0,8	–	–
фон 1 + N ₆₀₊₃₀	56,6	92,7	60,7	81,4	16,7	10,8	14,0	1,0	–	–
фон 1 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	57,4	95,7	62,4	86,5	16,9	10,9	14,6	0,9	–	–
фон 1 + N ₉₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	59,5	105,4	62,9	95,2	17,9	10,6	15,5	1,1	–	–
П.н.* + P₂₀K₄₅ – фон 2	42,0	54,7	42,4	69,9	13,1	10,1	15,4	–	0,4	0,6
фон 2 + N ₆₀	55,1	80,2	57,5	85,6	14,7	10,5	14,8	0,8	0,4	0,5
фон 2 + N ₆₀₊₃₀	59,4	92,7	62,6	102,0	15,9	10,6	16,4	1,0	0,3	0,4
фон 2 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	59,4	98,7	62,1	111,5	16,8	10,4	18,1	0,9	0,3	0,4
фон 2 + N₉₀₊₃₀ + Cu₅₀ + Mn₅₀	63,6	111,1	64,5	121,9	17,7	10,2	18,5	1,1	0,3	0,4
П.н.* + P ₄₀ K ₉₀ – фон 3	42,8	56,3	44,4	75,0	13,3	10,4	16,0	–	0,9	1,2
фон 3 + N ₆₀	55,6	80,1	58,3	103,0	14,5	10,5	17,5	0,8	0,7	0,9
фон 3 + N ₆₀₊₃₀	60,4	97,7	63,3	116,5	16,3	10,5	18,5	0,9	0,6	0,8
фон 3 + N ₆₀₊₃₀ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀	61,4	101,5	65,8	121,1	16,7	10,8	19,1	0,9	0,6	0,7
фон 3 + N₉₀₊₃₀ + Cu₅₀ + Mn₅₀	63,5	109,8	70,8	132,8	17,5	11,3	20,3	1,1	0,6	0,7
НСР ₀₅	2,6	–								

П.н. – 2-й год последствий 60 т/га соломистого навоза.

Таблица 5

Влияние системы удобрения и погодных условий вегетации ячменя на варьирование выноса элементов питания урожаем и коэффициентов их возмещения (Кв.)

Вариант опыта	Показатель	Вынос с урожаем, кг/га				Удельный вынос, кг /т			
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	CV, %	2015 г.	2016 г.	2017 г.	CV, %
Без удобрений (контроль)	Азот	54,6	31,2	45,6	27	11,3	14,5	13,4	12
	P ₂ O ₅	44,7	23,7	35,6	30	9,3	10,5	10,5	7
	K ₂ O	64,3	23,6	48,2	45	13,3	10,4	14,2	16
N ₉₀₊₃₀ + P ₂₀ K ₄₅ + Cu ₅₀ + Mn ₅₀ *)	Азот	121,9	105,0	106,2	9	16,9	19,9	16,1	10
	Кв.	0,98	1,14	1,13	8	—	—	—	—
	P ₂ O ₅	75,9	56,8	60,7	16	10,5	10,8	9,2	8
	Кв.	0,26	0,35	0,33	12	—	—	—	—
	K ₂ O	260,1	69,3	96,2	73	27,7	13,2	14,6	43
	Кв.	0,17	0,65	0,47	56	—	—	—	—

*) – на фоне 2-й год последствия 60 т/га соломистого навоза.

На основании полученных данных хозяйственного выноса рассчитаны коэффициенты возмещения основных элементов питания в зависимости от применяемой системы удобрения. Установлено, что при возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой суглинистой почве при урожайности 59,4–63,6 ц/га зерна коэффициенты возмещения выноса азота составили 0,9–1,1, фосфора – 0,3–0,6 и калия – 0,4–0,7. Как было показано выше, применение более высоких доз фосфорных и калийных удобрений (фон 3) не способствует повышению урожайности зерна, но сопровождается дополнительными затратами. Внесение же в почву с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия, дополнительно P₂₀K₄₅, для повышения плодородия лишено всякого смысла. Поэтому считаем, что для исследуемых почв обоснованными оптимальными коэффициентами возмещения удобрениями выноса элементов питания урожаем будут следующие: N – 1,1; P₂O₅ – 0,3 и K₂O – 0,4.

Качество и ценность методов определения доз удобрений на планируемую урожайность зависит от надежности используемых нормативов. Известно, что нормативы удельного выноса и коэффициенты возмещения удобрениями выноса элементов питания урожаем культуры (Кв) являются основой нового метода расчета доз минеральных удобрений на планируемую урожайность и, в сравнении с другими показателями, характеризуются как более надежные. Например, коэффициент вариации нормативов удельного выноса элементов питания в 2,5–3 и более раз ниже, чем вариабельность коэффициентов их использования из почвы и удобрений. Однако вопрос сравнительной вариации и устойчивости данных хозяйственного и удельного выноса элементов питания и коэффициентов их возмещения в зависимости от погодных условий вегетации с зерновыми культурами на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах с повышенным содержанием гумуса, высоким – фосфора и калия и низким азота не изучался.

Приведенные в табл. 5 результаты исследований показывают, что, как и по урожайности ячменя, варьирование данных хозяйственного выноса азота и фосфора в варианте без внесения удобрений достигают значительных величин – CV равен 27

и 30 % соответственно. Применение оптимальной системы удобрения способствует снижению (в сравнении с контролем) варьирования данных хозяйственного выноса элементов питания в 3 раза по азоту (степень рассеивания данных незначительная) и почти в 2 – по фосфору (степень рассеивания данных средняя). Варьирование по годам показателей удельного выноса элементов питания незначительное, ниже хозяйственного, особенно в варианте без внесения удобрений. При применении оптимальной системы удобрения отмечается достаточно низкое по годам варьирование данных коэффициентов возмещения удобрениями выноса урожая ячменя азота – 8 (устойчивое состояние) и фосфора – 12 % (средняя устойчивость).

Следует отметить, что в связи со значительными колебаниями урожайности соломы ячменя (различия составляют более 3 раз) по годам исследований коэффициент варьирования данных хозяйственного и удельного выноса и коэффициент возмещения выноса урожая калия составляет более 30 %, т.е. разброс данных очень большой (совокупность неоднородная).

ВЫВОДЫ

1. Уровень урожайности ячменя на исследуемых почвах зависел от применяемых систем удобрения и погодных условий вегетации. В среднем за три года наиболее высокий уровень урожайности ячменя (63,6 ц/га) получен при комплексном применении азотных в дозе N_{90+30} (основное и в подкормку) на фоне последнего действия навоза (60 т/га), внесения фосфорных, калийных и микроудобрений. Максимальная прибавка от внесения удобрений составила 28,6 ц/га, или 82 % к контролю.

2. Из минеральных удобрений по действию на урожайность зерна ячменя наиболее эффективным оказалось применение азотных: внесение N_{60+30} повышало урожайность в среднем на 17,5 ц/га при окупаемости 1 кг азота 19,4 кг зерна. Выявлена оптимальная для исследуемых почв доза внесения фосфорных и калийных удобрений – $P_{20}K_{45}$, которая обеспечила получение достоверной прибавки урожайности – 2,9 ц/га при окупаемости 1 кг РК 4,5 кг зерна. Применение микроудобрений не оказало значимого влияния на повышение урожайности зерна ячменя, отразив лишь тенденцию его увеличения (0,8–1 ц/га).

3. Применение оптимальной системы удобрения, включающей внесение $N_{90+30}P_{20}K_{45} + Cu_{50} + Mn_{50}$ на фоне последнего действия 60 т/га навоза, способствует существенному снижению негативного влияния погодных условий и стабилизации урожайности по годам. При средней за три года 63,6 ц/га (колебания от 72,3 до 52,7) коэффициент вариации урожайности составил 16 % (степень рассеивания данных средняя), что в 2,3 раза ниже, чем в варианте без удобрений.

4. При неблагоприятных погодных условиях (2016 г.) доля участия почвы в формировании урожайности ячменя снижается с 67 (относительно благоприятные условия) до 43 %, или в 1,4 раза, возрастает роль фосфорных и калийных до 7 и особенно азотных удобрений – до 44 % от общей. В таких условиях в два раза возрастает роль минеральных (всего 51 %), особенно азотных удобрений, что имеет важное практическое значение.

5. При системе удобрения, обеспечивающей получение максимальной урожайности зерна ячменя (63,6 ц/га) среднегодовой хозяйственный вынос азота составил 111,1; фосфора – 64,5 и калия – 121,9 кг/га. Удельный вынос азота составил

в среднем 17,7; фосфора – 10,2 и калия – 18,5 кг/т основной с соответствующим количеством побочной продукции.

Для исследуемых почв оптимальными коэффициентами возмещения выноса элементов питания урожаем удобрений являются: N – 1,1; P_2O_5 – 0,3 и K_2O – 0,4.

6. Применение оптимальной системы удобрения способствует снижению (в сравнении с контролем) варьирования данных хозяйственного выноса элементов питания в 3 раза по азоту и почти в 2 – по фосфору. Варьирование по годам показателей удельного выноса элементов питания незначительное, ниже хозяйственного. Отмечается достаточно низкое по годам варьирование данных коэффициентов возмещения удобрениями выноса урожаем ячменя: азота – 8 и фосфора – 12 %. Более высокое варьирование данных по калию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
2. *Иванов, С. Н.* Физико-химический режим фосфатов торфяных и дерново-подзолистых почв. Госиздат с.-х. литературы БССР / С. Н. Иванов. – Минск, 1962. – 251 с.
3. *Семененко, Н. Н.* Фосфорный режим торфяно-болотных почв и фосфорное питание картофеля: автореф. ...дис. канд. с.-х. наук / Н. Н. Семененко; Ин-т земледелия. – Жодино, 1973. – 27 с.
4. *Семененко, Н. Н.* Азотный режим дерново-подзолистых почв и рациональное применение азотных удобрений: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук / Н. Н. Семененко. – Минск, 1992. – 48 с.
5. *Семененко, Н. Н.* Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Минск: Бел. изд. тов.-во. «Хата», 2003, – 163 с.
6. *Михайлов, Н. Н.* Определение потребности растений в удобрениях / Н. Н. Михайлов, В. П. Книпер. – М.: Колос, 1971. – 226 с.
7. *Афендулов, К. П.* Удобрения под планируемый урожай / К. П. Афендулов. – М.: Колос, 1973. – 240 с.
8. *Каюмов, М. К.* Программирование продуктивности полевых культур: справочник / М. К. Каюмов. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 31 с.
9. *Кулаковская, Т. Н.* Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1978. – 328 с.
10. *Лапа, В. В.* Оптимальные дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск, 2002. – 24 с.
11. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.
12. Рекомендации по применению известковых, фосфорных и калийных удобрений, обеспечивающих воспроизводство плодородия, улучшение агрохимических и биологических свойств пахотных и луговых почв по группам административных районов Беларуси / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 26 с.

13. Литвак, Ш. И. Системный подход к агрохимическим исследованиям / Ш. И. Литвак. – М.: Агропромиздат, 1990. – 220 с.
14. Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО / ГОСТ 26207-84. – М., 1984. – 6 с.
15. Семененко, Н. Н. Почвы. Метод определения потенциально усвояемого азота. РСТ Беларуси 908 – 91 / Н. Н. Семененко [и др.]. – Минск: Минсельхозпрод РБ, 1991. – 13 с.
16. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

PRODUCTIVITY, REMOVAL AND BATTERY REMOVAL FACTORS, DEPENDING ON WEATHER CONDITIONS AND THE FERTILIZER SYSTEM USED FOR SPRING BARLEY

N. N. Semenenko, O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva

Summary

The article presents the results of studies assessing the impact of fertilizer systems, weather and soil conditions on yields, carrying and compensation factors for the removal of nutrients by spring barley on sod-podzolic light loamy highly rich mobile forms of phosphorus and potassium. The optimal fertilizer system is the complex application of nitrogen at a dose of N_{90+30} (main and additional feeding), $P_{20}K_{45}$ against the background of manure (60 t/ha), which provides an increase of 28,6 t/ha or 82 % of control, contributes to stabilization yield by years (CV = 16 %). Under adverse weather conditions in the formation of barley yields, the participation of fertilizers increases (up to 51, of which nitrogen is up to 44 %). With an optimal fertilizer system, the specific nitrogen removal rate averaged 17,7; phosphorus – 10,2 and potassium – 18,5 kg/ton of basic with the corresponding amount of by-products. For the studied soils, the optimal recovery factors for the removal of nutrients by the crop of fertilizers are: N – 1,1; P_2O_5 – 0,3 and K_2O – 0,4.

Поступила 11.05.19