

УДК 631.811: 631.559: 631.582: 631.41: 631.445.24

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР СЕВООБОРОТА И АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ****Ю.П. Жуков, д.с.-х.н., РГАУ – МСХА, О.В. Чухина, к.с.-х.н., Н.В. Токарева, Е.И. Куликова, Вологодская ГМХА**

Показано, что в условиях Вологодской области на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве применение различных доз удобрений существенно повышало урожайность зеленой массы викоовсяной смеси, зерна озимой ржи, клубней картофеля и зерна ячменя в севообороте, как при использовании гербицидов, так и без них. Дозы удобрений, рассчитанные балансовым методом под плановую урожайность с помощью балансовых коэффициентов использования питательного вещества из удобрений и почвы, увеличили по сравнению с контролем вынос азота, фосфора, калия как культурами, так и сорной растительностью. Оплата 1 кг д. в. удобрений прибавкой обменной энергии в среднем достигла 142-52 МДж. При обработке культур севооборота гербицидами наблюдалось значительное повышение оплаты удобрений сбором обменной энергии при минимальной дозе удобрений (43 кг д.в./га) – на 30 МДж.

**Ключевые слова:** викоовсяная смесь, озимая рожь, картофель, ячмень, урожайность, севооборот, доза удобрений, гербициды, балансовые коэффициенты, баланс и оплата удобрений.

Вологодская область относится к зоне рискованного земледелия. Климат здесь благоприятен для роста как культурных растений, так и большого количества сорной растительности (достаточное количество тепла и осадков, ГТК больше 1,0). Многими авторами установлено, что даже при хорошем развитии культурных растений сорняки поглощают значительное количество питательных веществ из почвы и удобрений. Применение средств защиты от сорной растительности особенно важно в условиях Вологодской области – зоне высокой засоренности сорняками. Без комплексной химизации иногда большая часть элементов питания удобрений (до 50%) расходуется на развитие сорной растительности. Поэтому внесение удобрений без дополнительных приемов борьбы с сорняками не обеспечивает рациональный расход питательных веществ.

Урожайность сельскохозяйственных культур может быть значительно выше при грамотном использовании средств химизации, применяемых с учетом климатических условий региона, агрохимических показателей почвы и сортовых особенностей культур.

Известны методы элементарного баланса расчета доз удобрений на планируемые урожайность сельскохозяйственных культур и прибавку урожайности и др. (Державин, Литвак, Михайлов, 1978; Ненайденко, Трифонова, 1991; Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2002; Муравин, 2003; Минеев, 2004).

Метод расчета доз удобрений с помощью балансовых коэффициентов, предложенный Ю.П. Жуковым, позволяет изучить, на фоне средств химической защиты

культурных растений, не только продуктивность культур, вынос растениеводческой продукцией элементов питания, но и регулировать уровень плодородия почвы, предотвращая загрязнение окружающей среды. Кроме того, он даёт возможность довести дозу внесения удобрений под различные сельскохозяйственные культуры до оптимального значения [2].

Разрабатываемая нами технология возделывания культур в севообороте экономически выгодна, при ее применении стоимость прибавки урожая значительно превышает стоимость дополнительных затрат, а также позволяет решить проблему обеспечения собственными концентрированными кормами хозяйства региона.

Цель исследования – изучить влияние различных доз удобрений и гербицидов на урожайность и качество культур севооборота.

**Методика.** Согласно аттестату длительного опыта № 164, опыт включён в реестр Государственной сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами. Исследования проводили в 2010-2012 гг. в продолжительном полевом опыте, заложенном в 1990 г. на учебно-опытном поле Вологодской государственной молочно-хозяйственной академии (ВГМХА) им. Н.В. Верещагина.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая среднеокультуренная. В 1990 г. пахотный слой почвы опытного участка имел следующие агрохимические характеристики: содержание подвижного калия – 114 мг/кг, подвижного фосфора – 266 мг/кг почвы, содержание гумуса – 3,28 %.

К концу 5-й ротации в контрольном варианте (без удобрений) содержание подвижного калия уменьшилось до 55 мг/кг, подвижного фосфора – до 132 мг/кг, а содержание гумуса снизилось до 2,56 %.

Исследования проводили в 4-польном севообороте, развернутом в пространстве и во времени. В данном севообороте культуры чередовались следующим образом: 1 – викоовсяная смесь на зеленую массу (вика – сорт Львовская 22, овес – сорт Боррус); 2 – озимая рожь (сорт Волхова); 3 – картофель (сорт Елизавета); 4 – ячмень (сорт Выбор).

Схема опыта в годы исследований следующая:

- вар. 1 – без удобрений (контроль),
- вар. 2 – применение припосевного (припосадочного) удобрения культур;
- вар. 3, 4 применение исследуемых систем удобрения, различающихся дозой азота;
- вар. 5 – органоминеральная система, эквивалентная по дозе удобрений вар. 3 минеральной системы удобрения.

Дозы удобрений рассчитаны для получения плановой урожайности (т/га): озимой ржи – 3,5, картофеля – 25, ячменя – 3,5, викоовсяной смеси – 25.

В исследовании был применен метод расчета с помощью балансовых коэффициентов ( $K_b$ ) по формуле:

$K_b = (B/D) \cdot 100\%$ , где В – вынос питательного элемента культурой, Д – доза применяемого удобрения. Балансовые коэффициенты по фосфору и калию в третьем – пятом вариантах соответствуют 100% (нулевой баланс) и 150% (отрицательный баланс). Балансовые коэффициенты по азоту в третьем и пятом вариантах – 120% (отрицательный баланс), в четвертом варианте – 80 % (положительный баланс). Нулевой баланс по фосфору планируется исходя из того, что и в почвах опытного участка и Вологодской области повышенное или высокое его содержание, которое следует поддерживать на таком уровне.

Применяемая методика расчета доз удобрений с помощью дифференцированных балансовых коэффициентов обеспечивает получение планового уровня урожайности культур севооборота; позволяет влиять на качественные показатели получаемой продукции; способствует регулированию уровня плодородия почвы за счет изменения содержания питательных элементов в ней; минимизирует влияние неблагоприятных погодноклиматических условий в период вегетации культуры; позволяет рассчитать оптимальные дозы удобрений при ограниченной обеспеченности удобрениями, а также максимально допустимые дозы удобрений с учетом уровня плодородия почвы.

Повторность опыта – четырехкратная, размещение делянок усложненно-систематическое. Площадь одной делянки 140 м<sup>2</sup> (10 м x 14 м). В опыте изучали два фактора: А – виды и дозы удобрений и В – гербициды (да и нет). Для изучения эффективности расчетных доз удобрений в сочетании с принятыми в практике гербицидами, последними обрабатывали половину делянки. На викоовсяной смеси применяли гербицид Гербитокс с нормой расхода 0,7 л/га, на озимой ржи – Гербитокс, 1 л/га, на картофеле – Лазурит, 0,1 кг/га, на ячмене – Секатор Турбо, МД-0,7 л/га. Содержание элементов пита-

ния в растительных и почвенных образцах определяли общепринятыми методами [9].

Под зяблевую вспашку вносили фосфорно-калийные удобрения в виде двойного суперфосфата и калийной соли и 40 т/га торфонавозного компоста под картофель. Весной при проведении предпосевной культивации применяли азотные удобрения в виде аммиачной селитры. При посеве вносили под озимую рожь, викоовсяную смесь и ячмень сложное азотно-фосфорно-калийное удобрение, под картофель – нитроаммофос (в вар. 2 только при посеве). Посадку картофеля проводили на гребнях картофелесажалкой СН-4Б-1, зерновые культуры сеяли рядовым способом сеялкой СЗУ-3,6.

Уборку урожая зеленой массы викоовсяной смеси осуществляли самоходной косилкой Е-282, озимой ржи и ячменя ярового – комбайном «Сампо», картофеля – картофелекопалкой с последующим ручным подбором клубней.

Погодные условия в период исследований были малохарактерными для Вологодской области. Нехватка влаги во все годы исследований и жаркая погода летом 2010 и 2011 гг. обусловили неполучение плановой урожайности культур севооборота. Особенно низкой была урожайность викоовсяной смеси и ярового ячменя, что связано с непродолжительностью их вегетационного периода. Более растянутый период вегетации картофеля и озимой ржи позволил этим культурам сформировать более высокий урожай. Обработку данных производили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [1].

**Результаты исследований и их обсуждение.** На урожайность зеленой массы викоовсяной смеси в годы исследований значительно влияли погодные условия (табл. 1). Известно, что при недостатке влаги снижается доступность элементов питания растениям. Так, возможно в связи с низкой влагообеспеченностью растений в период вегетации в 2010 и в 2011 г., была получена низкая урожайность. Достаточно высокое количество осадков в период активного роста культур наблюдалось в 2012 г., что обеспечило получение наибольшей урожайности.

**1. Урожайность викоовсяной смеси (зеленая масса) при применении удобрений и гербицида в 2010–2012 гг., т/га**

Вариант опыта	2010 г.		2011 г.		2012 г.		Средняя		Прибавка к абсолютному контролю			
									т/га		%	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Без удобрений	6,99	6,44	14,30	13,51	16,36	16,83	12,55	12,26	-	-	-	-
N <sub>12</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	8,18	7,68	16,14	15,44	20,25	20,31	14,86	14,48	2,31	1,93	18	15
N <sub>75</sub> P <sub>35</sub> K <sub>85</sub>	9,94	9,31	17,84	17,52	23,60	23,98	17,13	16,94	4,58	4,39	36	35
N <sub>110</sub> P <sub>35</sub> K <sub>85</sub>	10,11	9,49	19,64	18,22	25,39	25,15	18,38	17,62	5,83	5,07	46	40
Последствие 40 т/га т.-нав. компоста + N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>65</sub>	10,42	9,39	18,10	17,33	24,60	24,86	17,71	17,19	5,16	4,64	46	37
HCP <sub>05</sub> А (удобрения)	0,70		0,96		1,70							
HCP <sub>05</sub> В (гербицид)	0,21		0,61		1,07							
HCP <sub>05</sub> АВ	-		-		0,76							

Примечание. Здесь и далее: 1 – без обработки гербицидом, 2 – с обработкой гербицидом.

При повышении доз минеральных удобрений достоверно увеличивалась урожайность зеленой массы викоовсяной смеси. Так, минимальная доза удобрений (вар. 2) в годы исследований обеспечивала существенную прибавку урожайности (1,19–3,89 т/га), которая в среднем за 3 года составила 18%.

В годы с недостаточным количеством осадков (2010, 2011) варианты с расчётными дозами удобрений (вар. 3–5) обеспечили существенные прибавки урожайности зеленой массы викоовсяной смеси (1,7–3,5 т/га) по

сравнению с минимальной дозой удобрения (вар. 2), более значительные (3,35–5,14 т/га) – в более влажном 2012 г. Урожайность на эквивалентных по питательным элементам системах удобрения культуры (вар. 3 и 5) ежегодно и в среднем за 3 года практически не различалась. Максимальная урожайность зеленой массы викоовсяной смеси (25,39 т/га) получена в 2012 г. в варианте с минеральной системой удобрения с максимальной дозой азота (N<sub>110</sub>P<sub>35</sub>K<sub>85</sub>).

В среднем за 3 года применение удобрений в дозах, рассчитанных с помощью балансовых коэффициентов, повысило урожайность зеленой массы викоовсяной смеси на 36–46 %.

В связи с неблагоприятными погодными условиями 2010 г. плановая урожайность озимой ржи не получена.

Достаточное количество влаги в период цветения-налива зерна озимой ржи в 2011-2012 гг. обеспечило значительную прибавку урожайности, причем в вар. 3-5 она превысила плановую (табл. 2).

**2. Урожайность зерна озимой ржи при применении удобрений и гербицида, т/га**

Вариант опыта	2010 г.		2011 г.		2012 г.		Средняя		Прибавка к абсолютному контролю			
									т/га		%	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Без удобрений (контроль)	1,69	1,66	2,37	2,59	3,17	2,89	2,41	2,38	-	-	-	-
N <sub>12</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	1,90	1,85	3,12	3,41	3,58	3,67	2,87	2,98	0,46	0,57	19	24
N <sub>90</sub> P <sub>40</sub> K <sub>65</sub>	2,88	2,83	3,58	3,83	3,84	3,84	3,43	3,50	1,02	1,09	42	45
N <sub>130</sub> P <sub>40</sub> K <sub>65</sub>	3,35	3,37	3,89	3,99	4,50	4,52	3,91	3,96	1,5	1,55	64	64
Последствие 40 т/га т.-нав. компоста +N <sub>80</sub> P <sub>35</sub> K <sub>65</sub>	2,85	3,17	3,86	3,85	4,19	4,21	3,63	3,74	1,22	1,33	51	55
НСП <sub>05</sub> А (удобрения)	0,21		0,27		0,10							
НСП <sub>05</sub> В (гербицид)	-		0,16		-							
НСП <sub>05</sub> АВ	0,09		-		-							

Минимальные дозы удобрений ежегодно обеспечивали прибавку урожайности, которая в среднем за три года составила 19 %. Применение расчетных доз удобрений (вар. 3-5) без обработки гербицидом в среднем за три года исследований значительно (на 1,02-1,5 т/га) повышало урожайность зерна озимой ржи по сравнению с минимальной дозой удобрения. При этом эквивалентные по элементам питания вар. 3 и 5 различались не существенно. Максимальная урожайность зерна при применении удобрений (4,5 т/га) была в 2012 г. в вар. 4.

В среднем за три года исследований применение удобрений в дозах, рассчитанных с помощью балансовых коэффициентов (вар. 3-5), обеспечило получение плановой урожайности зерна озимой ржи, прибавка к контролю составила 42-64 %.

При применении удобрений и гербицида существенную прибавку урожайности зерна – 45-64 % к абсолютному контролю в среднем за три года так же обеспечили вар. 3-5. Внесение удобрений дало прибавку урожайности клубней картофеля (табл. 3).

**3. Урожайность клубней картофеля при применении удобрений и гербицида, т/га**

Вариант опыта	2010 г.		2011 г.		2012г.		Средняя		Прибавка к абсолютному контролю			
									т/га		%	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Без удобрений	9,04	10,53	12,83	13,11	14,74	18,15	12,20	13,93	-	-	-	-
N <sub>20</sub> P <sub>20</sub>	10,20	11,24	13,32	13,77	18,36	22,65	13,96	15,89	1,76	3,96	14	32
N <sub>125</sub> P <sub>50</sub> K <sub>150</sub>	14,01	14,43	19,34	19,57	24,30	29,53	19,22	21,18	7,02	8,98	58	74
N <sub>190</sub> P <sub>50</sub> K <sub>150</sub>	14,59	16,49	19,58	20,39	27,55	32,63	20,57	23,17	8,37	10,97	69	90
40 т/га т.-нав. компоста +N <sub>70</sub> P <sub>15</sub> K <sub>30</sub>	15,73	17,20	19,69	20,02	28,11	33,13	21,18	23,45	8,98	11,25	74	92
НСП <sub>05</sub> А (удобрения)	0,57		1,09		1,08							
НСП <sub>05</sub> В (гербицид)	0,74		-		1,41							
НСП <sub>05</sub> АВ	-		-		-							

Повышение урожайности картофеля без обработки гербицидом в варианте с минимальной дозой удобрений (вар. 2) составило 14%, а в вариантах с расчетными системами удобрения (вар. 3-5) – 58-74 % по сравнению с контролем.

Комплексное применение гербицида и удобрений значительно повышало урожайность клубней картофеля. Так, минимальная доза удобрений обеспечила прибавку 32 %, а расчетные системы удобрения – 74-92 % к абсолютному контролю. Наибольшую

урожайность культуры обеспечила органоминеральная система удобрения как без обработки гербицидом (28,11 т/га) так и с гербицидом (33,13 т/га) в 2012 г.

Минимальная урожайность ячменя ярового отмечена в засушливом 2010 г., а максимальна – в более увлажненном 2012 г. во всех удобренных вариантах (табл. 4). Минимальная система удобрения (вар. 2) в среднем за три года обеспечила незначительное повышение урожайности культуры – на 0,37 т/га.

**4. Урожайность зерна ячменя при применении удобрений и гербицида, т/га**

Вариант опыта	2010 г.		2011 г.		2012г.		Средняя		Прибавка к абсолютному контролю			
									т/га		%	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1. Без удобрений	0,93	0,94	1,85	1,81	1,76	1,75	1,52	1,50	-	-	-	-
2. N <sub>12</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	1,08	1,08	2,06	2,06	2,53	2,31	1,89	1,82	0,37	0,30	24	20
3. N <sub>80</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub>	1,26	1,24	2,20	2,38	2,76	2,76	2,07	2,13	0,55	0,61	36	40
4. N <sub>120</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub>	1,27	1,21	2,26	2,27	3,24	3,23	2,26	2,24	0,74	0,72	49	47
5. Последствие 40 т/га т.-нав. компоста+N <sub>30</sub> P <sub>10</sub> K <sub>20</sub>	1,35	1,33	2,47	2,43	3,05	3,07	2,29	2,28	0,77	0,76	51	50
НСП <sub>05</sub> А (удобрения)	0,08		0,18		0,18							
НСП <sub>05</sub> В (гербицид)	-		-		-							
НСП <sub>05</sub> АВ	-		-		-							

Наиболее существенно урожайность зерна ярового ячменя повышается ежегодно при применении расчетных доз удобрений (вар. 3-5). В 2011 и 2012 гг. положительным оказалось последствие торфонавозного компоста на фоне минеральных удобрений (вар. 5) относительно эквивалентной минеральной системы удобрения (вар. 3). Максимальная урожайность ячменя ярового получена в вар. 4 ( $N_{120}P_{40}K_{60}$ ) в 2012 г.; в вар. 5 (последствие 40 т/га торфонавозного компоста+ $N_{30}P_{10}K_{20}$ ) – в 2011 г.; в вариантах с расчетными дозами удобрений – в 2010 г.

При применении удобрений и гербицида существенную прибавку урожайности зерна – 40-50 % к абсолютному контролю в среднем за три года – так же обеспечили варианты опыта 3-5.

Следовательно, в среднем за три года проведения исследований дозы удобрений, рассчитанные с помощью балансовых коэффициентов (вар. 3-5), повышали урожайность культур севооборота: викоовсяной смеси на 4,6-5,8 т/га, озимой ржи на 1,0-1,5, картофеля – на 7,0-9,0 и незначительно ячменя – на 0,6-0,8 т/га.

Хозяйственный вынос использования азота, фосфора и калия определяется содержанием элементов питания в урожае, отчуждаемом с поля.

Полученные данные хозяйственного выноса использования азота, фосфора и калия из удобрений и почвы свидетельствуют о том, что при повышении доз вносимых удобрений увеличивается вынос элементов питания (табл. 5).

Применение минимальной дозы удобрений ( $N_{12}P_{16}K_{16}$ ) повышает вынос азота культурами на 20 %, фосфора на 18, калия на 26 %.

При внесении расчетных доз удобрений значительно увеличивается вынос элементов питания возделываемыми культурами. Так, вынос азота повысился на 62-86 %, фосфора на 50-76, калия на 67-87 % по сравнению с вариантом без удобрений. Максимальный вынос элементов питания из почвы и удобрений культурами наблюдался в варианте с максимальной дозой азота. Химическая прополка повышала вынос элементов питания культурами по отношению к абсолютному контролю: азота на 29-94 %, фосфора на 27-76, калия на 29-93 %.

Баланс элементов питания – это прогнозный эколого-агрономический показатель продуктивности сельскохозяйственных культур, плодородия почв и степени соответствия их количеству и качеству вносимых удобрений, а также характеризующий химическую нагрузку на почву, растения и находящиеся во взаимодействии с ними компоненты окружающей среды.

Баланс питательных элементов в среднем за звено севооборота приведен в таблице 5.

##### 5. Баланс питательных элементов в среднем за звено севооборота

Показатель	Элемент	Вариант опыта							
		2		3		4		5	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Средне-взвешенный ежегодный хозяйственный вынос, кг/га	N	68,5	73,3	92,1	96,8	105,9	110,3	101,4	106,2
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25,4	27,3	32,2	34,3	37,9	37,9	37,4	37,4
	K <sub>2</sub> O	82,6	84,4	109,5	113,1	122,5	126,3	116,9	123,8
Среднегодовое внесение удобрений, кг/га	N	14	14	93	93	138	138	93	93
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	17	17	41	41	41	41	41	41
	K <sub>2</sub> O	12	12	90	90	90	90	90	90
Баланс, кг/га	N	-54,5	-59,3	+0,9	-3,8	+32,1	+27,7	-8,4	-13,2
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-8,4	-10,3	+8,8	+6,7	+3,1	+3,1	+3,6	+3,6
	K <sub>2</sub> O	-70,6	-72,4	-19,5	-23,1	-32,5	-36,3	-26,3	-33,8
K <sub>6</sub> , %	N	506	527	99	104	77	80	109	113
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	149	161	77	82	88	91	88	90
	K <sub>2</sub> O	327	313	119	121	134	136	124	132

Отрицательный баланс и K<sub>6</sub> выше 100% свидетельствуют о том, что достигнут высокий уровень урожайности исследуемых культур частично за счёт использования элементов питания почвы (почвенного плодородия), особенно в вар. 2. Лимитирующим фактором в опыте был недостаток калия, поэтому, возможно, более высокая урожайность не получена по этой причине. Снижение содержания азота в почве должно наблюдаться в вар. 2 и 5, фосфора – в вар. 2, калия – во всех вариантах опыта. В других случаях отмечен положительный баланс элементов, следовательно, должно быть увеличение содержания элементов почвенного питания. В вар. 3, хотя и был запланирован незначительный отрицательный баланс, наблюдается фактический, близкий к нулевому. Сравним баланс и K<sub>6</sub> с фактическими изменениями содержания подвижных форм фосфора и калия в почве (табл. 6).

##### 6. Агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы при применении различных доз удобрений под культуры севооборота

№ варианта опыта	pH <sub>KCl</sub>	Гумус, %	H <sub>2</sub>	S	Под- виж- ный P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Под- виж- ный K <sub>2</sub> O,
0*	5,1	3,28	2,3	8,9	266	114
2010 г., конец 5-й ротации севооборота						
1	4,9	2,56	3,6	6,6	132	55
2	4,9	2,56	3,6	6,6	218	76
3-4	4,9	2,56	4,0	6,6	244	140
5	5,1	2,75	3,0	11,0	258	140
НCP <sub>05</sub>	0,1	0,17	0,3	1,0	14	13
2013 г.						
1	4,9	2,54	3,6	6,5	126	47
2	4,9	2,54	3,6	6,5	216	68
3-4	4,9	2,54	3,8	6,5	248	142
5	5,1	2,78	2,8	11,0	262	142
НCP <sub>05</sub>	0,1	0,22	0,2	1,6	16	12

\* Данные перед закладкой опыта, 1990 г.

Примечание. Глубина горизонта почвы (Ап) – 0-20 см.

Действительно, в вар. 2 наблюдается тенденция к снижению содержания подвижного фосфора, а в вар. 3-5 – к его увеличению. По содержанию подвижного калия снижение его содержания отмечено в вар. 2, что соответствует отрицательному балансу. В вар. 3-5 со-

держание элемента осталось на том же уровне, хотя наблюдается отрицательный фактический баланс элемента, видимо, за счёт использования калия культурными растениями из более глубоких слоёв почвы и перехода его из других, менее доступных фракций. Аналогичные результаты представлены в исследованиях ранее [4-7], а также подтверждаются результатами других ученых [3, 8].

При сравнении средних за годы исследований значений фактических балансовых коэффициентов с плановыми выявлено, что при применении минимальной дозы удобрений они значительно больше, чем в вариантах с применением расчетных систем удобрения. Высокие  $K_6$  возможно объяснить тем, что в вар. 2 вносят небольшую дозу удобрений и растения на формирование урожая затрачивают элементы питания, содержащиеся в почве. Это приводит к снижению почвенного плодородия.

При повышенных дозах азотных удобрений на высоком фоне РК (вар. 4) нами запланирован положительный баланс по азоту и в вар. 3 и 5 – отрицательный, их получение обеспечили все культуры севооборота, за исключением ячменя ярового.

При применении удобрений в дозах, рассчитанных с помощью балансовых коэффициентов, планируемый нулевой и близкий к нулевому балансы фосфора были получены во всех вариантах (3–5 вар.) по всем культурам, кроме ячменя.

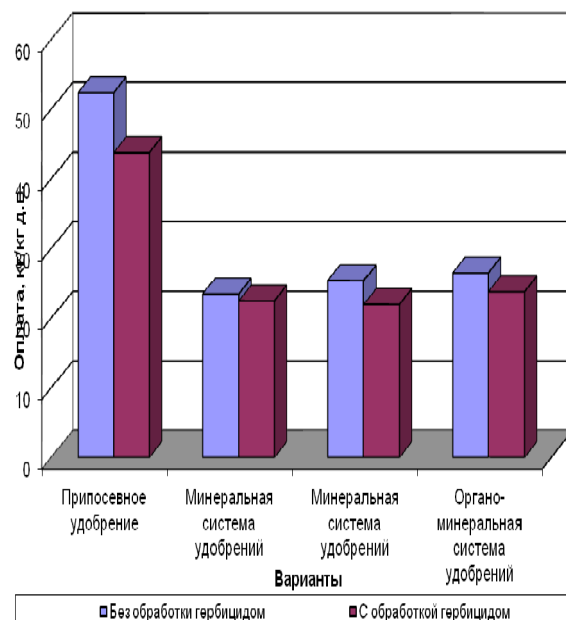
Планируемый в опыте отрицательный баланс по калию был обеспечен всеми культурами севооборота.

#### 7. Балансовые коэффициенты использования элементов питания из удобрений и почвы в среднем по культурам (в среднем за 3 года)

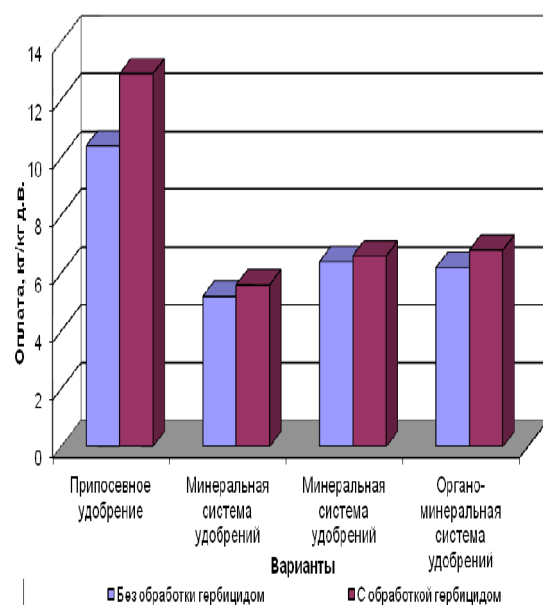
№ варианта опыта	Фактический балансовый коэффициент						Плановый балансовый коэффициент		
	азот		фосфор		калий		азот	фосфор	калий
	1	2	1	2	1	2			
2	506	527	149	161	327	313	-	-	-
3	99	104	77	82	119	121	120	100	150
4	77	80	88	91	134	136	80	100	150
5	109	113	88	90	124	132	120	100	150

В среднем по севообороту за годы проведения исследований при применении удобрений были обеспечены положительный баланс по азоту в вар. 4 и отрицательный в вар. 5. Отрицательный баланс по азоту в вар. 3 был достигнут за счет применения гербицидов. Положительный баланс фосфора обеспечили применение удобрений и совместное использование удобрений и гербицидов. По калию получен отрицательный баланс. Данные свидетельствуют о том, что гербициды обеспечили получение фактических балансовых коэффициентов ближе к плановым. Следует отметить, что в среднем по севообороту и за три года проведения исследований не удалось получить плановых  $K_6$ , за исключением азота.

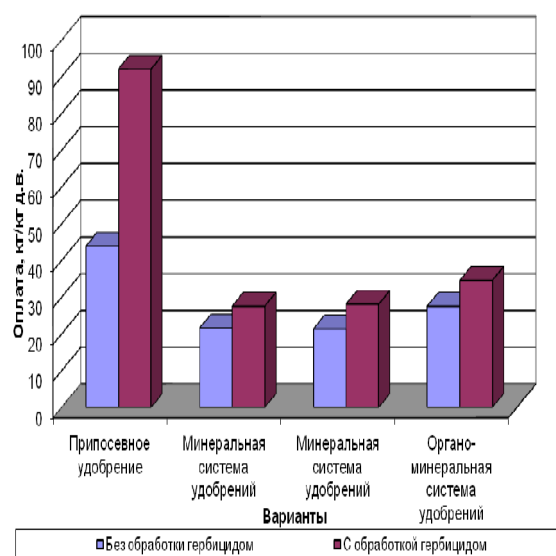
Важный показатель эффективности – оплата единицы удобрения прибавкой урожайности. Величина этого показателя во многом зависит от почвенно-климатических условий, биологических особенностей сельскохозяйственных культур, доз удобрений, а также времени и способов их внесения. Для оценки агрономической эффективности был произведен расчет оплаты удобрений прибавкой урожая (рис.1).



а



б



в

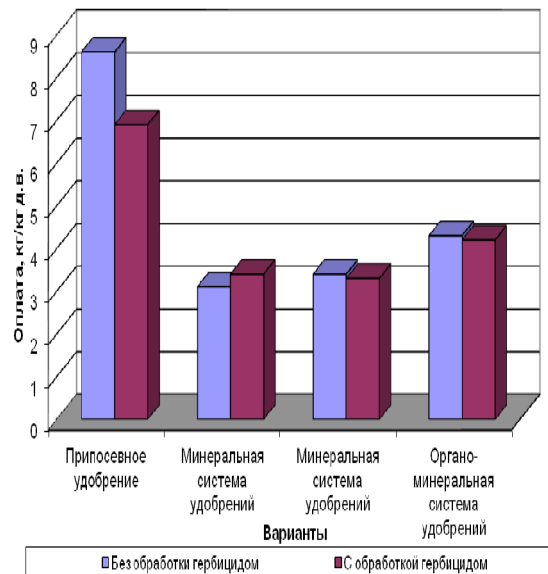


Рис. 1. Оплата удобрений прибавкой урожая:  
а – викоовсяной смеси, б – зерна озимой ржи, в – картофеля, г – зерна ячменя ярового (в среднем за 3 года), кг/кг д.в.

В среднем за годы исследований оплата удобрений прибавкой урожая по культурам севооборота резко различалась. Наименьшую оплату 1 кг д.в. удобрений обеспечили озимая рожь и яровой ячмень (3,1-10,4 кг/кг д.в. на различных фонах удобрений). Значительно выше была оплата удобрений прибавкой урожая картофеля и викоовсяной смеси, она варьировала от 21,4 до 52,4 кг/кг д.в. Такое различие связано, во-первых, с биологическими особенностями культур, и, во-вторых, с уровнем урожайности возделываемых культур.

Наибольшая оплата удобрений прибавкой урожая культур была обеспечена при применении минимальной дозы удобрений (вар. 2) и соответствовала на викоовсяной смеси 52,4 кг/кг д.в., на озимой ржи – 10,4, на картофеле – 43,9 и на ячмене – 8,6 кг/кг д.в. С повышением доз вносимых удобрений оплата снижалась и при применении расчетных систем удобрения составила по культурам, соответственно, 23,5-26,5 кг/кг д.в., 5,2-6,4; 21,4-27,6; 3,1-4,3 кг/кг д.в. Но, тем не менее, применение расчетных систем удобрения обеспечило высокую оплату удобрений прибавкой урожая культур севооборота. Использование органоминеральной системы удобрения обеспечило в среднем за три года более высокую оплату удобрений из всех изучавшихся расчетных доз. Данные результаты подтверждаются ранее проведенными исследованиями [5].

Обработка гербицидом в среднем за годы проведения исследований практически не повлияла на оплату удобрений прибавкой урожая викоовсяной смеси и ячменя ярового, а оплата удобрений прибавкой урожая картофеля и озимой ржи значительно повышалась – на 25-110 и 3-24 % соответственно по сравнению с необработанными гербицидами вариантами.

Оплата удобрений сбором обменной энергии культур севооборота при применении удобрений была достаточно высокая (рис. 2).

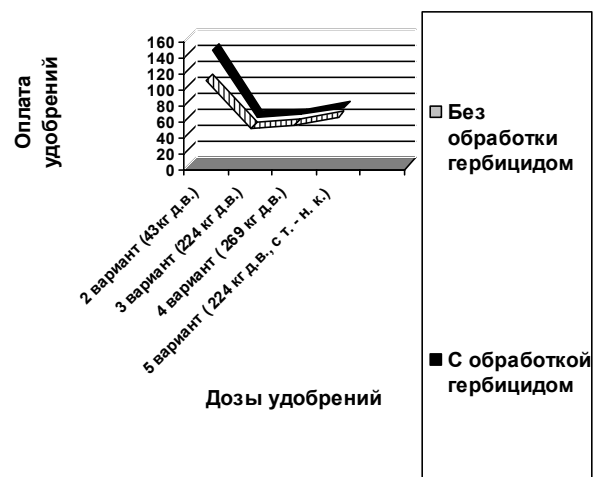


Рис. 2. Оплата удобрений сбором обменной энергии культур севооборота (в среднем за 3 года), МДж/кг д.в.

Изменения оплаты удобрений прибавкой сбора обменной энергии при применении удобрений и гербицидов варьировали так же, как и прибавкой урожайности. Наибольшая оплата была при внесении минимальной дозы удобрений. Далее отмечалось снижение при применении расчетных доз удобрений.

Оплата удобрений сбором обменной энергии на 1 кг д.в. удобрений в среднем за 3 года исследований соответствовала 142-52 МДж. При обработке культур севооборота гербицидами наблюдалось значительное повышение оплаты удобрений сбором обменной энергии при минимальной дозе удобрений (43 кг д.в./га) – на 30 МДж, а при применении полных расчетных доз удобрений (224-269 кг д.в./га) всего лишь на 5-6 МДж.

Повышение оплаты удобрений при применении органоминеральной системы удобрения вызвано высокими сборами обменной энергии с единицы площади.

**Выводы.** 1. В среднем за три года исследований на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в усло-

виях Вологодской области расчетные дозы удобрений повышали урожайность культур севооборота: викоовсяной смеси на 4,6-5,8 т/га, озимой ржи на 1,0-1,5; картофеля – на 7,0-9,0 и незначительно ячменя – на 0,6-0,8 т/га. Комплексное применение расчетных систем удобрений и гербицидов значительно повышало урожайность лишь картофеля – на 9,6-11,3 т/га по отношению к абсолютному контролю.

2. Фактические балансовые коэффициенты использования элементов питания из удобрений и почвы были ниже плановых по азоту и калию при планировании отрицательного баланса, соответственно, на 7-21 и 14-31 %, по фосфору при планировании нулевого баланса на 9-23 %. Гербициды повышали вынос элементов питания культур и приблизили фактические балансовые коэффициенты к плановым.

3. Наибольшая оплата удобрений прибавкой урожая культур была обеспечена при применении минимальной дозы удобрений и соответствовала на викоовсяной смеси 52,4 кг/кг д.в., на озимой ржи – 10,4, на картофеле – 43,9 и на ячмене – 8,6 кг/кг д.в.. С повышением доз вносимых удобрений оплата снижалась, при применении доз удобрений, полученных с помощью балансовых коэффициентов, составила по культурам, соответственно, 23,5-26,5 кг/кг д.в., 5,2-6,4, 21,4-27,6 и 3,1-4,3 кг/кг д.в. Обработка гербицидом практически не повлияла на оплату удобрений прибавкой урожая викоовсяной смеси и ячменя ярового, а оплата удобрений прибавкой урожая картофеля и озимой ржи значительно повышалась – на 25-110 и 3-24 % соответственно.

4. Оплата удобрений сбором обменной энергии на 1 кг д.в. удобрений в среднем за 3 года исследований соответствовала 142-52 МДж. При обработке культур севооборота гербицидами наблюдалось значительное повышение оплаты удобрений сбором обменной энергии при минимальной дозе удобрений (43 кг д.в./га) –

на 30 МДж, а при применении полных расчётных доз удобрений (224–269 кг д.в./га) всего лишь на 5–6 МДж.

#### Литература

1. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
2. Жуков, Ю.П. Система удобрения в хозяйствах Нечерноземья / Ю.П. Жуков – М.: Московский рабочий, 1983. – 144 с.
3. Сычёв, В.Г. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений // В.Г. Сычёв, С.А. Шафран – М.: ВНИИА, 2013 – 296 с.
4. Чухина, О.В. Влияние удобрений и микропрепаратов на урожайность и вынос элементов питания культурами звена полевого севооборота / О.В. Чухина, В.В. Суров // Плодородие. – 2014. – №3(78). – С.18-22.
5. Чухина, О.В. Плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур в севообороте при применении различных доз удобрений // О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // Агрохимия. – 2013. – № 11. – С. 10-18.
6. Чухина, О.В. Продуктивность культур в севообороте при применении различных доз удобрений // О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // АГРО XXI. – 2014. – № 1-3. – С. 39-41.
7. Чухина О.В. Изменения содержания подвижных форм фосфора и калия при применении удобрений в дерново-подзолистой почве // О.В. Чухина, О.А. Силина, О.А. Сорокина, М.В. Киселёв // Международный сборник трудов молодых учёных. – Изд-во С.Пб ГАУ. – 2014. – С.250–251.
8. Яговенко Л.А. Оптимизация системы удобрения в севообороте и агрохимические пути повышения плодородия серых лесных почв. Автореф. дис. на степень д.с.-х.н. – Брянск. 1995. – 63 с.
9. Ягодин Б.А. и др. Практикум по агрохимии // Под ред. Ягодина Б.А. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.

#### BALANCE AND RECOUPMENT OF FERTILIZERS AT THE APPLICATION OF HERBICIDES TO CROP ROTATION IN THE VOLOGDA REGION

*Yu.P. Zhukov<sup>1</sup>, O.V. Chukhina<sup>2</sup>, N.V. Tokareva<sup>2</sup>, E.I. Kulikova<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Russian State Agricultural University – Moscow Agricultural Academy, Russian Academy of Sciences, ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia <sup>2</sup>Vereshchagin Vologda State Dairy Farming Academy, ul. Shmidta 2, Molochnoe, Vologda region, 160555 Russia*

*Under conditions of the Vologda region, the application of different fertilizer rates to loamy soddy-podzolic soil has significantly increased the yield of green vegetable matter in vetch–oat mixture, as well as the yield of winter rye grain, potato tubers, and barley grain in the crop rotation both with and without application of herbicides. The application rates of fertilizers calculated by the balance method for the planned yield using the balance coefficients of nutrient utilization from fertilizers and soil have increased the removal of nitrogen, phosphorus, and potassium by both crops and weeds compared to the control. The payment of 1 kg a.i. of fertilizers by the metabolic energy gain has reached 142–152 MJ on the average. At the application of herbicides in the crop rotation, a substantial increase in the recoupment of fertilizers by the total metabolic energy gain of 30 MJ at the minimum rate of fertilizers (43 kg a.i./ha) has been observed.*

*Keywords: vetch-oat mixture, winter rye, potatoes, barley, yield, crop rotation, dose of fertilizers, herbicides, balance coefficients, balance of fertilizers, recoupment of fertilizers.*