

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ДЛИТЕЛЬНОМ СТАЦИОНАРНОМ ОПЫТЕ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРЕДУРАЛЬЯ

Н.Е. ЗАВЬЯЛОВА, Д.Г. ШИШКОВ

(Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ПФИЦ УрО РАН)

В стационарном полевом опыте, заложенном в 1978 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Cutanic)), установлено, что внесение минеральных удобрений в возрастающих дозах привело к подкислению почвы к концу пятой ротации севооборота в пахотном слое с рН 5,6 при закладке опыта до рН 4,5 в варианте (NPK)₁₅₀. Применение NPK по 90–150 кг д.в./га способствовало сохранению исходного уровня гумуса, увеличению содержания подвижного фосфора до 452 и обменного калия – до 403 мг/кг. Урожайность зерновых культур, картофеля и клевера лугового в севообороте зависела от гидротермических условий в период вегетации растений и уровня минерального питания. Урожайность озимой ржи составила 4,51–4,85 т/га и практически не зависела от дозы вносимых удобрений. С возрастанием дозы NPK в зерне озимой ржи увеличилось содержание белка с 8,32% на контроле до 11,57% в варианте с максимальной дозой удобрения. Максимальный урожай картофеля (21,81 т/га) получен при внесении удобрений в дозе 90 кг/га. При повышенных дозах NPK в клубнях картофеля наблюдаются уменьшение содержания крахмала и повышение нитратов выше ПДК. Лучшие показатели по урожайности (2,5 т/га) и качеству яровой пшеницы определены на вариантах (NPK)₆₀ и (NPK)₉₀, прибавка к контролю составила 0,76–0,82 т/га. Наибольшее содержание белка (18,41%) и клейковины (37,48%) в зерне пшеницы определено при внесении NPK по 60 кг д.в./га. Высокая засоренность посевов и неблагоприятные погодные условия не позволили реализовать потенциал урожайности клевера лугового. В условиях засушливого вегетационного периода 2016 года максимальная урожайность ячменя получена при внесении полного минерального удобрения по 120–150 кг д.в./га (2,54–2,79 т/га), прибавка к варианту без удобрений составила 0,99–1,24 т/га (НСР₀₅ = 0,15). Яровой овес Стайер сформировал максимальную урожайность (5,43 т/га) при внесении NPK в дозе 90 кг д.в./га. Содержание азота в зерне было очень низким и не зависело от внесения минеральных удобрений.

Ключевые слова: длительный стационарный опыт, дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва, удобрения, урожайность, качество урожая, погодные условия.

Введение

Удобрения являются основным фактором регулирования питательного режима почвы, улучшения ее биологических и физических свойств, что обеспечивает получение высоких и устойчивых урожаев [6, 14]. По мнению В.Н. Кудеярова [8], дефицитный баланс питательных веществ означает, что в сельскохозяйственном производстве в значительной степени не реализуется почвенно-климатический потенциал и потенциал других факторов повышения продуктивности земледелия – таких, как

сорт, химические средства защиты растений и др. Удобрения влияют на качество продукции: повышается содержание белка в зерне, крахмала в клубнях картофеля, витаминов и протеина в кормах. В нашей стране на долю удобрений приходится 40–50% прироста урожайности зерновых культур и 50–70% – сена многолетних трав [15]. В Пермском крае за последние 10 лет насыщенность пашни органическими удобрениями составила всего 0,9–1,4 т/га, минеральными – 10–14 кг д.в./га в год [2].

Правильное эффективное использование удобрений способствует не только увеличению урожая, но и улучшению его качества. Однако применение средств химизации без учета биологических особенностей растений, свойств почв, почвенно-климатических условий, свойств самих удобрений не дает должного эффекта, а иногда приводит к снижению качества. В основу сельскохозяйственной оценки климата положена прежде всего оценка температурного режима и условий увлажнения в период вегетации растений. Интегральным показателем оценки гидротермического режима вегетационного периода является гидротермический коэффициент (ГТК по Г.Т. Селянину) [3]. Анализ изменения климатических показателей в условиях Пермского края за 53 года наблюдений показал, что среднесуточная температура воздуха вегетационного периода повысилась на 0,6°C, а сумма выпавших осадков – на 64 мм. Климат в Пермском крае становится более неустойчивым. В течение вегетации отмечаются большие перепады (10...15°C) среднесуточных температур воздуха и количества выпавших осадков. Установлена прямая корреляционная зависимость урожайности зерновых культур от среднесуточной температуры воздуха и суммы выпавших осадков: $r_1 = 0,68$; $r_2 = 0,65$ [7].

Цель работы – выявить влияние возрастающих доз NPK и климатических условий вегетационного периода на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в паротравнозернопропашном севообороте длительного стационарного опыта.

Методика исследования

Полевой стационарный опыт по изучению влияния различных доз минеральных удобрений на урожай полевых культур заложен в 1978 г. на опытном поле Пермского НИИСХ (филиала ПФИЦ УрО РАН) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Cutanic)) со следующими характеристиками (слой – 0–20 см): $pH_{KCl} - 5,6$; гидролитическая кислотность – 2,0, обменная – 0,025, сумма поглощенных оснований – 21,0 ммоль/100 г почвы, содержание гумуса по Тюрину – 2,12%, подвижных форм фосфора в пахотном слое – 175, обменного калия – 203 мг/кг почвы (по Кирсанову). Варианты опыта включали в себя 6 уровней минерального питания: (NPK)₀; (NPK)₃₀; (NPK)₆₀; (NPK)₉₀; (NPK)₁₂₀; (NPK)₁₅₀. Минеральные удобрения вносили под зерновые культуры и картофель, на клеверах изучали последнее действие. В опыте использовали аммиачную селитру, простой суперфосфат и хлористый калий. Известь вносили перед закладкой опыта по 1,0 Н_т. Органические удобрения в опыте не использовали. Общая площадь делянки – 120 м², учетная – 76,4 м². Опыт заложен в 2-х полевых закладках, размещение вариантов рандомизированное. Почвенные образцы для исследования отбирали ежегодно в течение пятой ротации севооборота после уборки урожая возделываемой культуры с двух несмежных повторений в слое 0–20 см в трех точках на каждом. Определение подвижного фосфора и обменного калия в почве проводили по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО, органического углерода – по Тюрину в модификации ЦИНАО. На данном опытном участке соблюдается восьмипольный севооборот со следующим чередованием культур в пятой ротации: чистый пар, озимая рожь Фаленская-4 (2010–2011 гг.), картофель сорта Невский (2012 г.), яровая пшеница Горноуральская (2013 г.), клевер луговой Пермский (2014–2015 гг.), ячмень Родник Прикамья (2016 г.), овес Денс (2017 г.).

В растительных образцах, предварительно высушенных и мелко размолотых, определяли следующие показатели: содержание протеина по ГОСТ 13496.4–93; СаО по ГОСТ 26570–95; клетчатки по ГОСТ 13496.2–91; белка по методу Барштейна; содержание и качество клейковины по ГОСТ 13586.1–68; общего азота, фосфора из одной навески методом мокрого озelenения растительного материала по Гинзбургу (Практикум по агрохимии, 2001); сухого вещества по ГОСТ 28561–90; крахмала поляриметрическим методом Эверса по ГОСТ 7194–81; нитратов ионометрическим методом по ГОСТ 29270–95.

Наиболее благоприятными по условиям увлажнения и температурному режиму были 2010–2014 годы, коэффициент ГТК изменялся от 1,0 до 1,5, 2016 год характеризовался как засушливый, 2015 и 2017 годы – переувлажненные (табл. 1).

Таблица 1

Метеорологические условия периода вегетации

Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Среднее за вегет. период	ГТК за вегет. период
Средняя температура, °С								
2017	8,1	14,3	17,5	16,9	9,3	–	13,2	2,4
2016	13,1	16,1	20,1	21,7	10,9	–	16,4	0,8
2015	13,5	18,8	14,7	13,0	12,2	–	14,4	1,9
2014	13,7	15,0	14,4	17,1	9,3	–	13,9	1,4
2013	11,0	18,8	19,2	17,2	10,3	–	15,3	1,0
2012	12,5	18,3	20,1	16,7	10,7	–	15,7	1,5
2011	12,1	16,0	20,1	14,8	11,3	–	14,9	1,3
2010				18,0	10,3	2,8	14,2	1,0
Средние многолетние данные	10,4	15,9	18,1	15,5	9,5	1,8	13,9	
Сумма осадков, мм								
2017	42,6	143,0	204,5	67,6	77,7	–	535,4	
2016	9,2	96,4	16,8	39,4	66,7	–	228,5	
2015	51,2	61,2	123,6	238,3	24,2	–	498,5	
2014	18,5	82,2	106,4	55,0	43,5	–	305,6	
2013	37,4	42,5	78,5	71,7	76,8	–	306,9	
2012	63,1	95,3	78,9	65,8	84,8	–	387,9	
2011	36,7	135,9	66,6	18,4	107,7	–	365,3	
2010				102,1	31,6	50,2	133,7	
Средние многолетние данные	52,3	70,8	73,2	69,9	63,5	55,2	329,627	

Результаты и их обсуждение

Неотъемлемым фактором создания высокопродуктивных дерново-подзолистых почв является применение минеральных удобрений. Важно, чтобы применяемые системы удобрения способствовали улучшению комплекса агрохимических свойств. Агрохимические показатели плодородия исследуемой почвы в начале и в конце пятой ротации севооборота практически не отличались, изменения фиксировались в пределах аналитической ошибки (табл. 2). Систематическое применение физиологически кислых удобрений (аммиачная селитра и калий хлористый) в течение 40 лет ведения опыта привело к подкислению почвы в пахотном и подпахотном горизонтах. На варианте $(NPK)_{150}$ реакция среды изменилась с pH_{KCl} 5,6 (близкая к нейтральной) при закладке опыта до pH 4,5 (среднекислая) в 2017 г. Наблюдается тенденция подкисления почвы на варианте без внесения удобрений, отмечается сдвиг на 0,4 ед., что связано с подкисляющим воздействием корневых выделений возделываемых культур, выносом элементов питания и промывным водным режимом почвы. Нуждаемость почвы в известковании на 1–4 вариантах опыта слабая, на 5–6 вариантах – средняя. Оптимальной реакцией среды для полевого севооборота с картофелем и многолетними бобовыми травами является pH 5,3–6,3 [10]. Выявлено увеличение гидролитической кислотности с 2,0 до 2,4 на контроле и до 3,7 мг-экв/100 г при внесении максимальной дозы, что говорит о повышении содержания ионов H^+ и усилении процессов подкисления почвы.

Закономерность между возрастающими дозами удобрений и содержанием обменного кальция и обменного (подвижного) магния не выявлена.

В длительном опыте внесение минеральных удобрений в возрастающих дозах обеспечило накопление общего азота с 1116 мг/кг на варианте без удобрений до 1760 мг/кг на варианте с внесением NPK по 150 кг д.в./га (табл. 2). Величина содержания общего азота находится в тесной зависимости от содержания гумуса и дозы NPK: чем выше доза полного минерального удобрения, тем больше азота в почве, $r = 0,97$. Фосфор, в отличие от других основных элементов питания растений, в силу своей инертности практически не теряется из почвы, накапливаясь в ней в больших количествах, что приводит к зафосфачиванию [12]. Почва удобренных вариантов характеризуется высоким и очень высоким содержанием подвижного фосфора в пахотном (300–452 мг/кг) горизонте, что связано с длительным внесением высоких доз фосфорных удобрений и низким выносом этого элемента культурами севооборота. По данным Т.Н. Кулаковской [9], на тяжелых слабокислых почвах фосфор удобрений используется лишь на 10%, на среднекислых – на 7%, калий используется на 15%.

На вариантах без удобрений и $(NPK)_{30-60}$ наблюдается уменьшение содержания обменного калия относительного исходного уровня, что связано с высоким выносом этого элемента культурами севооборота, особенно картофелем, и отсутствием или малыми дозами вносимого удобрения. С увеличением дозы удобрения содержание K_2O в почве увеличивается и достигает максимального значения (403 мг/кг) при внесении NPK по 150 кг/га д.в. под зерновые культуры и картофель. Обеспеченность почвы обменным калием изменялась от повышенной (138 мг/кг) на контрольном варианте до очень высокой (≥ 300 мг/кг) на вариантах $(NPK)_{90-150}$.

В опыте изучали годичную динамику гумуса в пятой ротации севооборота. Начальной точкой явилось исходное содержание при закладке опыта в 1978 г., равное 2,20% (табл. 3). Тренды динамики гумуса указывают на варьирование содержания гумуса в зависимости от возделываемой культуры и погодных условий вегетационного периода. На уровень содержания гумуса оказало влияние количество вносимых в почву минеральных удобрений.

Таблица 2

**Влияние возрастающих доз минеральных удобрений
на агрохимическую характеристику дерново-подзолистой почвы
в полевом опыте, 2011, 2017 гг.**

Вариант	pH _{KCl}		Нг		Са		Mg		P ₂ O ₅		K ₂ O		Нообщ.
			ммоль/100 г						мг/кг				
До закладки опыта (1978)	5,6		2,0		-		-		175		203		-
1. Без удобрений	5,1*	5,1**	2,4*	2,4**	12,0*	14,5**	2,2*	1,8**	185*	140**	не опр	138**	1116**
2. (НРК) ₃₀	5,2	5,0	2,3	2,5	14,5	14,5	2,5	2,3	300	222	-/-	168	1212
3. (НРК) ₆₀	5,1	4,9	2,7	2,7	13,6	16,8	1,8	2,8	344	240	-/-	192	1380
4. (НРК) ₉₀	5,1	4,8	3,7	3,6	14,0	14,8	2,4	2,3	390	371	-/-	300	1487
5. (НРК) ₁₂₀	4,9	4,7	3,5	3,5	17,0	15,3	1,8	2,3	442	392	-/-	303	1610
6. (НРК) ₁₅₀	4,8	4,5	3,7	3,7	13,6	16,3	2,0	2,6	452	452	-/-	403	1760
НСР ₀₅	0,2	0,3	0,2	0,2	0,5	1,0	0,3	0,2	30	23	-	67	62

* Данные по 2011 г.

** Данные по 2017 г.

Таблица 3

Динамика гумуса в пятой ротации севооборота

Вариант	Содержание гумуса, %						
	Оз. рожь (2011)	Картофель (2012)	Пшеница (2013)	Клевер 1 г.п. (2014)	Клевер 2 г.п. (2015)	Ячмень (2016)	Овес (2017)
1. Без удобрений	1,78	1,86	1,72	1,88	1,72	1,79	1,80
2. (НРК) ₃₀	1,89	1,85	1,65	1,90	1,81	1,82	1,83
3. (НРК) ₆₀	1,99	1,95	1,86	1,95	2,02	1,96	2,06
4. (НРК) ₉₀	2,04	2,06	1,9	2,04	2,07	2,04	2,15
5. (НРК) ₁₂₀	2,19	2,18	2,04	2,16	2,15	2,04	2,13
6. (НРК) ₁₅₀	2,21	2,18	2,06	2,12	2,20	2,06	2,16
НСР ₀₅	0,11	0,07	0,09	0,09	0,10	0,09	0,11

Интенсивное падение гумуса зафиксировано на контроле. Убыль по годам варьировала в интервале 15–22% от исходного, что связано прежде всего с интенсивной минерализацией трансформируемых активных компонентов гумуса при малом количестве органического вещества, поступающего в почву при возделывании сельскохозяйственных культур на варианте без удобрений. Внесение NPK в дозе 30 кг д.в/га под зерновые культуры не оказало значимого влияния на содержание гумуса в почве, так как внесенные удобрения расходовались прежде всего на компенсацию выноса элементов питания культурами севооборота. Темпы минерализации органического вещества замедлились при внесении минеральных удобрений в дозе 60 д.в/га за счет повышения урожайности полевых культур и, как следствие, увеличения органического вещества пожнивно-корневых остатков, поступающих в почву. Содержание гумуса стабилизировалось на уровне, более низком, чем исходное, и составило через 40 лет ведения опыта 2,06%. Результаты анализа почвенных образцов 2011–2017 гг. показывают, что существенного изменения гумусированности почвы не наблюдается. По-видимому, в почве изучаемых вариантов после длительного применения возрастающих доз полного минерального удобрения установились различные стационарные уровни: минимальный – в почве контрольного варианта, максимальный – в варианте NPK 150 кг д.в/га. Сохранение исходного содержания гумуса в почве к концу пятой ротации севооборота (2,13–2,16%, $НСР_{05} = 0,11$) наблюдается на вариантах с внесением минеральных удобрений под зерновые культуры севооборота в дозах NPK по 90–150 кг д.в/га. Прослеживается положительная связь между возрастающими дозами минеральных удобрений и накоплением гумуса в почве ($r = 0,92$). Влияние возрастающих доз NPK на органическое вещество и микробное сообщество исследуемой дерново-подзолистой почвы описано в работе [4].

Таким образом, влияние длительного внесения возрастающих доз минеральных удобрений в севообороте на агрохимические показатели дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы носит двойственный характер. Под воздействием высоких доз происходит, с одной стороны, подкисление и зафосфачивание почвы, с другой – сохранение исходного содержания гумуса и увеличение элементов питания.

Первой культурой севооборота является озимая рожь Фаленская-4. Озимая рожь – важная продовольственная и кормовая культура для Нечерноземья. Она менее требовательна к почвенным и климатическим условиям, чем другие зерновые, ее широко возделывают в Кировской области, Удмуртской республике, Пермском крае и других регионах, где преобладают низкоплодородные почвы. Вегетационный период 2010–2011 гг. характеризовался температурами, близкими к оптимальным, однако сумма выпавших осадков была существенно выше среднеголетних данных в августе 2010 г. и июне 2011 г. (в 1,3 и 2 раза соответственно), и наоборот, – ниже в сентябре 2010 г. и в августе 2011 г. (в 2 и 2,5 раза соответственно). Сорт озимой ржи Фаленская-4 имеет потенциал урожайности более 9,0 т/га [5], однако в условиях Предуралья был получен урожай на уровне 4,51–4,85 т/га, который не зависел от доз вносимого минерального удобрения (табл. 4).

Важным показателем качества озимой ржи и показателем адаптивности культуры [1] является содержание белка в зерне. В условиях длительного стационарного опыта содержание белка варьировало от 8,72% в варианте без удобрений до 11,57% в варианте (NPK)₁₅₀ и было тесно связано с дозами NPK, коэффициент корреляции составил 0,92.

По результатам исследований, полученных в длительном полевом опыте в 2012 г., установлено, что благоприятные метеорологические характеристики воздуха и почвы, наличие в почве высокого содержания нитратного азота, подвижного

фосфора и обменного калия являются важнейшими показателями, которые определили уровень урожайности картофеля сорта Невский. Сорт выведен в Северо-Западном НИИСХ, в Госреестр включен с 1982 г., возделывается во всех регионах страны. На сортоучастках Пермского края урожайность составила в среднем 38,3 т/га. В варианте длительного опыта (NPK)₉₀ получена максимальная прибавка к контролю, равная 10,30 т/га (НСР₀₅ = 1,62) (табл. 4). Внесение более высоких доз минеральных удобрений не способствовало повышению урожайности, но привело к ухудшению качества клубней. Отмечено достоверное снижение содержания сухого вещества в варианте (NPK)₁₅₀ на 2,0% (НСР₀₅ = 0,6), уменьшение крахмала в виде тенденции и накопление нитратного азота выше предельно допустимой концентрации – до 337 мг/кг (ПДК = 250 мг/кг).

Таблица 4

Урожайность сельскохозяйственных культур в пятой ротации севооборота, т/га

Вариант	Оз. рожь (2011)	Картофель (2012)	Пшеница (2013)	Клевер 1 г.п. (2014)	Клевер 2 г.п. (2015)	Ячмень (2016)	Овес (2017)
1. Без удобрений	4,75	11,51	1,68	1,34	1,35	1,55	5,03
2. (NPK) ₃₀	4,71	13,03	1,90	1,97	2,68	1,64	4,17
3. (NPK) ₆₀	4,51	16,70	2,50	1,91	2,88	1,83	5,06
4. (NPK) ₉₀	4,46	21,81	2,44	1,86	2,92	2,18	5,43
5. (NPK) ₁₂₀	4,85	21,19	2,32	2,20	3,22	2,54	3,77
6. (NPK) ₁₅₀	4,61	20,14	2,26	2,30	3,56	2,79	5,13
НСР ₀₅	Fф < Fт	1,62	0,24	0,32	0,24	0,15	Fф < Fт

Неблагоприятные метеоусловия вегетационного периода 2013 г. (дефицит влаги в мае и июне) определили невысокий уровень урожайности яровой пшеницы сорта Горноуральская. Сорт выведен в ГНУ Уральский НИИСХ, включен в Госреестр с 2009 г. по Волго-Вятскому, с 2010 г. – по Западно-Сибирскому регионам Российской Федерации. Потенциал урожайности составляет 5,9 т/га. В севообороте длительного стационарного опыта максимальная урожайность получена при внесении полного минерального удобрения в дозе (NPK)₆₀ – 2,50 т/га, прибавка к контролю составила 0,82 т/га (НСР₀₅ = 0,24). Внесение более высоких доз NPK не способствовало повышению урожайности пшеницы (табл. 4). Наиболее высокое содержание азота определено в зерне в варианте (NPK)₆₀ – 3,35%, что соответствует усредненным данным для яровой пшеницы. Максимальное содержание фосфора установлено при внесении полного минерального удобрения в дозе (NPK) по 90 кг д.в/га и составляет 0,90%.

Содержание и качество клейковины являются одним из основных показателей качества зерна пшеницы. Улучшение условий азотного питания при внесении возрастающих доз NPK привело к повышению содержания клейковины от 33,08% на контрольном варианте до 37,48% при внесении (NPK)₉₀. По содержанию клейковины зерно мягкой пшеницы Горноуральская отнесено к первому классу согласно ГОСТ 9353–90. Условия вегетационного периода: невысокая температура воздуха и повышенная влажность в период созревания зерна – привели к ухудшению качества клейковины,

сделав ее слабой. По результатам исследований на приборе ИДК-2, независимо от вариантов опыта клейковина характеризуется как неудовлетворительно слабая (показания прибора – 116–125 ед.). Белок определяет биологическую полноценность и пищевое достоинство зерна. Содержание белка в исследуемых образцах варьируется в пределах 13,50–18,41%. Максимальным количеством белка характеризуется зерно с варианта (NPK)₆₀.

По результатам исследований в 2014 г. установлено, что неблагоприятные погодные условия вегетационного периода, а именно неравномерное распределение тепла и осадков, а также плохая перезимовка и высокая засоренность посевов, не позволили сформировать высокую урожайность клевера лугового сорта Пермский местный первого года пользования (табл. 4). Сорт выведен Пермским НИИСХ, включен в Госреестр с 1939 г. по Северному, Волго-Вятскому, Уральскому регионам Российской Федерации, относится к одноукосному типу. Полученная в сортоиспытании в Пермском крае средняя урожайность сухой массы составила 7,7 т/га.

Максимальная урожайность клевера получена на варианте при внесении полного минерального удобрения под предшествующие зерновые культуры в дозе NPK по 150 кг д.в/га, составив 2,30 т/га, прибавка к варианту без удобрений составила 0,96 т/га. Зеленая масса этой бобовой культуры богата азотом и зольными элементами. Концентрация азота в клевере изменялась от 2,71 до 3,23%, кальция – от 1,01 до 1,26%, фосфора – от 0,62 до 0,81%. Наиболее высокое содержание азота определено на варианте (NPK)₁₅₀ – 3,23%. Содержание протеина и клетчатки является одним из основных показателей качества зеленой массы клевера. Отмечена тенденция увеличения содержания протеина и уменьшения клетчатки в растениях клевера с ростом дозы удобрения.

Второй год использования клевера (2015) характеризовался повышенными температурами в мае, июне и сентябре. В июле и августе почти на 4°С отмечено снижение температуры воздуха относительно среднеголетних данных. Превышение суммы выпавших осадков отмечено в июле (почти в 2 раза) и в августе (в 3,5 раза), и недостаток (в 2 раза меньше нормы) – в сентябре. В этих условиях максимальная урожайность клевера получена на варианте при внесении полного минерального удобрения под предшествующие зерновые культуры по 150 кг д.в/га, которая составила 3,56 т/га, прибавка к варианту без удобрений составила 2,21 т/га ($HCP_{05} = 0,24$) (табл. 4). Концентрация азота в зеленой массе клевера варьировала в зависимости от вариантов опыта от 2,02 до 2,74%, кальция – от 0,94 до 1,17%, фосфора – от 0,36 до 0,71%. Более высокое содержание азота определено на варианте (NPK)₉₀ – 2,74%. Наблюдалась тесная отрицательная корреляционная зависимость между содержанием протеина и клетчатки, с возрастанием содержания клетчатки содержание протеина уменьшалось в растениях клевера, $r = -0,8$.

В условиях засушливого вегетационного периода 2016 г. максимальная урожайность ячменя получена при внесении полного минерального удобрения по 150 кг д.в/га – 2,79 т/га, прибавка к варианту без удобрений составила 1,24 т/га ($HCP_{05} = 0,15$) (табл. 4). Установлена тесная корреляция урожайности ячменя с возрастающими дозами NPK. Авторы работы [11] указывают на более тесную связь урожайности зерна ячменя с гидротермическими условиями вегетационного периода, чем с дозами NPK. Оригинатором сорта ячменя Родник Прикамья является ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации с 2010 г., допущен к использованию в производстве по Волго-Вятскому региону. Сорт является высокоурожайным, средняя урожайность составляет 6,4 т/га. Наиболее высокое содержание азота определено в зерне на варианте (NPK)₆₀ – 2,15%, что соответствует усредненным данным для зерна ячменя. Содержание фосфора практически

не изменялось в зависимости от вариантов опыта и находится в интервале 0,85–1,05%. Внесение возрастающих доз NPK не оказало влияния на такие показатели полного зоотехнического анализа зерна, как клетчатка, жир и кальций.

В 2017 г. в опыте возделывали яровой овес Стайер, зернофуражный сорт. Овес Стайер включен в Госреестр по Волго-Вятскому региону, рекомендован для возделывания в Пермском крае. Важным периодом вегетации, определяющим уровень урожайности для зерновых культур, являются июнь и июль [3, 14]. Июнь характеризовался низкой среднесуточной температурой воздуха (14,3°C), в июле температура составила 17,5°C. Количество осадков в июне составляло 136 мм (170% от нормы), в июле – 197,8 мм (268% от нормы) (табл. 1). Максимальная урожайность овса получена при внесении полного минерального удобрения по 90 кг д.в./га и составила 5,43 т/га, прибавка к варианту без удобрений составила 0,40 т/га ($НСР_{05} = 0,24$). Внесение более высоких доз NPK не способствовало повышению урожайности овса (табл. 4). Между дозами удобрения и урожайностью овса не выявлено линейной зависимости. Улучшение условий азотного питания растений при внесении возрастающих доз NPK не привело к повышению содержания элементов питания в зерне овса. Их количество было аналогичным контрольному варианту. По содержанию протеина (7,25–7,62%) зерно овса Стайер отнесено к III классу, по содержанию клетчатки (<10%) – к I классу, по содержанию сырой золы (1,99–3,01%) – ко второму классу, ГОСТ Р-53901–2010 «Овес кормовой. Технические условия». Определение содержания обменной энергии в сухом веществе является важнейшим показателем для оценки качества зерна. Этот показатель определяет энергетическую ценность кормового зерна и составляет 12,52–12,75 Мдж/кг.

Выводы

Исследования, проведенные в длительном стационарном опыте, позволили выявить неоднозначное влияние минеральных удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. Длительное внесение NPK в возрастающих дозах привело к подкислению и зафосфачиванию почвы, но способствовало сохранению гумуса, улучшению азотного питания растений.

Урожайность зерновых культур, картофеля и клевера лугового в севообороте зависела от гидротермических условий в период вегетации растений и уровня минерального питания. Вегетационный период возделывания сельскохозяйственных культур по годам исследования существенно различался. Неблагоприятные погодные условия не позволили возделываемым культурам реализовать свой потенциал по урожайности.

1. Длительное использование дерново-подзолистой почвы без внесения удобрений привело к подкислению почвы в пахотном слое с pH 5,6 при закладке опыта до pH 5,1, уменьшению содержания обменного калия на 64,5 мг/кг. Применение NPK по 90–150 кг д.в./га способствовало сохранению исходного уровня гумуса, увеличению содержания подвижного фосфора до 452 мг/кг и обменного калия – до 403 мг/кг в дерново-подзолистой почве севооборота с двумя полями клевера.

2. В вегетационный период 2010–2011 гг. урожайность озимой ржи составила 4,51–4,85 т/га, ее величина практически не зависела от дозы вносимых удобрений. Внесение минеральных удобрений и повышенная влажность почвы способствовали полеганию посевов и прорастанию зерна на корню. С возрастанием дозы NPK в зерне озимой ржи увеличивается содержание белка с 8,32% на контроле до 11,57% в варианте с максимальной дозой сложного удобрения.

3. Максимальная урожайность картофеля (21,81 т/га) получена при внесении удобрений в дозе 90 кг/га. При повышенных дозах НРК в клубнях картофеля наблюдаются уменьшение содержания крахмала и повышение нитратов выше ПДК.

4. Лучшие показатели по урожайности (2,5 т/га) и качеству яровой пшеницы определены на вариантах $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$, прибавка к контролю составила 0,76–0,82 т/га. Наибольшее содержание белка (18,41%) и клейковины (37,48%) определено при внесении НРК по 60 кг д.в/га.

5. Максимальная урожайность клевера лугового 1 и 2 г.п. – 2,3 и 3,56 т/га соответственно – получена в варианте, когда под зерновые и картофель вносили НРК по 150 кг д.в/га. Зеленая масса клевера лугового 1 г.п. богата протеином и зольными элементами. Высокая засоренность посевов и неблагоприятные погодные условия не позволили реализовать потенциал урожайности клевера лугового.

6. В условиях засушливого вегетационного периода 2016 г. максимальная урожайность ячменя получена при внесении полного минерального удобрения по 120–150 кг д.в/га, которая составила 2,54–2,79 т/га, прибавка к варианту без удобрений составила 0,99–1,24 т/га ($НСР_{05} = 0,15$). Внесение более низких доз НРК не способствовало повышению урожайности и не ухудшило качество зерна.

7. Максимальная урожайность ярового овса Стайер (5,43 т/га) получена при внесении полного минерального удобрения в дозе 90 кг/га д.в. Содержание азота в зерне было очень низким и не зависело от внесения минеральных удобрений. Энергетическая ценность кормового овса составляет 12,52–12,75 Мдж/кг.

Библиографический список

1. *Аниськов Н.И.* Адаптивный потенциал сортов озимой ржи селекции ВИР по показателю «Содержание белка в зерне» в условиях Ленинградской области / Н.И. Аниськов, И.В. Сафонова, В.И. Хорева // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2019. – № 180 (1). – С. 44–51. DOI: 10.30901/2227–8834–2019–1–44–51.

2. *Васбиева М.Т.* Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на динамику содержания органического углерода и азотный режим дерново-подзолистой почвы / М.Т. Васбиева // Почвоведение. – 2019. – № 11. – С. 1365–1372. DOI: 10.1134/S0032180X19110133.

3. *Завалин А.А.* Зависимость урожая зерна яровой пшеницы от гидротермических условий межфазных периодов вегетации / А.А. Завалин, Е.Н. Пасынкова, А.В. Пасынков // Плодородие. – 2010. – № 4. – С. 6–8.

4. *Завьялова Н.Е.* Микробная трансформация органического вещества дерново-подзолистой почвы Предуралья при различном использовании и внесении минеральных удобрений / Н.Е. Завьялова, И.Г. Широких, А.И. Косолапова, А.А. Широких // Микробная // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 1. – С. 102–110. DOI: 10.25750/1995–4301–2019–1–102–110.

5. *Кедрова Л.И.* Биологические основы производства зерна озимой ржи на Евро-Северо-Востоке РФ / Л.И. Кедрова, Е.И. Уткина, Е.А. Шляхтина, Т.К. Шешегова, Е.С. Парфенова, М.Г. Шамова, Н.А. Охапкина // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 6. – С. 21–23.

6. *Кирюшин В.И.* Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтном земледелии / В.И. Кирюшин // Почвоведение. – 2019. – № 9. – С. 1130–1139. DOI: 10.1134/S0032180X19070062.

7. *Косолапова А.И.* Влияние изменения климатических показателей в Пермском крае на урожайность зерновых культур / А.И. Косолапова, М.Т. Васбиева // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 11. – С. 9–10.

8. Кудеяров В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации / В.Н. Кудеяров // Почвоведение. – 2019. – № 1. – С. 109–121. DOI: 10.1134/S0032180X1901009X.

9. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 219 с.

10. Лапа В.В. Продуктивность севооборота и изменение плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном внесении удобрений / В.В. Лапа, Н.Н. Иваненко // Агрохимия. – 2012. – № 9. – С. 41–48.

11. Пасынков А.В. Урожайность зерна ячменя и ее зависимость от минерального питания и гидротермических условий в вегетационный период / А.В. Пасынков, Е.Н. Пасынкова // Плодородие. – 2019. – № 2. – С. 33–38. DOI: 10.24411/0235–2516–2–19–10024.

12. Титова В.И. Эколого-агрохимические особенности дерново-подзолистых и светло-серых лесных почв с очень высоким содержанием подвижных соединений фосфора / В.И. Титова, Л.Д. Варламова // Агрохимия. – 2002. – № 3. – С. 47–54.

13. Черкасов Г.Н. Влияние погодных условий на плодородие почв, урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность удобрений в Центральном Черноземье / Г.Н. Черкасов, А.Н. Воронин, С.В. Трапезников // Доклады РАСХН. – 2010. – № 5. – С. 25–27.

14. Шафран С.А. Развитие исследования по диагностике минерального питания растений / С.А. Шафран // Агрохимия. – 2014. – № 3. – С. 3–11.

15. Экологическое земледелие с основами почвоведения и агрохимии. – СПб.: Изд-во «Лань», 2014. – 224 с.

EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS ON CROP QUALITY AND YIELD IN LONG-TERM STATIONARY EXPERIMENT IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE CIS-URALS

N.E. ZAVYALOVA, D.G. SHISHKOV

(Perm Research Institute of Agriculture at the Perm Federal Research Center
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences)

A stationary field experiment carried out in 1978 on sod-podzolic heavy loamy soil (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Cutanic)) found that the application of mineral fertilizers in increasing doses led to acidification of the soil by the end of the fifth crop rotation in the arable layer with pH 5.6 when laying the experiment to pH 4.5 in the (NPK)₁₅₀ variant. The use of NPK at 90–150 kg ai/ha contributed to the preservation of the initial humus level, an increase in the content of mobile phosphorus to 452 and exchangeable potassium to 403 mg/kg. The yield of cereals, potatoes and meadow clover in the crop rotation depended on hydrothermal conditions during the growing season of plants and the level of mineral nutrition. The yield of winter rye amounted to 4.51–4.85 t/ha and practically did not depend on the dose of fertilizers applied. As an NPK dose increased, the protein content in winter rye grain increased from 8.32% in the control samples to 11.57% in the samples with the maximum dose of the complex fertilizer. Potatoes produced a maximum yield (21.81 t/ha) when fertilized at a dose of 90 kg/ha. At increased doses of NPK in potato tubers, a decrease in starch content and an increase in nitrates above MAC were observed. The best indicators of yield (2.5 t/ha) and spring wheat quality were determined on options (NRK)₆₀ and (NRK)₉₀, the increase in control was 0.76–0.82 t/ha. The highest content of protein (18.41%) and gluten (37.48%) in wheat grain was determined by applying NPK at a rate of 60 kg ai/ha. High weediness of crops and adverse weather conditions did not provide for full

implementation of the yield potential of meadow clover. In the conditions of the dry growing season of 2016, the maximum yield of barley was obtained by applying a full mineral fertilizer at a rate of 120–150 kg ai/ha (2.54–2.79 t/ha), the surplus to the option without the use of fertilizers was 0.99–1.24 t/ha ($HCP_{05} = 0.15$). The Stayer spring oats produced a maximum yield of 5.43 t/ha with NPK application at a rate of 90 kg ai/ha. The nitrogen content in the grain was very low and did not depend on the application of mineral fertilizers.

Key words: long-term stationary experiment, sod-podzolic heavy loamy soil, fertilizers, productivity, crop quality, weather conditions.

References

1. Aniskov N.I., Safonova I.V., Khoreva, V.I. Adaptivniy potenysyal sortov ozimoy rzhy selertsii VIR po pokazatelyu “Soderzhanie belka v zerne” v usloviyakh Leningradskoy oblasti [Adaptive potential of winter rye varieties of VIR breeding according to the indicator “Protein content in grain” in the Leningrad region] // Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. 2019; 180 (1): 44–51. DOI: 10.30901 / 2227–8834–2019–1–44–51. (In Rus.)
2. Vasbieva M.T. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya organicheskikh i mineral'nykh udobreniy na dinamiku sodержaniya organicheskogo ugleroda i azotny rezhim derno-vo-pozolistoy pochvy [Effect of long-term application of organic and mineral fertilizers on carbon content dynamics and nitrogen regime of soddy-podzolic soil] // Pochvovedenie. 2019; 11: 1365–1372. DOI: 10.1134/S0032180X19110133. (In Rus.)
3. Zavalin A.A., Pasyunkova E.N., Pasyunkov A.V. Zavisimost' urozhaya zerna yarovoy pshenitsy ot gidrotermicheskikh usloviy mezhfaznykh periodov vegetatsii [The relationship between the spring wheat yield and the hydrothermal conditions of the interphase periods of vegetation] // Plodorodie. 2010; 4: 6–8. (In Rus.)
4. Zavyalova N.E., Shirokikh I.G., Kosolapova A.I., Shirokikh A.A. Mikrobnaya transformatsiya organicheskogo veshchestva derno-vo-podzolistoy pochvy Preduraliya pri razlichnom ispol'zovanii i vnesenii mineral'nykh udobreniy [Microbial transformation of organic matter of sod-podzolic soils in the Sis-Ural region under varying conditions of the use and application of mineral fertilizers] // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2019; 1: 102–111. DOI: 10.25750/1995–4301–2019–1–102–110. (In Rus.)
5. Kedrova L.I., Utkina E.I., Shlyakhtina E.A., Sheshegova T.K., Parfenova E.S., Shamova M.G., Okhapkina N.A. Biologicheskie osnovy proizvodstva zerna ozimoy rzhy na Evro-Severo-Vostoke RF [Biological fundamentals of winter rye grain production in the Euro-North-East of the Russian Federation] // Dostizhenia nauki i tekhniki APK. 2012; 6: 21–23. (In Rus.)
6. Kiryushin V.I. Upravlenie plodorodiem pochv i produktivnostiu agotsenozov v adaptivno-landshaftnom zemledelii [Management of soil fertility and productivity of agozozoses in adaptive landscape farming] // Pochvovedenie. 2019; 9: 1130–1139. DOI: 10.1134 / S0032180X19070062. (In Rus.)
7. Kosolapova A.I., Vasbieva M.T. Vliyanie izmeneniya klimaticheskikh pokazateley v Permskom krae na urozhaynost' zernovykh kul'tur [Impact of changes in climatic indicators in the Perm region on the yield of grain crops] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2011; 11: 9–10. (In Rus.)
8. Kudryarov V.N. Pochvenno-biokhimicheskie aspekty sostoianiya zemledeliya v Rossiyskoy Federatsii [Soil and biogeochemical aspects of arable farming in the Russian Federation] // Pochvovedenie. 2019; 1: 109–121. DOI: 10.1134/S0032180X1901009X. (In Rus.)

9. *Kulakovskaya T.N.* Optimizatsiya agrokhimicheskoy sistemy pitaniya rasteniy [Optimization of the agrochemical system of plant nutrition]. Moscow: Agropromizdat, 1990: 219. (In Rus.)

10. *Lapa V.V., Ivanenko N.N.* Produktivnost' sevooborota i izmenenie plodorodiya dernovo-podzolistoy supeschanoy pochvy pri dlitel'nom vnesenii udobreniy [Crop rotation efficiency and changes in the fertility of sod-podzolic sandy loam soil under long-term fertilization] // *Agrokhimia*. 2012; 9: 41–48. (In Rus.)

11. *Pasynkov A.V., Pasynkova E.N.* Urozhaynost' zerna yachmenia i eyo zavisimost' ot mineral'nogo pitaniya i gidrotermicheskikh usloviy v vegetatsionniy period [Barley grain yield and its dependence on mineral nutrition and hadrothermal conditions during the growing season] // *Plodorodie*. 2019; 2: 33–38. DOI: 10. 24411 / 0235–2516–2–19–10024. (In Rus.)

12. *Titova V.I., Varlamova L.D.* Ekologo-agrokhimicheskie osobennosti dernovo-podzolistykh i svetlo-serykh lesnykh pochv s ochen' vysokim sodержaniem podvizhnykh soedineniy fosfora [Ecological and agrochemical features of sod-podzolic and light gray forest soils with a very high content of mobile phosphorus compounds] // *Agrokhimiya*. 2002; 3: 47–54. (In Rus.)

13. *Cherkasov G.N., Voronin A.N., Trapeznikov S.V.* Vlianie pogodnykh usloviy na plodorodie pochv, urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i effektivnost' udobreniy v tsentral'nom chernozemye [Influence of weather conditions on soil fertility, crop productivity and fertilizer efficiency in the Central Chernozem region] // *Doklady RAASN*. 2010; 5: 25–27.12. (In Rus.)

14. *Shafran S.A.* Razvitie issledovaniya po diagnostike mineral'nogo pitania rasteniy [Further study on the diagnosis of mineral nutrition of plants] // *Agrokhimiya*. 2014; 3: 3–11. (In Rus.)

15. *Ekologicheskoe zemledelie s osnovami pochvovedeniya i agrokhimii* [Ecological farming with the basics of soil science and agrochemistry]. St. Petersburg: Publishing House «Lan'», 2014: 224. (In Rus.)

Завьялова Нина Егоровна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Пермского НИИСХ ПФИЦ УрО РАН (614532, Российская Федерация, г. Пермь, с. Лобаново, ул. Культуры, 12; тел.: (342) 297–61–85, (912) 060–94–29; e-mail: nezavyalova@gmail.com).

Шишков Данил Глебович, младший научный сотрудник Пермского НИИСХ ПФИЦ УрО РАН (614532, Российская Федерация, г. Пермь, с. Лобаново, ул. Культуры, 12; тел.: (950) 471–50–14; e-mail: danil.shishkov@gmail.com).

Nina E. Zavyalova, Chief Research Associate, DSc (Bio), Perm Research Institute of Agriculture at the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 12 Kul'tury Str., Russia, Perm Krai, Lobanovo, 614532 Phone: (342) 297–61–85, (912) 060–94–29. Email: nezavyalova@gmail.com

Danil G. Shishkov, Junior Research Associate, Perm Research Institute of Agriculture at the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 12 Kul'tury Str., Russia, Perm Krai, Lobanovo, 614532 Phone: (950) 471–50–14. Email: danil.shishkov@gmail.com