

УДК 631.445.24:631.452:631.559:633.1:633.321

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ§

© 2023 г. И. В. Лыскова^{1,*}, Т. В. Лыскова¹

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого
612500 Кировская обл., п. Фаленки, ул. Тимирязева, 3, Россия

*E-mail: fss.zam@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.02.2023 г.

После доработки 04.04.2023 г.

Принята к публикации 15.07.2023 г.

На основе многолетних (2016–2021 гг.) исследований в длительном стационарном опыте (1971–2021 гг.) в восточном районе центральной климатической зоны Кировской обл. оценено влияние кислотности почвы и содержания подвижного фосфора на урожайность и качество зерновых культур и клевера лугового при внесении удобрений (N90, N90P50K90). Установлено, что максимальная урожайность (4.43 т/га) в длительном стационарном опыте в период 2016–2021 гг. получена у озимой ржи сорта Фаленская 4 при внесении N90P50K90 на почве с pH_{KCl} 3.8 и содержанием подвижного фосфора в почве 121 мг/кг, что было больше, чем в варианте без удобрений, в 1.6 раза. Содержание сырого протеина в зерне злаковых культур и зеленой массе клевера лугового формировалось больше на почве при pH 5.2–5.7, чем при pH 3.7–4.0, не зависело от содержания подвижного фосфора в почве. Внесение удобрений (N90, N90P50K90) под злаковые культуры повышало этот показатель на 1.60–5.96%. Показатель “натура зерна” злаковых культур не зависел от уровня кислотности и содержания подвижного фосфора в почве, при этом показатель превышал базисную норму стандартов при заготовках зерна. Содержание сырой клейковины в зерне яровой пшеницы сортов Ирень и Баженка повышалось при применении удобрений на 4.0–14.8%. Максимальное содержание (39.8%) отмечено в зерне сорта Ирень при внесении N90P50K90 на почве с pH_{KCl} 5.3–5.6 и содержанием подвижного фосфора 170–191 мг/кг. Влияние удобрений и уровня плодородия почвы на показатель “число падения” зерна озимой ржи было несущественным.

Ключевые слова: длительный стационарный опыт, известкование, минеральные удобрения, подвижный фосфор, рожь озимая, пшеница яровая, овес, клевер луговой, масса 1000 зерен, натура зерна, сырой протеин, число падения.

DOI: 10.31857/S0002188123100101, **EDN:** OEDENU

ВВЕДЕНИЕ

Получение высоких и устойчивых урожаев в земледельческих районах на дерново-подзолистых почвах возможно благодаря научно обоснованной системе удобрения [1–3]. В Кировской обл. в почвенной структуре дерново-подзолистые почвы занимают 45% от всей площади пашни [4, 5]. Насыщенность пашни минеральными удобрениями за последние 10 лет (2013–2022 гг.) составила 23.5 кг д.в./га, при средней урожайности зерновых и зернобобовых культур 1.9 т/га [6]. Согласно данным Государственного центра агрохимической службы “Кировский”, на 01.01.2022 г.

82% пашни Кировской обл. составляют кислые почвы, 52% относится к категории низкой (<2.1%) обеспеченности гумусом, 59 и 18% относятся к почвам с пониженным содержанием подвижного фосфора и обменного калия [7]. По мнению многих авторов, для повышения плодородия дерново-подзолистых почв определяющее значение имеют кислотность и запас фосфатов, при этом применение удобрений, особенно в высоких дозах, будет способствовать увеличению окультуренности почв [8, 9].

Несмотря на то что дерново-подзолистые почвы характеризуются низким естественным плодородием, они отличаются хорошими условиями увлажнения, поэтому при достаточном обеспечении растений питательными веществами на них можно получить высокие и устойчивые урожаи

§ Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (тема № FNWE-2022-0005).

сельскохозяйственных культур [10]. В свою очередь применение фосфорных удобрений (и их последствие) в комплексе с азотно-калийными нивелирует влияние погодных условий на продуктивность зерновых культур (на примере яровой пшеницы): наиболее высокие коэффициенты детерминации, отражающие долю вариабельности, объясняемую погодными условиями, отмечены для варианта без удобрений ($R^2 = 0.59–0.73$), тогда как при их внесении они снижаются до $R^2 = 0.50–0.56$ [11].

Правильное эффективное использование удобрений способствует не только увеличению урожая, но и улучшению его качества [12]. В условиях центральной части Кировской обл. на дерново-подзолистых почвах пригодное для продовольственных целей (согласно требованиям ГОСТ 28673-90) зерно овса может быть получено в благоприятные по увлажнению годы. Установлено, что внесение удобрений в дозе N90P45K60 повышает содержание сырого белка в зерне в среднем с 7.3 до 9.2% [13]. В Предуралье на среднекислых дерново-подзолистых почвах с повышенным содержанием подвижного фосфора максимальное содержание белка в зерне яровой пшеницы (12.9–13.1%) отмечено при внесении N60P60K60, увеличение дозы удобрений >60 кг д.в./га не обеспечивало существенного роста содержания белка [14].

Цель работы – оценка влияния плодородия дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, сформированной на покровных суглинках, на урожайность и качество основных сельскохозяйственных культур (ржи озимой, пшеницы яровой, овса, клевера лугового) в Кировской обл.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в 2016–2021 гг. на базе длительного стационарного опыта (Фаленская селекционная станция – филиал Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого), заложенного в 1971 г. в восточном агропочвенном районе центральной климатической зоны Кировской обл. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на покровных суглинках. Агрохимическая характеристика почвы перед закладкой опыта (слой 0–20 см): pH_{KCl} 5.2, сумма поглощенных оснований (по Каппену–Гильковицу) – 10.2 мг-экв/100 г, гидролитическая кислотность (по Каппену) – 5.5 мг-экв/100 г, содержание подвижных фосфора и калия (по Кирсанову) – 90 и 120 мг/кг соответственно, гумус (по Тюрину) – 2.5%. Опыт проводили в зернопаротравном севообороте: чи-

стый пар–рожь озимая сорта Фаленская 4–пшеница яровая сорта Ирень с подсевом клевера лугового сорта Дымковский, клевер 1-го года пользования (г.п.)–клевер 2-го г.п., яровая пшеница сорта Баженка–овес сорта Медведь. Сорта сельскохозяйственных культур, возделываемые в опыте, селекции ФАНЦ Северо-Востока (сорт Ирень – оригинатор Уральский НИИСХ). Общая площадь делянки 40.25 м², повторность четырехкратная.

Систематически в течение 1971–1975 гг. вносили удобрения по следующей схеме: 1 – контроль (без удобрений), 2 – N90, 3 – N90P90K90, 4 – N90P180K90, 5 – N90P270K90, 6 – N90P360K90. Удобрения в виде N_{aa} , $P_{сг}$, $P_{сд}$ и K_x вносили на 2-х фонах: без извести и известкования в дозе по 1.0 гидролитической кислотности (H_r). Известь внесена в 1971, 1979 и 1987 гг. в форме доломитовой муки. С 1976 по 2007 г. суперфосфат в опыте не вносили – изучали его последствие на фоне совместного применения азотных и калийных удобрений.

В период исследования 2008–2014 гг. удобрения вносили по следующей схеме: 1 – контроль (без удобрений), 2 – N90, 3 – N90P50K90, 4 – N90P100K90, 5 – N90P150K90, 6 – N90P200K90. С 2013 г. вносили K_c . В 2009 г. проведено повторное известкование фона “известь по 1 H_r ”. В течение 2015–2021 гг. удобрения вносили по схеме: 1 – контроль (без удобрений), 2 – N90, 3–6. N90P50K90.

Образцы почвы отобраны ручным буром в 2016 и 2021 г. с 2-х несмежных повторностей в слое 0–20 см почвы в 3-х точках на каждой. Определение pH_{KCl} проводили потенциометрическим методом на иономере ЭВ-74 (ГОСТ 26483-85), гидролитической кислотности – по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), суммы поглощенных оснований – по Каппену–Гильковицу (ГОСТ 27821-88), подвижных соединений фосфора и калия – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91), обменную кислотность и подвижный алюминий – по Соколову [15]. Учет урожая сельскохозяйственных культур проводили методом площадок. Основные методы исследования растений: определение общего азота – по методу Кьельдаля в модификации Сереньева с пересчетом на сырой протеин [16]. Технологические анализы: натура зерна, масса 1000 зерен, содержание клейковины выполняли по [17]. Статистическую обработку (дисперсионный и корреляционный анализ) проводили, используя пакет программ AGROS – версия 2.07.

Таблица 1. Метеорологические условия в годы проведения опыта (2016–2021 гг.)

Год	Средняя температура воздуха, °С				ГТК за ВП*	Количество осадков, мм				
	май	июнь	июль	август		май	июнь	июль	август	май– август
2016	13.1	15.9	20.3	20.9	0.7	11	47	51	32	141
2017	7.5	14.0	17.3	16.6	1.7	59	59	159	25	301
2018	10.6	14.1	20.3	16.0	1.4	58	77	74	44	253
2019	13.2	15.1	15.9	13.0	2.2	33	108	75	157	390
2020	12.1	14.3	20.2	14.7	1.4	65	46	84	52	247
2021	15.0	19.3	18.8	18.2	0.8	76	19	65	36	196
Среднее многолетнее**	11.4	15.9	18.3	15.4	1.4	44	77	67	73	261

*Гидротермический коэффициент за вегетационный период.

**Средняя многолетняя норма, рассчитанная в соответствии с требованиями ВМО за 30-летний период (1991–2020 гг.).

Метеорологические условия в годы исследования различались по температурному режиму и количеству осадков (табл. 1). Наиболее благоприятными для роста и формирования урожая зерновых культур были 2018 и 2020 гг. – ГТК (по Селянинову) вегетационного периода составил 1.4. В 2016 и 2021 гг. вегетационный период характеризовался почвенной и атмосферной засухой (ГТК = 0.7 и 0.8 соответственно). Вегетационный период в 2017 и 2019 гг. был с избыточным увлажнением (ГТК = 1.7 и 2.2 соответственно).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Систематическое применение удобрений (N90, N90P50–200K90) в период 2008–2014 гг. оказало существенное влияние на агрохимические показатели верхнего (0–20 см) слоя дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы (табл. 2). На фоне без извести в почве наблюдали стабилизацию кислотности в пределах pH_{KCl} 3.7–3.9, длительное применение удобрений привело к подкислению почвы на 1.3–1.5 ед. к уровню исходного pH_{KCl} . Отмечено подкисление почвы и в контрольном варианте на 1.2–1.3 ед. Внесение извести по полной величине гидролитической кислотности в 2009 г. обеспечило поддержание показателя pH_{KCl} на уровне 6.0–6.2 ед. (в образцах почвы 2010 г.). К 2016 г. отмечено подкисление почвы известкованного фона в среднем на 0.5–0.6 ед., а к концу ротации севооборота (2021 г.) – на 0.7–0.8 ед. Гидролитическая кислотность была существенно меньше в варианте без удобрений, чем в вариантах с внесением удобрений на фоне без извести, между дозами удобрений и величиной H_T выявлена положительная зависимость ($r = 0.88$), на известкованной почве такой закономерности

не наблюдали. Таким образом, по показателям реакции почвенной среды наблюдали тенденцию к подкислению как на фоне без извести, так и на известкованном фоне.

Одним из главных факторов, определяющих отрицательное действие кислых почв на растения, является наличие в них больших количеств подвижных форм алюминия. Характерной особенностью исследованных почв является высокое содержание обменных форм алюминия в верхних горизонтах, которое может достигать 35 мг/100 г почвы [18]. В нашем исследовании на кислом фоне содержание ионов алюминия в слое 0–20 см почвы менялось от 10.6 до 15.8 мг/100 г почвы, при этом в образцах почвы 2021 г. произошло его увеличение в среднем на 11.5% по сравнению с отбором 2016 г. На произвесткованном фоне алюминий по методу Соколова не был выявлен.

Содержание подвижного фосфора в первых 2-х вариантах опыта, где на протяжении 50 лет не вносили фосфорные удобрения, уменьшилось незначительно по сравнению с исходной почвой (средняя обеспеченность). На фоне при pH_{KCl} 3.8 и внесении P90 содержание подвижного фосфора к окончанию ротации севооборота составило от 147 до 196 мг/кг (повышенная и высокая обеспеченность). На произвесткованном (в 2009 г.) фоне степень обеспеченности почвы подвижным фосфором осталась повышенной, высокой и очень высокой.

Благодаря тому что калий закрепляется в почве в доступной для растений форме, его хорошо используют растения. Существенно меньше было содержание подвижного калия в почве тех вариантов, где его не вносили. Обеспеченность почвы подвижным калием после внесения в дозе 90 кг д.в./га к 2021 г. составила от 180 до 300 мг/кг поч-

Таблица 2. Влияние минеральных удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта

Вариант, № (фактор <i>B</i>)	pH _{KCl}	H _{обм}	<i>S</i>	<i>H</i> _г	Al, мг/100 г	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мг-экв/100 г				мг/кг	
Фон без извести (фактор <i>A</i>)							
1	<u>4.0</u>	<u>1.26</u>	9.8	<u>6.98</u>	<u>10.8</u>	<u>88</u>	<u>102</u>
	3.9	1.34		7.35	10.9	87	148
2	<u>3.9</u>	<u>1.25</u>	9.1	<u>7.32</u>	<u>10.6</u>	<u>78</u>	<u>110</u>
	3.8	1.49		7.76	12.2	76	141
3	<u>3.8</u>	<u>1.43</u>	8.7	<u>7.57</u>	<u>12.4</u>	<u>121</u>	<u>188</u>
	3.7	1.90		8.69	16.0	147	239
4	<u>3.8</u>	<u>1.81</u>	8.5	<u>8.49</u>	<u>15.7</u>	<u>170</u>	<u>199</u>
	3.7	1.80		8.77	15.3	191	300
5	<u>3.7</u>	<u>1.83</u>	8.4	<u>8.15</u>	<u>15.8</u>	<u>184</u>	<u>219</u>
	3.7	2.00		8.94	16.8	196	180
6	<u>3.8</u>	<u>1.55</u>	9.1	<u>8.15</u>	<u>13.4</u>	<u>230</u>	<u>192</u>
	3.7	1.93		8.69	16.3	186	186
Среднее	<u>3.8</u>	<u>1.52</u>	8.9	<u>7.78</u>	<u>13.1</u>	<u>145</u>	<u>161</u>
	3.8	1.74		8.36	14.6	148	206
Фон известкование по 1.0 <i>H</i> _г							
1	<u>5.4</u>	<u>0.04</u>	14.4	<u>2.36</u>	—	<u>74</u>	<u>105</u>
	5.3	0.07		2.92	—	67	122
2	<u>5.5</u>	<u>0.03</u>	15.6	<u>2.02</u>	—	<u>86</u>	<u>108</u>
	5.2	0.08		3.09	—	66	121
3	<u>5.5</u>	<u>0.03</u>	14.7	<u>2.18</u>	—	<u>107</u>	<u>170</u>
	5.5	0.06		2.84	—	152	179
4	<u>5.5</u>	<u>0.03</u>	15.8	<u>2.18</u>	—	<u>190</u>	<u>180</u>
	5.3	0.06		3.17	—	186	184
5	<u>5.7</u>	<u>0.02</u>	16.0	<u>1.85</u>	—	<u>226</u>	<u>169</u>
	5.4	0.07		3.01	—	266	223
6	<u>5.5</u>	<u>0.04</u>	15.6	<u>2.18</u>	—	<u>271</u>	<u>169</u>
	5.4	0.07		3.26	—	249	207
Среднее	<u>5.5</u>	<u>0.03</u>	15.3	<u>2.13</u>	—	<u>159</u>	<u>142</u>
	5.4	0.07		3.05	—	168	172
<i>HCP</i> ₀₅	фактор	—	фактор <i>A</i> = 5.1	фактор	—	фактор	фактор
	<u><i>A</i> = 1.2</u>	фактор		<u><i>A</i> = 0.17</u>	—	<u><i>B</i> = 24</u>	<u><i>B</i> = 32</u>
	фактор	<i>A</i> = 0.68		фактор	—	фактор	фактор
	<i>A</i> = 1.4			<i>A</i> = 0.90	—	<i>B</i> = 43	<i>B</i> = 51

Примечания. 1. Над чертой — в начале (2016 г.), под чертой — в конце (2021 г.) ротации севооборота. 2. Приведена *HCP*₀₅, где $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$. То же в табл. 3–5.

вы на фоне без извести и от 179 до 223 мг/кг — на известкованном фоне.

Озимая рожь Фаленская 4 — хорошо известный в Нечерноземной зоне сорт, допущен в производство с 1999 г. в 4-х регионах, в том числе в Волго-Вятском, высокозимостойкий, имеет хорошие хлебопекарные качества. Из всех культур полевого севооборота озимая рожь дала самый

высокий урожай зерна в засушливых условиях — за весь вегетационный период 2016 г. количество осадков составило 54% от среднееголетней нормы. Урожайность на кислом фоне (pH_{KCl} 3.8) в среднем составила 3.95 т/га, на известкованном (pH_{KCl} 5.2) — 3.36 т/га (табл. 3). Максимальная урожайность (4.43 т/га) была получена при внесении N90P50K90 на почве с pH_{KCl} 3.8 и со-

держанием подвижного фосфора в почве 121 мг/кг, что было больше, чем в варианте без удобрений в 1.6 раза. Рожь — культура менее требовательная к плодородию почвы и к почвенной кислотности, поэтому прибавка урожайности от внесения удобрений на фоне без извести была больше (1.00–1.65 т/га), чем на фоне известкования по 1.0 H_r (0.27–0.94 т/га), при этом окупаемость 1 кг удобрений зерном была больше при внесении N90, чем в остальных вариантах, и составила 12.8 и 10.4 кг соответственно на разных фонах.

Выращиваемый в опыте раннеспелый сорт пшеницы Ирень относится к ценным по качеству сортам, районирован по Кировской обл. с 2000 г. Урожайность яровой пшеницы в 2017 г. составила на кислом фоне в среднем 2.00, на производственном — 2.02 т/га. О влиянии последствий известкования на улучшение условий питания и развития растений говорит тот факт, что на 36% повысилась урожайность пшеницы в варианте без удобрений и на 41% (или на 0.81 т/га) при использовании полного удобрения (вариант 3). Максимальная урожайность 2.79 т/га была получена при внесении N90P50K90 на известкованном фоне с содержанием подвижного фосфора 107–152 мг/кг. Окупаемость 1 кг удобрений зерном была больше в варианте с односторонним внесением азотных удобрений (N90) и составила: 9.3 кг на фоне без извести и 8.7 кг — на фоне известкования по 1.0 H_r . В вариантах с внесением NPK окупаемость снизилась до 4.0 кг, но отмечена тенденция к ее росту на фонах с повышенным содержанием фосфора в почве до 6.8 кг. Погодные условия июля (сильные дожди), когда у растений шел налив зерна, вызвало полегание посевов, в результате произошло снижение урожайности. Закономерности, характеризующие связь свойств почв с величиной урожайности сельскохозяйственных культур, являются основой для оценки плодородия почв, выявления наилучших условий возделывания культур, прогнозирования продуктивности растений [19]. В нашем исследовании выявлены достоверные корреляционные связи между содержанием подвижного фосфора в почве и урожайностью яровой пшеницы ($r = 0.85$) на фоне без извести. На известкованном фоне такую закономерность не просчитывали ввиду влияния фактора полегания посевов.

Сорт клевера лугового Дымковский включен в госреестр селекционных достижений РФ с 1993 г. в 7-ми регионах, среднеспелый, двуукосный, обладает высокой зимостойкостью (90–95%). Клевер — культура, которая сильно страдает от кислотности почвы, оптимальным является pH 5.6–

6.0. Урожайность зеленой массы клевера была на 40% меньше на кислой почве, чем на производственной в варианте без удобрений. В нашем исследовании при внесении удобрений (N90 и N90P50K) под покровную культуру урожайность зеленой массы клевера снижалась относительно контрольного варианта в 1.9–2.8 раза при pH 3.8 и в 1.5–2.4 раза при pH 5.2. Надо отметить, что такая тенденция была отмечена и в прошлые годы, когда в опыте возделывали клевер, а также подобные закономерности были выявлены коллегами из ФАНЦ Северо-Востока [20]. Установлены достоверные корреляционные связи степени кислотности почвы (pH и H_r) с урожайностью зеленой массы клевера ($r = 0.76$ и $r = -0.79$ соответственно). Доля влияния содержания подвижного фосфора в почве на урожайность клевера была незначительной, объясняется данный факт тем, что клевер имеет хорошо развитую корневую систему и способен использовать питательные вещества из более глубоких почвенных горизонтов, где доступность фосфора выше [18].

Яровая пшеница раннеспелого сорта Баженька допущена в производство в Волго-Вятском регионе с 2011 г. Формирует зерно, характерное для ценной пшеницы. Благоприятные метеорологические условия вегетационного периода 2020 г. способствовали получению урожайности в среднем на фонах 3.27 и 3.44 т/га соответственно (табл. 3). Выявлены достоверные корреляционные связи между содержанием подвижного фосфора в почве и урожайностью яровой пшеницы ($r = 0.70$). Известно, что на эффективность фосфорных удобрений большое влияние оказывает содержание в почве подвижного фосфора [10].

В 2021 г. в опыте возделывали овес среднеспелого сорта Медведь, допущен в производство с 2016 г. в Центральном и Волго-Вятском регионах, достоинства сорта — устойчивость к кислотности дерново-подзолистых почв, к осыпанию, среднезасухоустойчив, относится к ценным сортам по качеству (выход ядра 68%). Урожайность овса сорта Медведь составила на кислом фоне в среднем 1.72, на производственном — 2.29 т/га (табл. 3). Надо отметить, что этот показатель меньше, чем средняя урожайность овса (3.39 ± 0.65 т/га) в стационарном опыте в 1971–2020 гг. (когда в опыте возделывали данную культуру) [11]. Эффективность от применения полного минерального удобрения по сравнению с контрольным вариантом составила на фоне без известкования от 13 до 21 и на производственном фоне — от 25 до 46%. При этом окупаемость 1 кг удобрений зерном составила 3.4 кг на фоне без извести при максимальной урожайности 2.05 т/га, на фоне извест-

Таблица 3. Урожайность сельскохозяйственных культур и окупаемость удобрений в период исследования (2016–2021 гг.)

Показатель	Фон	Содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы					
		7–88	66–86	107–152	170–191	184–266	186–271
Озимая рожь сорта Фаленская 4 (зерно), 2016 г.							
Урожайность, т/га	0	2.78	3.94	4.43	4.35	4.42	3.78
	1	2.95	3.89	3.22	3.33	3.34	3.41
	HCP_{05}	Фактор $B = 0.66$					
Прибавка урожайности к варианту без удобрений, т/га	0	—	1.16	1.65	1.57	1.64	1.00
	1	—	0.94	0.27	0.38	0.39	0.46
Окупаемость удобрений, кг	0	—	12.8	7.2	6.8	7.1	4.3
	1	—	10.4	1.2	1.7	1.7	2.0
Яровая пшеница сорта Ирень (зерно), 2017 г.							
Урожайность, т/га	0	1.05	1.89	1.98	1.99	2.50	2.61
	1	1.43	2.21	2.79	1.50	1.69	2.51
	HCP_{05}	Фактор $B = 0.73$					
Прибавка урожайности к варианту без удобрений, т/га	0	—	0.84	0.93	0.94	1.45	1.56
	1	—	0.78	1.36	0.07	0.26	1.08
Окупаемость удобрений, кг	0	—	9.3	4.0	4.1	6.3	6.8
	1	—	8.7	5.9	0.3	1.1	4.7
Клевер сорта Дымковский (зеленая масса), 2018 г.							
Урожайность, т/га	0	25.0	9.0	13.5	10.5	10.0	9.8
	1	41.8	26.0	28.8	28.5	27.5	17.0
	HCP_{05}	$F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$					
Прибавка урожайности к варианту без удобрений, т/га	0	—	–16.0	–11.5	–14.5	–15.0	–15.2
	1	—	–15.8	–13.0	–13.3	–14.3	–24.8
Яровая пшеница сорта Баженка (зерно), 2020 г.							
Урожайность, т/га	0	2.12	2.92	3.86	3.68	3.78	3.28
	1	2.94	3.21	3.51	3.77	3.97	3.23
	HCP_{05}	Фактор $B = 0.74$					
Прибавка урожайности к варианту без удобрений, т/га	0	—	0.80	1.74	1.56	1.66	1.16
	1	—	0.27	0.57	0.83	1.03	0.29
Окупаемость удобрений, кг	0	—	8.9	9.7	8.7	9.2	6.4
	1	—	3.0	3.2	4.6	5.7	1.6
Овес сорта Медведь (зерно), 2021 г.							
Урожайность, т/га	0	1.70	1.20	1.92	1.93	1.94	2.05
	1	1.84	2.12	2.36	2.41	2.68	2.30
	HCP_{05}	Фактор $B = 0.42$					
Прибавка урожайности к варианту без удобрений, т/га	0	—	–0.07	0.65	0.66	0.67	0.78
	1	—	0.28	0.52	0.57	0.84	0.46
Окупаемость удобрений, кг	0	—	—	2.8	2.9	2.9	3.4
	1	—	1.2	2.3	2.5	3.7	2.0

Примечание. 0 – фон без извести, 1 – фон известкования по 1.0 H_T .

Таблица 4. Содержание сырого протеина (%) в зерне и сухом веществе в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве

Фон	Содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы					
	67–88	66–86	107–152	170–191	184–266	186–271
Озимая рожь сорта Фаленская 4 (зерно), 2016 г.						
Без извести	7.95	9.38	9.84	9.55	9.58	9.80
Известкование по 1.0 H_r	9.20	11.0	10.5	11.5	11.2	10.4
HCP_{05} фактор $A = 0.96$, фактор $B = 1.21$						
Яровая пшеница сорта Ирень (зерно), 2017 г.						
Без извести	11.7	12.3	13.4	14.7	13.7	12.3
Известкование по 1.0 H_r	10.1	12.8	15.1	16.1	14.7	13.1
$F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$						
Клевер сорта Дымковский (сухое вещество), 2018 г.						
Без извести	18.0	16.5	17.7	18.4	16.8	17.5
Известкование по 1.0 H_r	19.3	19.4	20.3	21.2	20.6	18.5
$F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$						
Яровая пшеница сорта Баженька (зерно), 2020 г.						
Без извести	9.58	12.17	12.51	12.17	12.56	12.74
Известкование по 1.0 H_r	10.6	12.1	12.7	12.4	13.0	12.6
HCP_{05} фактор $B = 0.9$						
Овес сорта Медведь (зерно), 2021 г.						
Без извести	11.6	12.0	12.8	13.8	13.4	12.5
Известкование по 1.0 H_r	11.8	12.5	12.9	13.7	13.7	13.1
HCP_{05} фактор $B = 0.9$						

кования по 1 H_r – 3.7 кг при урожайности 2.68 т/га. Окупаемость на фоне известкования по 1 H_r была меньше, чем на фоне без извести, т.к. прибавка урожайности на этом фоне относительно варианта без удобрений была также соответственно меньше. Выявлены достоверные корреляционные связи между содержанием подвижного фосфора в почве и урожайностью овса ($r = 0.71$). При этом надо отметить, что коэффициент корреляции на фоне без извести составил 0.81, а на фоне известкования по 1.0 H_r – 0.66.

Важным показателем качества зерна и зеленой массы клевера лугового является содержание в нем белка (сырого протеина). Установлено, что основное количество белка в зерне накапливается благодаря оттоку азотистых веществ из вегетативных органов и немного за счет поглощения азота корнями после цветения. На азотный обмен сильное влияние оказывает фосфор, а точнее соотношение азота и фосфора [21]. Минеральные удобрения оказывали неоднозначное влияние на

качество культур в опыте. Существенно выше (в 1.1 раза) было содержание протеина в зерне озимой ржи на произвесткованном фоне – 10.6%, чем на фоне без извести – 9.35% (табл. 4). На почве с повышенным и высоким содержанием подвижного фосфора при применении удобрений (N90P50K90) данный показатель увеличивался на 1.60–1.89% на фоне без извести и на 1.23–2.25% – на фоне известкования по 1.0 H_r . Максимальное содержание протеина (11.5%), что было больше в 1.2 раза, чем в контрольном варианте, отмечено на почве при pH 5.4–5.7 и содержании подвижного фосфора 170–191 мг/кг.

При возделывании пшеницы на хлебопекарные цели содержание белка должно быть $\geq 13\%$. Содержание сырого протеина в зерне пшеницы сорта Ирень в варианте без удобрений составило 11.7% на фоне без извести и 10.1% – на произвесткованном фоне. Применение удобрений (N90P50K90) способствовало повышению содержания сырого протеина в зерне до 13.4–14.7% на

кислой почве и до 13.1–16.1% на известкованном фоне, коэффициент корреляции составил 0.68. Сорт Баженка, возделываемый в 2020 г., сформировал зерно с более низким содержанием сырого протеина, чем сорт Ирень. Отмечены одинаковые тенденции к увеличению данного показателя: при выращивании культуры на известкованном фоне содержание белка в зерне составило в среднем до 12.2%, максимальное содержание сырого протеина 13.0% было сформировано на почве с содержанием подвижного фосфора 184–266 мг/кг.

Согласно ГОСТ Р-53901-2010 “Овес кормовой. Технические условия”, зерно овса сорта Медведь можно отнести ко II классу – при возделывании овса без удобрений содержание сырого протеина в зерне составило 11.6% на фоне без извести и 11.8% на известкованном фоне. На содержание сырого протеина в зерне овса влияние оказывали азотные удобрения как при одностороннем внесении, так и в составе NPK, коэффициент корреляции составил 0.65, а зерно соответствовало I классу, т.е. содержание сырого протеина было >12%.

Максимальное содержание сырого протеина в сухой массе клевера 18.4 и 21.2% отмечено в варианте с повышенным содержанием фосфора в почве (170–191 мг/кг) на обоих фонах (табл. 4). При этом на известкованном фоне содержание протеина в клевере было больше, чем на фоне без известкования. Установлены достоверные корреляционные связи степени кислотности почвы (величин pH и H_r) с содержанием сырого протеина в сухой массе клевера ($r = 0.87$ и $r = -0.86$ соответственно). Доля влияния содержания подвижного фосфора в почве на содержание протеина в клевере была незначительной.

Злаковые культуры, изученные в опыте, относятся к группе зернофуражных культур, в то же время эти культуры продовольственные, из которых получают высококачественные продукты питания. Большое значение имеет определение показателей, которые входят в базисную норму ГОСТов при заготовках и поставках зерна. Так натура зерна ржи и пшеницы служит одним из ориентировочных показателей мукомольных качеств, овса – характеризует выход ядра. Базисная норма натуры зерна для озимой ржи в Кировской обл. равна 680 г/л, в вариантах опыта этот показатель менялся в пределах 701–713 г/л, т.е. превышал базисную норму. Показатель массы 1000 зерен, характеризующий крупность и выполненность зерна, связан с линейными размерами зерна, химическим составом и комплексом технологических свойств, обуславливающих каче-

ство получаемой продукции [22]. В нашем опыте удобрения не оказали существенного влияния на массу 1000 зерен озимой ржи, в среднем на 2.7 г крупнее сформировалось зерно на известкованной почве, чем на кислой. Важным показателем технологических качеств зерна озимой ржи является число падения, который отражает степень пророслости зерна и активность фермента альфа-амилазы. По нему судят о пригодности зерна к переработке на муку. Основным фактором, определяющим величину этого показателя, является уровень увлажнения в период налива зерна [22]. Созревание озимой ржи в 2016 г. проходило при благоприятных условиях: температура воздуха была выше нормы на 2.1°C во 2-й декаде и на 3.9°C – в 3-й декаде июля, при минимальном (1.5% от нормы) уровне увлажнения. При таких метеорологических условиях число падения озимой ржи в опыте было достаточно высоким – >200 с, что соответствовало I-му классу ГОСТ 16990-88 “Рожь. Требования при заготовках и поставках”, влияние удобрений и уровня плодородия почвы на этот показатель было незначительным.

Базисная норма этого показателя для яровой пшеницы в Кировской обл. (ГОСТ Р 52554-2006 “Пшеница. Требования при заготовках и поставках”) равна 730 г/л. Натура зерна сорта Ирень в вариантах опыта менялась в пределах 749–796 г/л, т.е. превышала базисную норму (табл. 5). Исключение составил вариант 4 на известкованном фоне, где было отмечено сильное полегание растений. Надо отметить, что на обоих фонах в вариантах без удобрений и одностороннем внесении азотного удобрения натура зерна была наибольшей (785–796 г/л). Сложившиеся погодные условия (повышенная температура воздуха при недостатке увлажнения) в период налива зерна оказали влияние на крупность зерна – масса 1000 зерен была в среднем равна 31.1 и 32.9 г соответственно фонам без извести и известкования, что больше контрольных вариантов на 9 и 13%.

Согласно межгосударственному стандарту (ГОСТ 28673-2019. Овес. Технические условия) по величине натурной массы зерно овса подразделяют на 3 класса: I класс – ≥ 550 , II класс – ≥ 540 , III класс – ≥ 520 г/л. Зерно овса сорта Медведь соответствовало требованиям ГОСТа. Максимальная натура зерна отмечена в 2-х вариантах на фоне известкования по 1 H_r – 530 г/л. Таким образом, несмотря на имеющиеся литературные данные [23] о влиянии доз и видов минеральных удобрений на натуру зерна, результаты нашего исследования этого не подтвердили. Согласно сортовым характеристикам, сорт Медведь формирует зерно с массой 1000 зерен от 34 до 46 г, что

Таблица 5. Качество сельскохозяйственных культур в зависимости от плодородия дерново-подзолистой почвы

Показатель	рН _{KCl}	Содержания подвижного фосфора в почве, мг/кг					
		67–88	66–86	107–152	170–191	184–266	186–271
Озимая рожь сорта Фаленская 4, 2016 г.							
Масса 1000 зерен, г	3.7–4.0	27.9	26.4	25.7	25.8	25.3	25.7
	5.4–5.7	26.6	27.1	28.3	29.5	30.4	30.8
Натура зерна, г/л	3.7–4.0	734	723	711	705	702	709
	5.4–5.7	722	714	705	710	711	711
	HCP ₀₅	Фактор B = 7					
Число падения, с	3.7–4.0	236	237	232	226	225	237
	5.4–5.7	242	224	228	218	236	240
Яровая пшеница сорта Ирень, 2017 г.							
Масса 1000 зерен, г	3.7–3.9	28.6	32.2	28.4	29.8	32.4	32.9
	5.3–5.6	29.2	35.2	34.0	29.5	31.9	34.1
	HCP ₀₅	Фактор B = 3.3					
Натура зерна, г/л	3.7–3.9	785	785	749	754	764	779
	5.3–5.6	793	796	783	728	758	776
	HCP ₀₅	Фактор B = 28					
Содержание сырой клейковины, %	3.7–3.9	24.8	31.8	33.4	33.8	31.6	28.8
	5.3–5.6	25.0	38.0	29.8	39.8	36.2	34.1
	HCP ₀₅	Фактор B = 3.0					
Яровая пшеница сорта Баженька, 2020 г.							
Масса 1000 зерен, г	3.8–3.9	31.0	34.0	30.7	32.0	31.4	31.3
	5.3–5.4	30.5	33.4	31.0	30.0	30.9	29.1
	HCP ₀₅	Фактор B = 0.6					
Натура зерна, г/л	3.8–3.9	767	771	750	762	761	756
	5.3–5.4	760	770	748	745	745	737
	HCP ₀₅	Фактор B = 8.5					
Содержание сырой клейковины, %	3.8–3.9	25.2	30.0	32.6	30.8	31.4	29.8
	5.3–5.4	23.6	30.0	28.8	29.8	30.8	29.8
	HCP ₀₅	Фактор B = 2.5					
Овес сорта Медведь, 2021 г.							
Масса 1000 зерен, г	3.7–3.9	38.1	38.3	38.6	38.1	39.6	39.1
	5.2–5.4	38.8	38.0	38.8	38.8	38.0	38.5
Натура зерна, г/л	3.7–3.9	525	519	520	526	517	522
	5.2–5.4	528	520	530	520	515	530

по Международному классификатору СЭВ рода *Avena* L. считается выше средней группы. Сложившиеся погодные условия в период налива зерна оказали влияние на крупность зерна – масса 1000 зерен была в вариантах равна 38.0–39.6 г. без существенной разницы в зависимости от варианта опыта и фона. Надо отметить, что по дан-

ным других исследователей применение удобрений либо не влияло на показатель массы 1000 зерен [24], либо увеличивало его в 50–56% случаев [25].

Одним из наиболее важных показателей технологических качеств зерна яровой пшеницы является содержание сырой клейковины. Возделываемые в опыте сорта яровой пшеницы Ирень и

Баженка относятся к ценным по качеству сортам, т.е. содержание сырой клейковины в зерне должно быть $\geq 25\%$. В условиях 2017 г. во всех вариантах опыта с удобрениями содержание сырой клейковины было достаточно высокое: в среднем на кислом фоне — 30.7, на известкованном — 33.8%. Внесение удобрений повышало содержание клейковины в 1.4 раза (при pH 3.7–3.9) и в 1.6 раза (при pH 5.3–5.6) по сравнению с контрольным вариантом на почве с содержанием подвижного фосфора 170–191 мг/кг. В почвенно-климатических условиях Нечерноземной зоны обычно, когда выявлено высокое содержание клейковины в зерне, то качество клейковины снижается. Показано на приборе ИДК-1, что показатель деформации клейковины был >80 ед. прибора, что соответствовало II группе качества (удовлетворительная слабая). Возделываемый в опыте в 2020 г. сорт Баженка сформировал зерно с достаточно высоким содержанием сырой клейковины: в среднем на кислом фоне — 30.9, на известкованном — 29.8%, показатель деформации клейковины составил 101 ед. прибора, что соответствовало II группе качества. Надо отметить, что выявлена тесная корреляционная связь урожайности яровой пшеницы с содержанием клейковины в зерне ($r = 0.78$). Таким образом, внесение удобрений оказывало существенное влияние на качество зерна яровой пшеницы независимо от содержания подвижного фосфора в почве и почвенной кислотности.

ВЫВОДЫ

1. Длительное (50 лет) применение минеральных удобрений без известкования привело к подкислению дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы к уровню исходной кислотности почвы и составило в среднем 3.8 ед. pH. Отмечено подкисление почвы известкованного фона в среднем на 0.7–0.8 ед. Содержание подвижного фосфора в почве по окончании ротации севооборота (2021 г.) в зависимости от варианта опыта изменялось от среднего (66–88 мг/кг) до очень высокого (266–271 мг/кг).

2. Максимальная урожайность (4.43 т/га) в длительном стационарном опыте в период 2016–2021 гг. получена у озимой ржи сорта Фаленская 4 при внесении N90P50K90 на почве с pH_{KCl} 3.8 и содержанием подвижного фосфора в почве 121 мг/кг, что было больше, чем в варианте без удобрений в 1.6 раза. Максимальная окупаемость удобрений получена у озимой ржи сорта Фаленская 4 (10.4 кг) и яровой пшеницы сорта Ирень

(8.7 кг) при внесении аммиачной селитры в дозе 90 кг/га.

3. Содержание сырого протеина в зерне злаковых культур и зеленой массе клевера лугового было больше на почве при pH 5.2–5.7, чем при pH 3.7–4.0, не зависело от содержания подвижного фосфора в почве. Внесение удобрений (N90 и N90P50K90) под злаковые культуры повышало этот показатель на 1.60–5.96%.

4. Показатель натуры зерна злаковых культур не зависел от уровня кислотности и содержания подвижного фосфора в почве, при этом показатель превышал базисную норму стандартов при заготовках зерна.

5. Содержание сырой клейковины в зерне яровой пшеницы сортов Ирень и Баженка повышалось при применении удобрений на 4.0–14.8%. Максимальное содержание (33.8 и 39.8%) отмечено у сорта Ирень как на кислой, так и на известкованной почве при содержании подвижного фосфора 170–191 мг/кг при внесении N90P50K90.

6. Влияние удобрений и уровня плодородия почвы на показатель число падения у озимой ржи было несущественным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно ландшафтом земледелии // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139.
2. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почвы России и пути его регулирования // Плодородие. 2020. № 6. С. 3–13.
3. Кидин В.В. Система удобрения. М.: РГАУ–МСХА, 2012. 534 с.
4. Тюлин В.В. Почвы Кировской области. Киров: Волго-Вятское кн. изд-во, Кировское отд-е, 1976. 288 с.
5. Молодкин В.Н., Бусыгин А.С. Плодородие пахотных почв Кировской области // Земледелие. 2016. № 8. С. 16–18.
6. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электр. ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (дата обращения 20.01.2023 г.)
7. Динамика изменения кислотности почв Кировской области [Электр. ресурс]. URL: <https://agrohim-kirov.ru/динамика-изменения-кислотности-почв/> (дата обращения 11.01.2023 г.).
8. Дыбин В.В., Чернышкова Л.Б. Изменение плодородия дерново-подзолистой почвы и продуктивности культур при длительном применении удобрений с известкованием // Плодородие. 2014. № 2. С. 22–23.
9. Васбиева М.Т., Завьялова Н.Е. Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы естественных и агро-

- фитоценозов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 92–115.
10. Шафран С.А. Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и ее резервы // Агрохимия. 2016. № 8. С. 3–10.
 11. Лыскова И.В., Суховеева О.Э., Лыскова Т.В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22 (2). С. 244–253.
 12. Завьялова Н.Е., Шишков Д.Г. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в длительном стационарном опыте в климатических условиях Предуралья // Изв. ТСХА. 2020. Вып. 5. С. 5–17.
 13. Пасынкова Е.Н., Пасынков А.В., Баландина С.А. Формирование урожая и технологических качеств зерна различных сортов овса в зависимости от доз и сроков применения азотных удобрений // Агрохимия. 2008. № 4. С. 43–51.
 14. Косолапова В.И., Возжаев В.И., Лейних П.А. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от применения минеральных удобрений // Перм. аграрн. вестн. 2017. № 3 (19). С. 76–80.
 15. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
 16. Метод ускоренного определения азота с использованием аппарата Сереньева. М.: ЦИНАО, 1989. 8 с.
 17. Методические рекомендации по оценке качества зерна. М., 1977. 172 с.
 18. Калинин А.И. Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и продуктивность растений. Киров, 2004. 220 с.
 19. Прошкин В.А. Моделирование эффективности минеральных удобрений по показателям агрохимических свойств почвы // Агрохимия. 2012. № 7. С. 16–27.
 20. Абашев В.Д., Светлакова Е.В. Влияние минеральных удобрений на урожайность культур зернотравяного севооборота // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 2 (45). С. 37–43.
 21. Коданев И.М. Агротехнические приемы повышения качества зерна. Горький, 1981. 47 с.
 22. Беркутова Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991. 206 с.
 23. Завалин А.А., Пасынков А.В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. М.: ВНИИА, 2007. 208 с.
 24. Абашев В.Д., Попов Ф.А., Носкова Е.Н., Жук С.Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество голозерного овса сорта Першерон // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 62. № 1. С. 52–57.
 25. Mutlu A. The effect of organic fertilizers on grain yield and some yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) // Fresen. Environ. Bul. 2021. № 29 (12). P. 10840–10846.

Dependence of Crop Yield and Quality on Fertility of Sod-Podsolic Soil

I. V. Lyskova^{a,*} and T. V. Lyskova^a

^aFalenki Breeding Station — Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky ul. Timiryazeva 3, Falenki, Kirov region 612500, Russia

*E-mail: fss.nauka@mail.ru

Based on long-term (2016–2021) research results in a long-term stationary experiment (1971–2021) in the eastern district of the central climatic zone of the Kirov region, the influence of soil acidity and the content of mobile phosphorus on the yield and quality of grain crops and meadow clover when applying fertilizers (N90, N90P50K90) was estimated. It was found that the maximum yield (4.43 t/ha) in a long-term stationary experiment in the period 2016–2021 was obtained from Falenskaya 4 winter rye when N90P50K90 was applied to soil with pH_{KCl} 3.8 and the content of mobile phosphorus in the soil was 121 mg/kg, which is 1.6 times higher than the “without fertilizers” option. The content of crude protein in the grain of cereals and the green mass of meadow clover was formed higher on the soil at pH 5.2–5.7 than at pH 3.7–4.0, did not depend on the content of mobile phosphorus in the soil, the application of fertilizers (N90, N90P50K90) for cereals increased the indicator by 1.60–5.96%. The indicator “grain nature” of cereal crops did not depend on the level of acidity and the content of mobile phosphorus in the soil, while the indicator exceeded the basic norm of standards for grain harvesting. The content of raw gluten in the grain of spring wheat varieties Iren and Bazhenka increased with the use of fertilizers by 4.0–14.8%. The maximum content (33.8 and 39.8%) was observed in the Iren variety on both acidic and cultivated soil with a mobile phosphorus content of 170–191 mg/kg when N90P50K90 was applied. The effect of fertilizers and the level of soil fertility on the indicator “falling number” in winter rye was insignificant.

Keywords: long stationary experiment, lime application, mineral fertilizers, mobile phosphorus, winter rye, spring wheat, oats, meadow clover, weight 1000 grains, grain nature, crude protein, falling number.