

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ ПО ФАЗАМ РАЗВИТИЯ ОЗИМОЙ РЖИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**Д. Г. Шишков, В. Р. Олехов, Д. Р. Сафиуллина**

Реферат. В работе изложены результаты исследований по оценке влияния минеральных удобрений на основные агрохимические показатели дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы по фазам развития озимой ржи. Исследования проведены в Пермском районе Пермского края в 2019 и 2021 годах в длительном стационарном опыте. Выборка из полной схемы опыта представляла собой варианты с возрастающими дозами азотных удобрений на трёх фосфорно-калийных фонах. Почва опыта перед посевом озимой ржи обладала среднекислой и слабокислой степенью кислотности, высокой и очень высокой обеспеченностью подвижным фосфором, повышенным и высоким содержанием обменного калия. К фазе колошения озимой ржи произошло достоверное снижение pH_{KCl} в среднем по всем изучаемым вариантам на 0,2 ед. pH ($HCP_{05}=0,1$). Наибольшее снижение установлено при применении $N_{120}P_{30}K_{30}$ и $N_{150}P_{60}K_{60}$ и составило 0,3 ед. pH ($HCP_{05}=0,2$). Установлена тенденция снижения содержания подвижного фосфора между фазами в контрольном варианте и при применении N_{90} на 13 и 32 мг/кг. Содержание подвижного калия увеличилось к фазе колошения, в первую очередь за счёт изменения показателя в вариантах с применением $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{150}P_{60}K_{60}$ на 39 и 38 мг/кг соответственно ($HCP_{05}=27$ мг/кг). Содержание аммонийного азота достоверно увеличивалось на 7,3 мг/кг к фазе колошения ($HCP_{05}=5,9$ мг/кг). Содержание нитратного азота имело тенденцию к снижению на 8,6 мг/кг. Урожайность зерна достоверно, умеренно коррелирует с содержанием подвижного фосфора в обеих изучаемых фазах ($r=0,42$ для обеих фаз) и содержанием аммонийного азота в фазу колошения ($r=0,45$).

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, подвижный фосфор, обменный калий, минеральный азот, фазы развития, озимая рожь (*Secale cereale*).

Для цитирования: Шишков Д. Г., Олехов В. Р., Сафиуллина Д. Р. Изменение агрохимических показателей почвы по фазам развития озимой ржи в зависимости от применения минеральных удобрений // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. 4 (16). С. 61-66 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-61-66>

Введение. Озимая рожь – ценная сельскохозяйственная культура, которая занимает важное место в обеспечении продовольственной безопасности Российской Федерации и в особенности её Нечернозёмной зоны [1, 2]. В условиях дерново-подзолистых почв большое влияние на её продуктивность оказывают минеральные удобрения, в основном азотные [3, 4]. Ухудшение доступности элементов минерального питания, в свою очередь, приводит к недополучению урожая, снижению качества и увеличению заболеваемости растений [1, 4, 5].

В течение вегетации сельскохозяйственных культур агрохимические показатели почвы могут существенно изменяться от фазы к фазе в зависимости от различных агротехнологических приёмов, в том числе при применении удобрений [3, 6, 7]. Влияние агрохимических показателей на урожайность сельскохозяйственных культур может различаться в зависимости от условий проведения исследований (в первую очередь погодных) и фазы развития. Так, в исследованиях [8] указано, что в условиях 2015 года между содержанием подвижного фосфора и нитратного азота в фазу выхода в трубку установлена тесная корреляционная связь с урожайностью яровой пшеницы, в то время как в условиях 2014 года такая связь не выявлена. Особенно важно контролировать поступление элементов питания в растения в фазы их наибольшего потребления, к которым относятся выход в трубку и колошение [9, 10, 11].

На изменение агрохимических показателей в течение вегетации могут оказывать влияние удобрения, погодные условия или взаимодействие с почвой непосредственно самих растений [12, 13, 14]. Среди важнейших показателей,

которые в первую очередь влияют на поступление элементов питания в растения выделяют обменную кислотность (pH_{KCl}), содержание подвижных форм фосфора и калия, минерального (аммонийный и нитратный) азота [7, 10, 15].

В связи с этим, цель исследования заключалась в оценке изменения агрохимических показателей почвы по фазам развития растений озимой ржи в зависимости от применения минеральных удобрений.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили в длительном стационарном опыте, заложенном в 1978 и 1980 годы на базе «Пермского НИИСХ» – филиала ПФИЦ УрО РАН. Опыт заложен по сокращённой схеме 1/9 полного факториального эксперимента (6 х 6 х 6). Схема включала шесть градаций доз азотных, фосфорных и калийных удобрений и их комбинации – всего 24 варианта. Для анализа из полной схемы были выбраны 6 вариантов: контроль (без удобрений) и пять вариантов с возрастающей дозой азота (от N_{30} до N_{150}) на разных уровнях фосфорно-калийного фона ($P_{30}K_{30}$ и $P_{60}K_{60}$).

Исследования проведены в шестой ротации севооборота на озимой ржи сорта Фалёнская 4, которая выращивалась в 2018-2019 и 2020-2021 годы. Под озимую рожь половинную дозу азотных удобрений вносили перед посевом под предпосевную культивацию, вторую половину в ранневесеннюю подкормку. Фосфор и калий в полных дозах вносили под предпосевную культивацию. Все удобрения вносили вручную, в годы исследований использовали карбамид, суперфосфат простой и калий хлористый. Норма высева составила 6 млн. всхожих семян на

гектар. Учёт урожайности производили сплошным методом с помощью комбайна САМПО-2.

Почва опыта перед посевом озимой ржи обладала среднекислой и слабокислой степенью кислотности, высокой и очень высокой обеспеченностью подвижным фосфором, повышенным и высоким содержанием обменного калия.

Повторность вариантов в опыте двукратная, учётная площадь делянки 72 м². В течение вегетации озимой ржи отбирали почвенные образцы в фазы выхода в трубку и колошения.

Лабораторные исследования проводили по общепринятым методикам и ГОСТам: рН_{KCl} по ГОСТ 26483-85, содержания подвижных форм фосфора и калия по Кирсанову (ГОСТ 54650-2011), обменного аммония по ГОСТ 26489-85, нитратов по ГОСТ 26951-86.

Агротехника в опыте – общепринятая для Центральной зоны Предуралья. Математическую обработку проводили по Б.А. Доспехову [16] с помощью программ Microsoft Excel. Для учёта различий по фазам развития растений данные были обработаны методом дисперсионного анализа для двухфакторного опыта, где фактор А – фаза развития, фактор В – дозы минеральных удобрений.

Главная особенность вегетационного

периода 2018–2019 годы – обилие осадков с конца июня до уборки, вследствие чего на многих делянках произошло полегание растений. Напротив, в 2020-2021 годы в фазу выхода в трубку (первая половина мая) стояли крайне засушливые условия, да и в целом лето было сухим. В то же время во второй половине вегетации отмечались отдельные периоды с обильными ливневыми осадками.

Результаты и обсуждения. Величина обменной кислотности по вариантам опыта изменялась в широком диапазоне от 4,6 до 5,2 в фазу выхода в трубку и от 4,4 до 4,9 в фазу колошения (табл. 1). Подкисление было характерно как для вариантов с применением удобрений, так и для контроля, что предполагает влияние на данный показатель дыхательной активности корней, которая к фазе колошения усиливается [13]. Среди доз минеральных удобрений достоверное снижение обменной кислотности отмечено в вариантах с применением повышенных доз азотных удобрений на фоне фосфорно-калийных (N₁₂₀P₃₀K₃₀ и N₁₅₀P₆₀K₆₀) на 0,3 ед. рН в обе изучаемые фазы (НСР₀₅=0,2). Данная закономерность может быть связана с тем, что в предыдущие годы исследований вносили физиологически кислую аммонийную селитру.

Таблица 1 – Величина рН_{KCl} по фазам развития растений озимой ржи, 2019 и 2021 годы

Фактор В	Фактор А		Среднее по фактору В	отклонения
	Выход в трубку	Колошение		
Без удобрений	5,0	4,8	4,9	–
N ₉₀	4,9	4,7	4,8	-0,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,2	4,9	5,1	0,2
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	4,7	4,5	4,6	-0,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,9	4,7	4,8	-0,1
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	4,6	4,4	4,5	-0,4
Среднее по фактору А	4,9	4,7	4,8	
отклонения	–	-0,2	–	–
НСР ₀₅				
главных эффектов	фактора А			0,1
	фактора В и взаимодействия АВ			0,1
частных различий	I порядка			0,3
	II порядка			0,2

В среднем по всем изучаемым вариантам отмечена тенденция к снижению содержания подвижного фосфора в почве от фазы выхода в трубку к фазе колошения (табл. 2). Наибольшее уменьшение содержания P₂O₅ отмечено при внесении только азота (на 32 мг/кг) и в варианте без применения удобрений

(на 13 мг/кг). Достоверное увеличение содержания фосфора относительно контроля получено в вариантах N₃₀P₃₀K₃₀ и N₁₅₀P₆₀K₆₀ в фазу выхода в трубку на 53 и 76 мг/кг соответственно (НСР₀₅=42 мг/кг). В фазу колошения достоверное увеличение получено по всем вариантам с применением фосфорных удобрений.

Таблица 2 – Изменение содержания подвижного фосфора в почве по фазам развития растений озимой ржи, 2019 и 2021 годы, мг/кг

Фактор В	Фактор А		Среднее по фактору В	отклонения
	Выход в трубку	Колошение		
Без удобрений	183	170	176	–
N ₉₀	217	185	201	25
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	236	228	232	56
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	221	217	219	43
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	224	224	224	48
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	259	264	261	85
Среднее по фактору А	223	215	219	
отклонения	–	-9	–	–
НСР ₀₅				
главных эффектов	фактора А			F _ф <F ₀₅
	фактора В и взаимодействия АВ			30
частных различий	I порядка			–
	II порядка			42

АГРОНОМИЯ

Содержание обменного калия достоверно увеличилось к фазе колошения в среднем по всем вариантам на 15 мг/кг при $НСР_{05}=11$ мг/кг (табл. 3). Среди изучаемых величина показателя достоверно увеличилась при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{150}P_{60}K_{60}$ – на 39 и

38 мг/кг соответственно ($НСР_{05}=27$ мг/кг). Относительно контроля содержание калия достоверно возросло в вариантах с применением $N_{120}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{150}P_{60}K_{60}$, как в среднем по обоим фазам развития, так и по каждой фазе в отдельности.

Таблица 3 – Изменение содержания обменного калия в почве по фазам развития растений озимой ржи, 2019 и 2021 годы, мг/кг

Фактор В	Фактор А		Среднее по фактору В	отклонения
	Выход в трубку	Колошение		
Без удобрений	160	167	163	–
N_{90}	163	172	168	5
$N_{30}P_{30}K_{30}$	172	179	175	12
$N_{120}P_{30}K_{30}$	204	205	204	41
$N_{60}P_{60}K_{60}$	214	243	229	66
$N_{150}P_{60}K_{60}$	204	242	223	60
Среднее по фактору А	186	201	194	
отклонения	–	15	–	–
$НСР_{05}$				
главных эффектов	фактора А			11
	фактора В и взаимодействия АВ			16
частных различий	I порядка			27
	II порядка			23

В среднем по всем изучаемым дозам минеральных удобрений содержание аммонийного азота увеличилось в фазе колошения относительно фазы выхода в трубку на 7,3 мг/кг при $НСР_{05}=5,9$ мг/кг (табл. 4). Отдельно по изучаемым вариантам отмечена только тенденция к увеличению показателя. Относительно варианта без применения

удобрений достоверное снижение показателя в среднем по обоим фазам получено в варианте $N_{30}P_{30}K_{30}$, увеличение – в варианте $N_{150}P_{60}K_{60}$. Снижение содержания аммонийного азота, а также его фиксация на уровне контроля при применении минеральных удобрений может быть объяснена фиксацией его в необменной форме в почве [17].

Таблица 4 – Изменение содержания аммонийного азота в почве по фазам развития растений озимой ржи, 2019 и 2021 годы, мг/кг

Фактор В	Фактор А		Среднее по фактору В	отклонения
	Выход в трубку	Колошение		
Без удобрений	11,6	19,1	15,3	–
N_{90}	12,6	21,8	17,2	1,9
$N_{30}P_{30}K_{30}$	9,6	13,1	11,4	-4,1
$N_{120}P_{30}K_{30}$	11,4	21,1	16,3	1,0
$N_{60}P_{60}K_{60}$	14,0	16,3	15,2	-0,1
$N_{150}P_{60}K_{60}$	12,6	24,3	18,4	3,1
Среднее по фактору А	12,0	19,3	15,6	
отклонения	–	7,3	–	–
$НСР_{05}$				
главных эффектов	фактора А			5,9
	фактора В и взаимодействия АВ			2,7
частных различий	I порядка			14,5
	II порядка			3,8

Содержание нитратного азота имело тенденцию к снижению от фазы выхода в трубку к фазе колошения (табл. 5). Наибольшая величина показателя в фазу выхода в трубку получена в варианте с применением $N_{150}P_{60}K_{60}$. В фазу колошения в контрольном варианте отмечено наименьшее содержание нитратного азота. В варианте с применением наибольшей в опыте дозы азотного удобрения, аналогично предыдущей фазе, получена наибольшая величина показателя в опыте, достоверное увеличение относительно контроля составило 19,5 мг/кг ($НСР_{05}=7,3$ мг/кг). Отсутствие достоверных различий между содержанием нитратного

азота в контрольном варианте и в остальных исследуемых вариантах с внесением удобрений (а в некоторых случаях его большего накопления относительно вариантов с внесением азота) может быть объяснено увеличением выноса данной формы азота растениями, а также не сбалансированностью применяемых доз удобрений в условиях высокой обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия [17]. При расчёте коэффициента корреляции установлена прямая сильная связь между содержанием нитратного азота в фазу выхода в трубку и содержанием аммонийного азота в фазу колошения ($r = 0,79$).

Таблица 5 – Изменение содержания нитратного азота в почве по фазам развития растений озимой ржи, 2019 и 2021 годы, мг/кг

Фактор В	Фактор А		Среднее по фактору В	отклонения
	Выход в трубку	Колошение		
Без удобрений	24,7	7,3	16,0	–
N ₉₀	23,3	11,8	17,6	1,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	21,1	10,6	15,8	-0,2
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	15,4	10,1	12,8	-3,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	15,3	12,8	14,0	-2,0
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	30,9	26,8	28,8	12,0
Среднее по фактору А	21,8	13,2	17,5	–
отклонения	–	-8,6	–	
НСР ₀₅				
главных эффектов	фактора А			F _ф <F ₀₅
	фактора В и взаимодействия АВ			5,1
частных различий	I порядка			–
	II порядка			7,3

Для оценки связи между уровнем агрохимических показателей по фазам развития и урожайностью зерна, представленной ранее в [18], были рассчитаны коэффициенты линейной корреляции (табл. 6). По результатам корреляционного анализа связь умеренной силы (по шкале Чеддока) с урожайностью получена для содержания подвижного фосфора в обе изучаемые фазы и содержания аммонийного

азота в фазу колошения. Относительно невысокая теснота связи может быть объяснена тем, что сильное влияние на урожайность оказали погодные условия в период созревания зерна [18], а также сильным варьированием величины показателей по делянкам опыта и высокой обеспеченностью данными элементами питания как почвы, так и растений [19, 20].

Таблица 6 – Коэффициенты линейной корреляции между урожайностью зерна озимой ржи и изучаемыми показателями

Показатели	pH _{KCl}	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NH ₄	N-NO ₃	N	P	K
Урожайность зерна	<u>0,10</u> 0,29	<u>0,42*</u> 0,42	<u>0,18</u> 0,09	-0,08 0,45	<u>0,24</u> -0,22	<u>-0,34</u> -0,26	<u>0,32</u> 0,33	<u>-0,10</u> 0,15

Примечание: в числителе – выход в трубку, в знаменателе – колошение; **0,42*** - достоверный коэффициент корреляции при n=24 и p<0,05

Выводы. 1. От фазы выхода в трубку до фазы колошения озимой ржи pH достоверно снизился в среднем по всем изучаемым вариантам на 0,2 ед. Относительно контроля наибольшее снижение показателя в обе изучаемые фазы отмечено при применении N₁₂₀P₃₀K₃₀ и N₁₅₀P₆₀K₆₀ и составило 0,3 ед. pH.

2. Статистически значимых изменений содержания подвижного фосфора в почве между фазами не выявлено, тенденция к снижению отмечена на контроле и в варианте с применением N₉₀ на 13 и 32 мг/кг соответственно. Относительно контроля в среднем по обоим фазам величина показателя достоверно увеличивалась в вариантах с применением фосфорных удобрений на 43-85 мг/кг. Содержание подвижного калия увеличилось к фазе

колошения, наибольшее увеличение произошло в вариантах с применением N₆₀P₆₀K₆₀ и N₁₅₀P₆₀K₆₀ – на 39 и 38 мг/кг соответственно.

3. Содержание аммонийного азота достоверно увеличивалось, а содержание нитратного азота имело тенденцию к снижению от фазы выхода в трубку к фазе колошения. Наибольшее содержание обеих форм азота было установлено в варианте с применением максимальной изучаемой дозы азотного удобрения.

4. Урожайность зерна имела достоверную корреляционную связь умеренной силы с содержанием подвижного фосфора в обе изучаемые фазы (r=0,42 для обеих фаз) и содержанием аммонийного азота в фазу колошения (r=0,45).

Литература

- Новоселов С. И., Кузьминых А. Н. Влияние паровых предшественников и минеральных удобрений на урожайность озимой ржи // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3(18). С. 33-38.
- Шмелева М. С. Влияние удобрений, срока посева на фенологические фазы и формирование урожая озимой ржи в условиях Зауралья // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 2. С. 73-79. doi: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-73-79.
- Динамика агрохимических показателей почвы в зависимости от применения азотсодержащих минеральных удобрений при возделывании озимых зерновых культур в условиях Северо-Запада РФ / А. Н. Волосевич, М. Д. Трубяков, А. О. Рыбаков, А. В. Силараупс // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1. С. 13-26.
- Шайкова Т. В., Дятлова М. В., Волкова Е. С. Потребление и вынос основных элементов минерального питания озимой рожью при внесении комплексных удобрений // Плодородие. 2022. № 6(129). С. 3-7.

doi: 10.25680/S19948603.2022.129.01.

5. Золотарева Р. И., Максимов В. А. Оценка устойчивости изучаемых сортов озимой ржи к основным болезням // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2019. № 21. С. 94-96.

6. Матюк Н. С., Николаев В. А., Щигрова Л. И. Изменение плодородия при разных технологиях обработки почвы // Агрохимический вестник. 2019. № 2. С. 13-16. doi: 10.24411/0235-2516-2019-10020.

7. Окорков В. В., Щукин Н. Н. Действие и последствие помета кур на плодородие дерново-подзолистой почвы и урожайность яровой пшеницы в условиях Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2023. № 2 (104). С. 34-41. doi: 10.24412/2225-2584-2023-2104-34-41.

8. Сорокина О. А. Эффективность действия и последствия фосфоритной муки на черноземе выщелоченном // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6(159). С. 3-10. doi: 10.36718/1819-4036-2020-6-3-10.

9. Малкандуев Х. А., Шамурзаев Р. И., Малкандуева А. Х. Потребление основных элементов питания сортами озимой пшеницы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 2(106). С. 107-117. doi: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-107-117.

10. Osvalde A. Optimization of plant mineral nutrition revisited: the roles of plant requirements, nutrient interactions, and soil properties in fertilization management // Environmental and Experimental Biology. 2011. V. 9. №. 3. P. 1-8. URL: https://www.researchgate.net/publication/266608056_Optimization_of_plant_mineral_nutrition_revisited_The_roles_of_plant_requirements_nutrient_interactions_and_soil_properties_in_fertilization_management (дата обращения: 10.16.2024)

11. Variations of forage yield and nutritive value in winter rye germplasm / K. S. Kim, J. D. Anderson, M. A. Newell, T. J. Butler // Crop Science. 2016. Vol. 56(3). P. 1018-1024. doi: 10.2135/cropsci2015.08.0487.

12. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Шишков Д. Г. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, содержание основных элементов питания и тяжелых металлов в озимой ржи // Агрохимия. 2021. № 4. С. 49-56. doi: 10.31857/S0002188121040153.

13. Ларикина Ю. С., Волобуева О. Г. Современные представления об эколого-физиологической роли корневых экссудатов растений (обзорная статья) // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4(40). С. 93-101. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-93-101.

14. Минеральное питание в посевах ярового ячменя на юге России / Н. Ю. Петров, В. И. Филин, Г. С. Егорова и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4(72). С. 58-65. doi: 10.32786/2071-9485-2023-04-05.

15. Vasbieva M. T. Effect of Long-Term Application of Organic and Mineral Fertilizers on the Organic Carbon Content and Nitrogen Regime of Soddy-Podzolic Soil // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52, №. 11. P. 1422-1428. doi: 10.1134/S1064229319110139.

16. Доспехов Б. А., Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студ. высш. с.-х. учеб. заведений по агроном. спец. / Б. А. Доспехов, 2011. 392с.

17. Дзюин Г. П., Дзюин А. Г. Изменения минеральных форм азота в севообороте с длительным использованием удобрений // Владимирский земледелец. 2015. № 3-4(73-74). С. 11-13.

18. Шишков Д. Г., Олехов В. Р., Васбиева М. Т. Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность озимой ржи в Среднем Предуралье // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 3. С. 399-408. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408.

19. Давлятшин И. Д., Лукманов А. А., Гайров Р. Р. Пространственная связь между агрохимическими свойствами и урожайностью озимой пшеницы на светло-серых лесных почвах Среднего Поволжья // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 4. С. 38-47.

20. Шишков Д. Г., Олехов В. Р. Накопление основных элементов питания в надземной массе озимой ржи сорта Фалёнская 4 в условиях длительного стационарного опыта // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 7. С. 49-55.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 124020600030-6.

Сведения об авторах:

Шишков Данил Глебович – научный сотрудник, e-mail: danil.schischkov@yandex.ru

Пермский НИИСХ – филиал ПФИЦ УрО РАН, Лобаново, Россия.

Олехов Владимир Радомирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения, e-mail: olekhovr@pgatu.ru

Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь, Россия.

Сафиуллина Диана Рафисовна – младший научный сотрудник, e-mail: safiullinad551@gmail.com

Пермский НИИСХ – филиал ПФИЦ УрО РАН, Лобаново, Россия.

CHANGES IN SOIL AGROCHEMICAL PARAMETERS ACROSS WINTER RYE GROWTH PHASES DEPENDENT ON THE USE OF MINERAL FERTILIZERS

D. G. Shishkov, V. R. Olekhov, D. R. Safiullina

Abstract. This paper presents the results of research assessing the impact of mineral fertilizers on the main agrochemical parameters of sod-podzolic heavy loamy soils during winter rye growth stages. The studies were conducted in Perm district of Perm region in 2019 and 2021 as part of a long-term stationary experiment. The sample from full experimental scheme consisted of variants with increasing doses of nitrogen fertilizers against three phosphorus-potassium backgrounds. The soil in the experiment before sowing winter rye had a moderately acidic and slightly acidic pH, high and very high content of available phosphorus, and elevated and high content of exchangeable potassium. By the heading phase of winter rye, there was a reliable decrease in pH_{KCl} by 0.2 pH units on average for all the studied variants ($LSD_{05}=0.1$). The greatest decrease was observed with the use of $N_{120}P_{30}K_{30}$ and $N_{150}P_{60}K_{60}$ and amounted to 0.3 pH units ($LSD_{05}=0.2$). A tendency to decrease the mobile phosphorus content between phases was established in the control variant and with the use of N_{90} by 13 and 32 mg/kg. The content of available potassium increased by the heading phase, primarily due to a change in the indicator in the variants using $N_{60}P_{60}K_{60}$ and $N_{150}P_{60}K_{60}$ by 39 and 38 mg/kg, respectively ($LSD_{05}=27$ mg/kg). The ammonium

nitrogen content significantly increased by 7.3 mg/kg by the heading phase ($LSD_{05}=5.9$ mg/kg). The nitrate nitrogen content tended to decrease by 8.6 mg/kg. Grain productivity significantly and moderately correlated with the mobile phosphorus content in both studied phases ($r=0.42$ for both phases) and the ammonium nitrogen content at the heading phase ($r=0.45$).

Key words: sod-podzolic soil, mobile phosphorus, exchangeable potassium, mineral nitrogen, growth phases, winter rye (*Secale cereale*).

For citation: Shishkov D.G., Olekhov V.R., Safiullina D.R. Changes in soil agrochemical parameters across winter rye growth phases depending on the use of mineral fertilizers. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 4. (16). 61-66 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-61-66>

References

1. Novoselov SI, Kuzminykh AN. [Influence of steam predecessors and mineral fertilizers on winter rye productivity]. *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021; 3(18). 33-38 p.
2. Shmeleva MS. [Effect of fertilizers, sowing time on the phenological phases and yield formation of winter rye in the middle Urals]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2025; Vol.17. 2. 73-79 p. doi: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-73-79.
3. Volosevich AN, Trubnyakov MD, Rybakov AO, Silaraups AV. [Dynamics of agrochemical parameters of soil depending on the use of nitrogen-containing mineral fertilizers in the cultivation of winter grain crops in North-West of the Russian Federation]. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2019; 1. 13-26 p.
4. Shaykova TV, Dyatlova MV, Volkova ES. [Consumption and removal of the main mineral nutrition elements by winter rye with the application of complex fertilizers]. *Plodorodie*. 2022; 6(129). 3-7 p. doi: 10.25680/S19948603.2022.129.01.
5. Zolotareva RI, Maksimov VA. [Assessment of resistance of the studied winter rye varieties to the main diseases]. *Aktualnye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii selskogo khozyaystva*. 2019; 21. 94-96 p.
6. Matyuk NS, Nikolaev VA, Shchigrova LI. [Changes in fertility at different soil cultivation technologies]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2019; 2. 13-16 p. doi: 10.24411/0235-2516-2019-10020.
7. Okorkov VV, Shchukin NN. [Effect and aftereffect of chicken manure on the fertility of sod-podzolic soil and spring wheat yield in upper Volga region]. *Vladimirskiy zemledelets*. 2023; 2(104). 34-41 p. doi: 10.24412/2225-2584-2023-2104-34-41.
8. Sorokina OA. [Efficiency of action and aftereffect of phosphate rock on leached chernozem]. *Vestnik KrasGAU*. 2020; 6(159). 3-10 p. doi: 10.36718/1819-4036-2020-6-3-10.
9. Malkanduev KhA, Shamurzaev RI, Malkandueva AKh. [Consumption of basic nutrients by winter wheat varieties]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2022; 2(106). 107-117 p. doi: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-107-117.
10. Osvalde A. Optimization of plant mineral nutrition revisited: the roles of plant requirements, nutrient interactions, and soil properties in fertilization management. [Internet]. *Environmental and Experimental Biology*. 2011; Vol.9. № 3. 1-8 p. [cited 2024, October 16]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/266608056_Optimization_of_plant_mineral_nutrition_revisited_The_roles_of_plant_requirements_nutrient_interactions_and_soil_properties_in_fertilization_management
11. Kim KS, Anderson JD, Newell MA, Butler TJ. Variations of forage yield and nutritive value in winter rye germplasm. *Crop Science*. 2016; Vol. 56(3). 1018-1024 p. doi: 10.2135/cropsci2015.08.0487.
12. Zavyalova NE, Vasbieva MT, Shishkov DG. [Influence of mineral fertilizers on fertility of sod-podzolic soil, content of essential nutrients and heavy metals in winter rye]. *Agrokhimiya*. 2021; 4. 49-56 p. doi: 10.31857/S0002188121040153.
13. Larikova YuS, Volobueva OG. [Modern concepts of the ecological and physiological role of plant root exudates (review article)]. *Zernobobovye i krupnyanye kultury*. 2021; 4(40). 93-101 p. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-93-101.
14. Petrov NYu, Filin VI, Egorova GS. [Mineral nutrition in spring barley crops in the south of Russia]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*. 2023; 4(72). 58-65 p. doi: 10.32786/2071-9485-2023-04-05.
15. Vasbieva MT. Effect of long-term application of organic and mineral fertilizers on the organic carbon content and nitrogen regime of soddy-podzolic soil. *Eurasian Soil Science*. 2019; Vol.52. № 11. 1422-1428 p. doi: 10.1134/S1064229319110139.
16. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy): uchebnik dlya stud. vyssh. s.-kh. ucheb. zavedeniy po agronom. spets. [Field experiments methodology (with basics of statistical processing of research results): textbook for students of higher agricultural educational institutions in agronom. Specialization]. 2011; 392 p.
17. Dzyuin GP, Dzyuin AG. [Changes in mineral forms of nitrogen in crop rotation with long-term use of fertilizers]. *Vladimirskiy zemledelets*. 2015; 3-4(73-74). 11-13 p.
18. Shishkov DG, Olekhov VR, Vasbieva MT. [Influence of different doses and ratios of mineral fertilizers on winter rye productivity in the middle Urals]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2023; Vol.24. 3. 399-408 p. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408.
19. Davlyatshin ID, Lukmanov AA, Gayrov RR. [Spatial relationship between agrochemical properties and productivity of winter wheat on light-gray forest soils of the middle Volga region]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2016; 4. 38-47 p.
20. Shishkov DG, Olekhov VR. [Accumulation of essential nutrients in the aboveground mass of winter rye of Falenskaya 4 variety under long-term stationary experiment]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2024; 7. 49-55 p.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest. The work was carried out with the financial support of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of state assignment No. 124020600030-6.

Authors:

Shishkov Danil Glebovich – researcher, e-mail: danil.schischkov@yandex.ru

Perm Research Institute of Agriculture – Branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Russia.

Olekhov Vladimir Radomirovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Agrochemistry and Soil Science Department, e-mail: olekhovr@pgatu.ru

Perm State Agrarian and Technological University, Perm, Russia.

Safiullina Diana Rafisovna – junior researcher, e-mail: safiullinad551@gmail.com

Perm Research Institute of Agriculture – Branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Russia.