УДК 633.14:631.81 DOI: 10.25680/S19948603.2026.151.13

ДИНАМИКА ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА ЗАУРАЛЬЯ В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ

М.С. Шмелева, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева – филиал ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»
641300, Курганская область, Кетовский муниципальный округ,
с. Лесниково, КГСХА, Россия
тел.: +79088384908, e-mail: marina.litvinova19960411@mail.ru

В опыте (2021-2024 г.) с озимой рожью изучена динамика нитратного азота, подвижного фосфора и калия в выщелоченном черноземе. Погодные условия определяли содержание элементов питания в почве: в 2021 и 2023 г. избыточное увлажнение привело к вымыванию нитратного азота в более глубокие слои почвы, а смена засушливых условий существенными осадками – к закреплению фосфора и калия в почве. Наибольшие показатели урожайности были достигнуты при дозе нитроаммофоски 90 кг д.в/га при втором сроке посева (первая декада сентября), на первом сроке посева (третья декада августа) эффективнее была доза 60 кг д.в/га.

Ключевые слова: выщелоченный чернозем, питательный режим, погодные условия, озимая рожь, минеральные удобрения, хозяйственный вынос, нитратный азот, подвижные фосфор и калий.

Для цитирования: *Шмелева М.С.* Динамика питательного режима выщелоченного чернозема Зауралья в системе удобрения озимой ржи// Плодородие. – 2026. – №4. – С. 66-71. DOI: 10.25680/S19948603.2026.151.13.

Питательный режим почвы представляет собой динамичную систему, находящуюся в состоянии постоянного баланса между процессами мобилизации и иммобилизации элементов. Доступные для растений формы азота, фосфора и калия способны переходить в прочносвязанные соединения под влиянием комплекса почвенных факторов (гранулометрического и минералогического состава, содержания и качества органического вещества, реакции среды, окислительно-восстановительных условий), биологических факторов (активности почвенной микрофлоры и фауны), погодных условий и агротехники [7, 8].

Азот, как наиболее подвижный элемент, склонен к значительным потерям из-за вымывания нитратов вниз по почвенному профилю в периоды обильного увлажнения [3]. Восполнение запасов этого элемента может происходить за счет текущей нитрификации, которая зависит от степени гумусированности, влажности и температуры почвы [1]. Фосфор, напротив, подвержен процессам химического связывания и сорбции. Его сорбентами в нейтральной почве являются глинистые минералы (каолинит, и особенно гидроксиды алюминия), оксиды и гидроксиды железа, карбонаты кальция, присутствующие в незначительных количествах [7, 6]. Влияние гидротермического режима на поведение калия в почве проявляется опосредованно. Ключевым процессом, снижающим его доступность, является фиксация, которая, подобно сорбции фосфора, активизируется при повторяющихся циклах увлажнения и высыхания поверхностного слоя почвы [7].

Погодные условия в Зауралье выступают внешним регулятором доступности элементов минерального питания, что влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур и эффективность применяемых удобрений [2].

Разработка адаптивных систем минерального питания, основанных на точной диагностике потребностей растений и мониторинге реальной динамики элементов в почве под влиянием меняющихся погодных условий, позволяет регулировать питательный режим и обеспечивает полную реализацию генетического потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур [5, 9, 11].

Цель исследования – проанализировать влияние различных доз минерального удобрения на динамику доступного азота, фосфора и калия в выщелоченном черноземе, а также установить взаимосвязь между питательным режимом почвы, погодными условиями и урожайностью культуры.

Методика. Полевые опыты проведены в 2021-2024 г. на учебно-производственном плодоовощном участке Курганской государственной сельскохозяйственной академии имени Т.С. Мальцева – филиале ФГБОУ ВО «Курганского государственного университета».

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемощный среднесуглинистый со слабокислой реакцией (pH 5,6) и содержанием гумуса 5,2%.

Схема опыта включала два срока посева озимой ржи сорта Памяти Кунакбаева с внесением нитроаммофоски перед посевом в следующих дозах: $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$ и контроль без удобрения (всего 8 вариантов в четырехкратной повторности).

Закладку опыта проводили: в 2021 г. – 30 августа и 9 сентября, в 2022 г. – 29 августа и 9 сентября, в 2023 г. – 4 и 14 сентября. Посев осуществляли по чистому пару с нормой высева 5 млн всхожих зерен на 1 га. Учетная площадь делянки 15 м^2. Уборка урожая выполнена вручную методом пробной площадки: в 2022 г. – 10 августа, в 2023 г. – 2 августа, в 2024 г. – 3 августа.

Отбор почвенных образцов проводили каждый год исследований на глубине 0-20 см перед посевом и во время уборки озимой ржи. Агрохимический анализ почвы выполнен в соответствии с ГОСТами (нитратный азот – ионометрическим методом по ГОСТу 26951-86, подвижные формы фосфора и калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО по ГОСТу 26204-91).

Содержание элементов питания в основной и побочной продукции определено по стандартам: азот – по ГОСТу 10846-91 и ГОСТу 13496.4-2019, фосфор – по ГОСТу 26657-97, калий – по ГОСТу 30504-97.

Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного и корреляционного анализов [4] с применением программного обеспечения Statistica 12 [4].

Результаты и их обсуждение. Годы проведения полевых опытов (2021-2024 г.) различались по уровню увлажненности: 2021 и 2022 г. были засушливыми, 2023 г. – близким к оптимальному, а 2024 г. – чрезмерно влажным (табл. 1).

Наблюдалась сильная межгодовая и внутрисезонная изменчивость погодных условий. Характерны наличие как экстремально засушливых периодов (апрель-май 2021 г.), так и периодов интенсивных дождей (август 2023 г., июль 2024 г.).

1. Осадки вегетационных периодов

Месяц	Норма, мм	Декада	Осадки вегетационных периодов, мм			
			2021г.	2022г.	2023г.	2024г.
Апрель	22,0	I	4,5	13,7	0,0	8,4
		II	0,0	2,8	0,0	8,4
		III	0,0	2,9	3,8	1,6
Всего осадков за месяц			4,5	19,4	3,8	18,4
Май	38,0	I	0,0	0,0	4,4	19,0
		II	0,0	4,6	7,7	50,8
		III	0,8	18,9	3,2	8,7
Всего осадков за месяц			0,8	23,5	15,3	78,5
Июнь	51,0	I	2,0	4,8	0,6	20,8
		II	4,3	24,1	28,9	16,8
		III	7,0	23,9	20,7	47,4
Всего осадков за месяц			13,3	52,8	50,2	85,0
Июль	61,0	I	11,8	4,5	3,1	4,0
		II	60,3	29,6	10,9	3,0
		III	25,0	8,7	3,8	98,6
Всего осадков за месяц			97,1	42,8	17,8	105,6
Август	51,0	I	5,6	2,5	32,7	2,3
		II	0,0	15,0	10,6	27,4
		III	13,0	5,3	60,3	31,7
Всего осадков за месяц			18,6	22,8	103,6	61,4
Сумма (∑)	223,0	-	134,3	161,3	190,7	348,9

В три года (2021, 2022, 2023) из четырех наблюдался недостаток осадков в весенний период. Наибольший дефицит дождей отмечен в мае 2021 г. и апреле 2023 г.

В 2024 г. прослеживается переувлажнение, особенно в середине сезона (май-июль). Количество осадков существенно превысило среднемноголетние значения, составив от 167% (июнь) до 207% (май) от нормы.

В отдельные декады месяцев наблюдается выпадение большого количества осадков, приближенных к месячным нормам (2-я декада июля 2021 г., 3-я декада августа 2023 г., 2-я декада мая, 3-и декады июня и июля 2024 г.).

Температурный режим в течение всего периода исследований был изменчив и в отдельные месяцы существенно отличался от среднемноголетних показателей (табл. 2).

Наибольшие отклонения наблюдались в мае (расхождение с нормой составляло от -3,7°С до +5,8°С).

2. Средняя температура вегетационных периодов,

Месяц	Норма	Декада	Температура вегетационных периодов, °С			
			2021г.	2022г.	2023г.	2024г.
Апрель	5,1	I	2,7	3,8	4,3	3,7
		II	6,5	10,1	1,6	10,3
		III	10,0	9,1	12,7	11,2
Средняя температура за месяц/отклонение от нормы			6,4/+1,3	7,7/+2,6	6,2/+1,1	8,4/+3,3
Май	13,4	I	15,0	10,8	13,3	8,5
		II	20,3	14,1	11,8	10,7
		III	22,2	14,9	20,4	9,8
Средняя температура за месяц/отклонение от нормы			19,2/+5,8	13,3/-0,1	15,2/+1,8	9,7/-3,7
Июнь	18,2	I	15,3	16,2	23,9	17,7
		II	20,6	18,9	15,7	24,0
		III	20,4	16,8	14,8	19,0
Средняя температура за месяц/отклонение от нормы			18,8/+0,6	17,3/-0,9	18,1/-0,1	20,2/+2,0
Июль	19,7	I	22,7	17,9	25,6	21,4
		II	16,4	23,0	23,1	21,1
		III	19,8	20,6	22,2	17,3
Средняя температура за месяц/отклонение от нормы			19,6/-0,1	20,5/+0,8	23,6/+3,9	19,9/+0,2
Август	17,4	I	21,2	20,1	21,5	18,5
		II	19,8	16,3	18,5	16,5
		III	20,1	19,1	12,6	15,2
Средняя температура за месяц/отклонение от нормы			20,4/+3,0	18,5/+1,1	17,5/+0,1	16,7/-0,7

В августе наблюдалась тенденция к снижению месячной температуры от года к году. За четыре года показатель изменялся относительно нормы от +3,0°С (2021 г.) до -0,7°С (2024 г.). В апреле отмечалось превышение среднемноголетних значений температуры воздуха во все годы проведения исследований от 1,1 до 3,3°С.

Одним из основных показателей, позволяющих оценить степень влагообеспеченности вегетационного периода, служит гидротермический коэффициент, предложенный Г. Т. Селяниновым.

Анализ значений ГТК свидетельствует о контрастности гидротермических условий в годы проведения опыта. Наименьшее значение отмечено в 2021 г. (ГТК=0,57), а наибольшее – в 2024 г. (ГТК=1,40). В 2022 г. ГТК составил 0,79, в 2023 г. – 0,91. Такой диапазон варьирования коэффициента позволил оценить реакцию озимой ржи на различные уровни увлажнения – от засушливого (2021-2022 г.) до оптимального (2023 г.) и избыточного (2024 г.).

Сложившиеся погодные условия в период исследований оказали влияние на направление и интенсивность почвенных процессов, что отразилось на содержании доступных форм элементов питания в пахотном слое парового предшественника (рис. 1).

В 2021 г. посеву предшествовала сильная засуха: в весенний и начале летнего периодов выпало 2-26% от нормы на фоне превышения среднемесячной температуры на 0,6-5,8°С. В июле было больше осадков на 59%.

Характерная особенность выщелоченных черноземов лесостепной зоны – нестабильность азотного режима [2]. Избыточное увлажнение послужило причиной вымывания азота в более глубокие горизонты почвы. Такая же ситуация сложилась и в 2023 г., когда в августе выпало на 103% больше нормы. Таким образом, обеспеченность нитратным азотом в эти годы оценивалась как очень низкая и низкая.

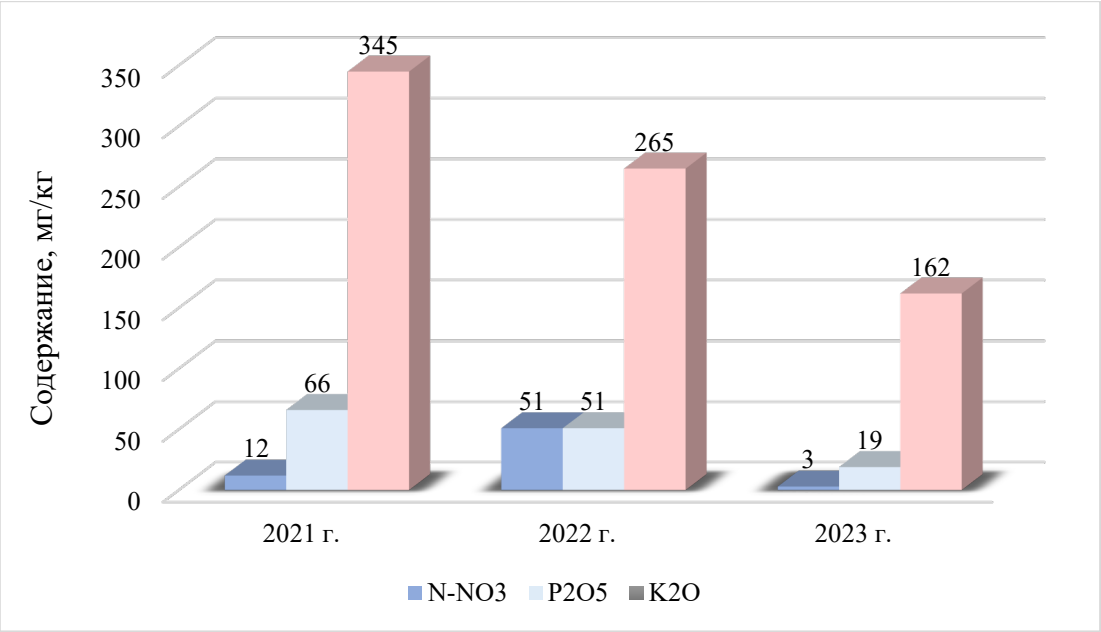


Рис. 1. Содержание элементов питания в выщелоченном черноземе перед посевом, мг/кг почвы

Известно, что существует зависимость интенсивности нитрификации от осадков в первой половине вегетации, когда температура почвы оптимальна для нитрифицирующей микрофлоры [2]. В мае 2022 г. осадков выпало меньше нормы на 38%, что было самым близким показателем к среднемноголетним значениям за годы исследований. Кроме того, количество осадков до посева было чуть меньше нормы. Таким образом, количество азота в паровом поле соответствовало высокой обеспеченности (51 мг/кг почвы).

Периодически сменяющиеся дождями засушливые погодные условия в 2023 г. способствовали закреплению фосфора и калия в почве. Содержание этих элементов было самым низким за три года.

Сформировавшийся в паровом поле уровень содержания нитратного азота, подвижного фосфора и калия создал начальные условия для минерального питания озимой ржи. Удобрения в данной системе выступили основным регулирующим инструментом, компенсирующим исходный дефицит почвы и оптимизирующим питание растений в зависимости от складывающихся погодных условий. Динамика полученных показателей продуктивности по годам и вариантам опыта представлена в таблице 3.

Установлено, что одним из важнейших факторов, определяющих урожайность озимой ржи, являются погодные условия. Различия между годами статистически достоверны ($НСР_{05}$ для фактора А=0,05 т/га). Урожайность в благоприятном 2024 г. (в среднем 5,00 т/га) в 2-3 раза превысила показатели засушливых 2022 и 2023 г. (в среднем 2,00 и 1,64 т/га соответственно).

Применение минеральных удобрений оказало положительное влияние на урожайность ($НСР_{05}$ для фактора С=0,06 т/га).

Оптимальной дозой для первого срока посева стала $N_{60}P_{60}K_{60}$, обеспечившая максимальный урожай (в среднем 3,20 т/га). Увеличение дозы до 90 кг д.в/га не приводило к дальнейшему росту урожайности (2,81 т/га).

На втором сроке посева наибольшая урожайность отмечалась при дозе нитроаммофоски 90 кг д.в/га (в среднем 3,23 т/га).

3. Урожайность озимой ржи (сорт Памяти Кунакбаева), т/га

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее
Первый срок посева				
1. Контроль (б/у)	1,60	1,41	4,31	2,44
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	1,76	1,38	4,58	2,57
3. $N_{60}P_{60}K_{60}$	2,18	1,69	5,74	3,20
4. $N_{90}P_{90}K_{90}$	2,11	1,57	4,76	2,81
***Среднее* по сроку посева**	1,91	1,51	4,85	х
Второй срок посева				
1. Контроль (б/у)	1,94	1,46	4,64	2,68
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	2,13	1,66	4,95	2,91
3. $N_{60}P_{60}K_{60}$	2,11	1,85	5,59	3,18
4. $N_{90}P_{90}K_{90}$	2,18	2,11	5,41	3,23
***Среднее* по сроку посева**	2,09	1,77	5,15	х
***Среднее* вне зависимости от срока посева**	2,00	1,64	5,00	х

***Примечание.* Фактор А – годы исследования, В – сроки посева, С – дозы минеральных удобрений.**
$НСР_{05}$: для частных различий 0,14 т/га, для фактора А=0,05 т/га, для фактора В=0,04 т/га, для фактора С=0,06 т/га, для взаимодействия АВ=0,07 т/га, для взаимодействия АС=0,10 т/га, для взаимодействия ВС=0,08 т/га

Выявленные различия в отзывчивости озимой ржи на дозы удобрения по срокам посева обусловлены формой азота в составе нитроаммофоски и биологическими особенностями формирования культуры. Нитратный азот обеспечивает быстрое стартовое питание в осенний период, что особенно важно при позднем сроке посева, когда вегетация ограничена по времени. Аммонийный азот, закрепляясь в ППК, постепенно высвобождается в весенний период, поддерживая развитие растений после возобновления вегетации. На первом сроке посева сочетание этих механизмов позволяет ограничиться дозой 60 кг д.в/га. На втором сроке, из-за более короткого осеннего периода вегетации, для достижения максимальной урожайности требуется повышенная доза (90 кг д.в/га), которая компенсирует дефицит времени для осеннего усвоения азота и создает достаточный запас на весну.

Второй срок посева в среднем обеспечил более высокую и стабильную урожайность, и это различие статистически достоверно ($НСР_{05}$ для фактора В=0,04 т/га).

Достоверное взаимодействие факторов ВС ($НСР_{05}$=0,08) указывает на то, что отзывчивость на

удобрения зависит от срока посева, а у факторов АС ($НСР_{05}$=0,10) означает, что эффективность одной и той же дозы удобрений различалась по годам в зависимости от погоды.

В засушливые годы (2022, 2023) прибавка от удобрений была в пределах 0,16-0,65 т/га. Растения не могли реализовать внесенный питательный потенциал из-за дефицита влаги в апреле и мае, когда суммарно за эти месяцы количество осадков было меньше нормы на 28-68%. В благоприятный по влагообеспеченности 2024 г. действие удобрений проявилось максимально, обеспечив прибавку до 1,43 т/га.

Корреляционный анализ (табл. 4) выявил тесную достоверную связь урожайности озимой ржи с гидротермическим коэффициентом (r=0,94; $t_ф > t_{0,05}$).

Это указывает на то, что уровень влагообеспеченности в условиях Зауралья является лимитирующим фактором продуктивности, и действие минеральных удобрений реализуется в полной мере только при оптимальном количестве осадков.

Влияние доз минеральных удобрений на урожайность существенно различалось по годам. В 2022 и 2023 г. корреляция была сильной (r=0,73 и 0,71 соответственно), что свидетельствует об эффективности удобрений даже в условиях недостаточного и неравномерного увлажнения. В 2024 г., характеризовавшемся избыточным увлажнением (ГТК=1,40), связь с дозой удобрений оказалась средней (r=0,63). Это объясняется тем, что при высоком уровне влагообеспеченности лимитирующий фактор (влага) перестает ограничивать рост, и влияние удобрений нивелируется действием других факторов (биологическими особенностями сорта, миграцией элементов питания по почвенному профилю и т.д.).

4. Коэффициенты корреляции урожайности озимой ржи с ГТК и дозами минеральных удобрений

Показатель	n	Коэффициент корреляции ®	$t_{факт}$	$t_{0,05}$
ГТК вегетационного периода	24	0,94*	12,59	2,07
Доза минерального удобрения – урожайность в 2022 г.	8	0,73*	2,64	2,45
Доза минерального удобрения – урожайность в 2023 г.	8	0,71*	2,47	2,45
Доза минерального удобрения – урожайность в 2024 г.	8	0,63	1,96	2,45

*Достоверно на уровне значимости p = 95%.

Различия в урожайности озимой ржи по годам и вариантам опыта, сложившиеся под влиянием погодных условий и системы удобрения, сказались на уровне потребления растениями элементов питания (табл. 5).

Данные хозяйственного выноса элементов питания позволяют количественно оценить масштаб потребления азота, фосфора и калия растениями озимой ржи в зависимости от уровня минерального питания и погодных условий. Это дает возможность проанализировать эффективность использования элементов из почвы и удобрений.

5. Хозяйственный вынос элементов питания с урожаем озимой ржи, кг/га

Вариант	Азот			Сред-нее	Фосфор			Сред-нее	Калий			Среднее
	2022 г.	2023 г.	2024 г.		2022 г.	2023 г.	2024 г.		2022 г.	2023 г.	2024 г.	
Первый срок посева												
1. Контроль (б/у)	91,7	72,1	160,7	108,2	5,6	4,4	11,5	7,2	75,8	57,5	60,4	64,6
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	108,3	81,3	188,2	125,9	4,0	5,8	13,0	7,6	72,1	52,6	104,5	76,4
3. $N_{60}P_{60}K_{60}$	142,1	80,6	223,1	148,6	4,4	6,3	16,2	9,0	111,4	61,5	107,1	93,3
4. $N_{90}P_{90}K_{90}$	127,3	89,5	228,3	148,4	6,1	7,1	14,5	9,2	82,2	81,6	208,4	124,1
***Среднее* по сроку посева**	117,3	80,9	200,1	x	5,0	5,9	13,8	x	85,4	63,3	120,1	x
Второй срок посева												
1. Контроль (б/у)	109,9	58,4	194,5	120,9	8,1	4,5	13,8	8,8	73,5	49,4	142,1	88,3
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	129,5	70,6	236,8	145,6	8,2	6,2	17,1	10,5	83,8	53,7	209,6	115,7
3. $N_{60}P_{60}K_{60}$	125,6	81,2	274,6	160,5	9,0	5,9	18,8	11,2	95,2	58,9	158,7	104,3
4. $N_{90}P_{90}K_{90}$	159,8	76,2	246,1	160,7	8,7	6,2	16,1	10,3	119,1	60,8	176,3	118,7
***Среднее* по сроку посева**	131,2	71,6	238,0	x	8,5	5,7	16,4	x	92,9	55,7	171,7	x

Вынос всех трех элементов максимален в благоприятный 2024 г., что согласуется с высокой урожайностью этого периода. В засушливые 2022 и 2023 г. данный показатель был значительно ниже. Погодный фактор влияет не только на урожайность, но и на общий масштаб биологического круговорота веществ в агроценозе. Растения в условиях дефицита влаги не могут эффективно усваивать и трансформировать даже доступные в почве элементы в биомассу [10].

Вынос азота, имеющий наиболее четкую положительную зависимость от доз вносимых удобрений, варьировал.

При втором сроке посева средний вынос азота систематически превышал вынос при первом сроке, что объясняется более высокой урожайностью поздних посевов.

Высокий вынос азота в опыте 2024 г. (был в варианте 60 кг д.в/га) свидетельствует о реализации высокого генетического потенциала культуры при совпадении оптимального питания и влагообеспеченности.

Вынос фосфора варьировал в значительно более узком диапазоне (4-19 кг/га) и слабее реагировал на увеличение доз удобрений. Его величина в большей степени определялась биологической потребностью сорта и уровнем урожайности.

Для калия характерно высокое потребление с сильной межгодовой динамикой. Его вынос находился в пределах 40-209 кг/га. Основная часть калия (70-80%) отчуждается с соломой.

Наибольший вынос данного элемента зафиксирован в 2024 г., что связано с формированием мощной вегетативной массы в благоприятных условиях.

Зависимость потребления калия от доз удобрений прослеживается, но она менее выражена, чем у азота, так как почва обладает собственным повышенным резервом этого элемента.

Величина хозяйственного выноса элементов питания с урожаем напрямую определяет изменение их содержания в почвенном профиле к концу вегетационного

периода (табл. 6). Параллельный анализ этих двух показателей позволяет оценить, в какой степени внесенные с удобрениями и мобилизованные из почвенных запасов элементы были ассимилированы растениями, а какая их часть осталась в доступной форме в пахотном горизонте после уборки культуры, формируя потенциал для последующего использования.

6. Содержание элементов питания к уборке озимой ржи в черноземе выщелоченном, мг/кг почвы

Вариант	$N\text{-}NO_3$			Средне-е	P_2O_5			Средне-е	K_2O			Среднее
	2022 г.	2023 г.	2024 г.		2022 г.	2023 г.	2024 г.		2022 г.	2023 г.	2024 г.	
Первый срок посева												
1. Контроль (б/у)	4,1	11,9	3,9	6,6	61,6	44,3	23,3	43,1	289,0	305,0	102,0	232,0
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	4,2	11,8	2,5	6,2	82,8	56,0	34,0	57,6	313,0	245,0	66,0	208,0
3. $N_{60}P_{60}K_{60}$	6,0	14,5	3,1	7,9	85,0	75,0	44,3	68,1	313,0	297,0	99,0	236,3
4. $N_{90}P_{90}K_{90}$	5,5	12,9	2,5	7,0	95,8	71,4	49,1	72,1	337,0	305,0	80,0	240,7
***Среднее* по сроку посева**	4,9	12,8	3,0	х	81,3	61,7	37,7	х	313,0	288,0	86,7	х
Второй срок посева												
1. Контроль (б/у)	6,8	11,8	3,2	7,3	60,9	49,1	34,0	48,0	249,0	313,0	86,0	216,0
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	12,9	15,5	3,0	10,5	64,4	75,0	22,6	54,0	313,0	393,0	80,0	262,0
3. $N_{60}P_{60}K_{60}$	7,4	15,1	3,2	8,6	79,2	58,1	33,4	56,9	353,0	409,0	77,0	279,7
4. $N_{90}P_{90}K_{90}$	12,3	18,2	3,6	11,4	105,2	74,3	45,0	74,8	369,0	437,0	100,0	302,0
***Среднее* по сроку посева**	9,8	15,1	3,2	х	77,4	64,1	33,7	х	321,0	388,0	85,7	х

Содержание нитратного азота, подвижного фосфора и калия демонстрирует значительные межгодовые колебания. Это указывает на то, что погодные условия вегетационного периода (количество осадков, температура) являются ключевым фактором, определяющим итоговый питательный режим почвы к моменту уборки.

Содержание нитратного азота, как правило, было низкое (2,5-18,2 мг/кг), что говорит о практически полном потреблении его доступной формы растениями в течение вегетации или его потере (вымывание, денитрификация). Систематического роста содержания от дозы удобрения не наблюдается, что подтверждает высокую степень использования или потерь азота.

Отмечается тенденция к росту содержания подвижного фосфора с увеличением дозы удобрений, особенно в вариантах $N_{90}P_{90}K_{90}$. Это свидетельствует о накоплении остаточного фосфора в почве, так как культура не успевает полностью усвоить внесенные повышенные дозы за один сезон. Однако межгодовая изменчивость также велика.

В 2022 г. содержание калия было высокое, а в 2024 г. оно снизилось. Четкой зависимости от дозы удобрения нет, что может быть связано с процессами фиксации или высвобождения калия из почвенного поглощающего комплекса, которые сильнее зависят от погодных условий (циклы увлажнения-высыхания).

В среднем по вариантам опыта содержание нитратного азота в почве к уборке при втором (более позднем) сроке посева выше (7,3-11,4 мг/кг), чем при первом (6,2-7,9 мг/кг). Это можно объяснить более коротким периодом вегетации у поздних посевов и меньшим выносом азота урожаем.

Для фосфора и калия четкой единой тенденции по срокам посева не выявлено. Различия носят случайный характер и обусловлены в первую очередь погодными условиями конкретного периода.

Выводы. 1. Содержание элементов питания в паровом предшественнике зависело от погодных условий и распределения осадков в течение вегетационных периодов: под действием избыточных дождей перед посевом в 2021 и 2023 г. произошло вымывание нитратного азота в более глубокие горизонты почвы. Обеспеченность элементом питания была на уровне 3-12 мг/кг почвы. Смена засух и увлажнения в эти годы привели к фиксации подвижного фосфора и калия. Высокая обеспеченность нитратным азотом (51 мг/кг почвы) наблюдалась в 2022 г., когда количество осадков в начале вегетации и перед посевом приближалось к среднемноголетним значениям.

2. Наибольшая урожайность озимой ржи зафиксирована при втором сроке посева. Оптимальная доза нитроаммофоски при этом составила 90 кг д.в/га (средняя урожайность 3,23 т/га), тогда как для первого срока эффективность достигалась при дозе 60 кг д.в/га (средняя урожайность 3,20 т/га). Отмечена тесная связь урожайности озимой ржи с гидротермическими условиями вегетационных периодов (r=0,94).

3. В среднем за три года исследований хозяйственный вынос азота на первом сроке посева находился в пределах 108,2-148,6 кг/га, на втором – 120,9-160,7, фосфора – 7,2-9,2 и 8,8-11,2, калия – 64,6-124,1 и 88,3-118,7 кг/га соответственно. Наибольший вынос питательных веществ отмечался в третий год исследования. Наблюдался рост выноса азота с увеличением дозы удобрения, особенно явный при втором сроке посева.

4. Отмечено влияние нитроаммофоски на количество подвижного фосфора в почве: возрастание дозы приводило к увеличению его содержания (до 72,1 мг/кг на первом сроке посева, до 74,8 мг/кг на втором сроке). Закономерного роста нитратного азота и калия в почве при внесении удобрения на посевах озимой ржи не выявлено.

Литература

1. *Абрамов Н. В., Еремин Д. И.* Азот текущей нитрификации и хозяйственный вынос как факторы программирования урожайности яровой пшеницы в условиях Северного Зауралья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – №2. – С. 25-29.
2. *Абрамов Н. В., Плотников А. М., Созинов А. В.* Эффективность удобрений и мелиорантов в зависимости от погодных условий при возделывании зерновых культур в Курганской области // Плодородие. – 2023. – №5. – С. 16-20.
3. *Волынкина О. В., Копылов А. Н.* Миграция нитратного азота по профилю почвы // Агрохимия. – 2024. – №4. – С. 3-7.
4. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М: Колос, 1985. – 351 с.
5. *Дятлова М. В., Шайкова Т. В., Волкова Е. С.* Влияние комплексных удобрений на продуктивность озимых зерновых культур // Плодородие. – 2024. – №5. – С. 50-55.
6. *Овчаренко М. М.* Фосфор и его содержание в системе «почва-растение-удобрение» // Агрохимический вестник. – 2023. – №3. – С. 3-5.

7. *Петербургский А. В.* Агрохимия и физиология питания растений. – 2-е изд., перераб. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 184 с.
8. *Плотников А. М.* Зависимость урожайности зерновых культур от содержания в почве доступных форм фосфора и калия // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – №1. – С. 17-20.
9. *Пронько В. В., Ярошенко Т. М., Климова Н. Ф., Журавлев Д. Ю.* Влияние минеральных удобрений и погодных условий на вынос элементов питания зерновыми культурами в степи Поволжья // Плодородие. – 2020. – №2. – С. 19-20.
10. *Ряскова, О. М., Зайцева Г. А.* Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от почвенно-климатических условий и уровня плодородия различных типов почв // Наука и образование. – 2022. – Т. 5. – № 2.
11. *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. – Т. 4. – №4. – С. 61-66.

UDC: 633.14:631.81

DYNAMICS OF THE NUTRIENT REGIME OF LEACHED CHERNOZEM IN ZAURALYE IN THE FERTILIZER SYSTEM OF WINTER RYE

M. S. Shmeleva
T.S. Maltsev Kurgan State Agricultural Academy –
Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Kurgan State University»
641300, Lesnikovo village, Ketovsky Municipal District,
Kurgan Region, KSAA, Russia
tel.: +79088384908, e-mail: marina.litvinova19960411@mail.ru

In the experiment (2021–2024) with winter rye, the dynamics of nitrate nitrogen, available phosphorus, and exchangeable potassium in leached chernozem were studied. Weather conditions determined the content of nutrients in the soil: in 2021 and 2023, excessive moisture led to the leaching of nitrate nitrogen into deeper soil layers, while the alternation of dry conditions with heavy rainfall resulted in the fixation of phosphorus and potassium in the soil. The highest yield indicators were achieved with a dose of nitroammophoska of 90 kg/ha of NPK at the second sowing date (the first ten days of September). At the first sowing date (the third ten days of August), the dose of 60 kg/ha of NPK proved to be more effective.
Keywords: leached Chernozem, nutrient regime, weather conditions, winter rye, mineral fertilizers, nutrient removal with harvest, nitrate nitrogen, available phosphorus and potassium.