

УДК 631.416.1/.2/.4:631.445.41: 633.853

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В АГРОЧЕРНОЗЕМЕ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ РЫЖИКА ПОСЕВНОГО

© 2023 г. Н. Л. Кураченко^{1,*}, О. А. Ульянова¹, О. А. Власенко¹,
В. В. Казанов¹, Е. Ю. Казанова¹

¹Красноярский государственный аграрный университет
660049 Красноярск, просп. Мира, 90, Россия

*E-mail: kurachenko@mail.ru

Поступила в редакцию 08.03.2023 г.

После доработки 04.04.2023 г.

Принята к публикации 14.06.2023 г.

В полевом опыте изучен пищевой режим агрочернозема при возделывании рыжика посевного (*Camelina sativa* (L.) Grantz) в условиях Канской лесостепи Красноярского края. Преимущественное поглощение и вынос культурой нитратного азота и обменного калия определило низкую обеспеченность минеральным азотом 0–40 см слоя почвы (5–6 мг/кг) при сохранении средней и очень высокой обеспеченности обменным калием (87–158 мг/кг). Показано, что наибольшая доля возврата в почву после уборки рыжика приходилась на N и P (50–37%). С корневыми и пожнивными остатками в почву возвращалось: азота – 70, фосфора – 19 и калия – 51 кг/га. Агрочерноземы Канской лесостепи без дополнительного внесения удобрений способны обеспечивать достаточный уровень фосфорного и калийного питания в посевах рыжика.

Ключевые слова: агрочернозем, рыжик посевной, аммонийный азот, нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий.

DOI: 10.31857/S0002188123090077, EDN: YVBXFY

ВВЕДЕНИЕ

Значительная часть пахотных земель в Российской Федерации расположена в климатических зонах с неблагоприятными для культурных растений условиями. Для сибирского региона расширение ассортимента новых видов масличных растений, нетребовательных к почвенно-климатическим условиям, важно с точки зрения повышения биоразнообразия и стабильности производства растительных масел для различного хозяйственного использования. Капустные культуры (семейство Brassicaceae) сегодня занимают одну из ведущих позиций в производстве масличных культур [1]. Рыжик посевной (*Camelina sativa* (L.) Grantz) является единственным видом, дающим полувысыхающее масло с содержанием жира 29–47%. Это одна из перспективных масличных культур для лесостепной зоны Красноярского края с резкоконтинентальным климатом. Это растение длинного дня, способное хорошо переносить низкие температуры в начале вегетации, отличающееся скороспелостью, достаточно высокой засухоустойчивостью [2–4]. Возделывание рыжика посевного представляет интерес в связи с его продовольственным, кормовым, техническим, агротехническим и экологическим значением [5].

Капустные масличные культуры предъявляют не одинаковые требования к почвенному плодородию, и при этом они по-разному влияют на пищевой режим почв. Это необходимо учитывать при разработке технологии их возделывания, рациональном размещении их в севообороте с учетом плодородия почв. Цель работы – изучение пищевого режима агрочернозема при возделывании рыжика посевного в условиях Канской лесостепи.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в 2019–2020 гг. в полевом опыте на территории ООО “ОПХ Соляное” Канско-Рыбинского геоморфологического округа Красноярского края. Среднегодовое количество осадков на этой территории составляет 359–452 мм при отрицательной среднегодовой температуре, изменяющейся от –0.3 до –3.0°C. Продолжительность периода биологической активности варьирует в пределах 84–115 сут. Сумма температур >10°C равна 1560–1800°C.

Объектами исследования явились агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный тяжело-суглинистый и рыжик посевной (*Camelina sativa* (L.) Crantz) сорта Ужурский, возделываемый в

2019 г. после занятого пара (горохоовсяной смеси) и в 2020 г. — после чистого пара. Детальное обследование опытного участка с целью выявления неоднородности агроэкологического состояния почвенного покрова показало, что почвы характеризовались в слое 0–20 см высоким содержанием гумуса (6–9%), высокой суммой обменных оснований (62–51 ммоль/100 г), нейтральной реакцией почвенного раствора (pH_{H_2O} 6.5–6.9).

В технологии возделывания рыжика посевного применяли следующие препараты: Табу, ВСК (6 л/т) + Миура (0.8 л/га) + Гуминатрин масличный (2.2 л/га) + Брейк, МЭ (0.06 л/га). В период вегетации культуры использовали магниевую селитру (3 кг/га) для подкормки растений.

Общая площадь опытных делянок 1500 м², учетная — 500 м². Агрохимические показатели определяли в смешанных почвенных образцах, состоящих из 10-ти индивидуальных проб, отобранных на глубине 0–20 и 20–40 см в период с мая по сентябрь. В почвенных образцах определяли: содержание нитратного азота (ГОСТ 26488-85), обменного аммония (ГОСТ 26489-85), подвижного фосфора (ГОСТ 26204-91), обменного калия (ГОСТ 26204-91). В надземной фитомассе и корнях в фазах листовой розетки, цветения и зеленой спелости рыжика определяли содержание азота (ГОСТ 32044.1-2012), фосфора (ГОСТ ISO 6491-2016) и калия (ГОСТ 30504-97). Надземное и подземное растительное вещество учитывали в четырехкратной повторности. Надземное растительное вещество определяли методом укосов, площадь укоса — 0.25 м². Подземное растительное вещество учитывали одновременно с надземным в те же сроки и на тех же пробных площадях методом монолитов на глубине 0–20 и 20–40 см. Площадь монолита — 0.02 м². Монолиты отмывали от почвы в проточной воде на сите с диаметром ячеек 0.25 мм. Отмытое подземное растительное вещество разбирали на фракции: корни, крупную мортмассу >0.5 мм, мелкую мортмассу <0.5 мм. Все фракции растительного вещества доводили до воздушно-сухого состояния, взвешивали и определяли запасы.

Для выявления достоверных различий средних использовали двухфакторный дисперсионный анализ [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание азота в почве, его запасы, формы и подвижность в существенной степени определяют плодородие почвы [7]. На долю минерального азота в агропочвах земледельческой части

Красноярского края приходится всего 1–2%. Поэтому количество азота в пахотных почвах по обеспеченности питания растений часто бывает в минимуме и лимитирует урожайность сельскохозяйственных культур. Динамика и содержание доступных и подвижных форм элементов питания в почве в период вегетации культурных растений позволяет судить об их обеспеченности во время фаз развития.

Непосредственным источником питания растений является минеральный азот. При этом нитратная и аммонийная форма азота в физиологическом отношении являются равноценными источниками питания растений.

При схожей динамике содержания минерального азота в пахотном и подпахотном слоях лучшие условия для его накопления складывались при возделывании рыжика посевного после чистого пара. В условиях повышенной влагообеспеченности вегетационного сезона 2020 г. отмечено более интенсивное накопление нитратного азота в почве. В посевах рыжика посевного, возделываемого после занятого пара, установлено преобладание аммонийной формы над нитратной в течение вегетации культуры (рис. 1).

На фоне низкой обеспеченности нитратным азотом слоя 0–40 см агрочернозема (4–6 мг/кг) отмечена, как правило, средняя обеспеченность почвы аммонийной формой азота. В период цветения рыжика усиление процессов аммонификации, обусловленное оптимальными погодными условиями, определяло повышенное содержание этой формы азота (14 мг/кг). Усиление аммонификационных процессов в период созревания семян рыжика способствовало формированию средней и повышенной обеспеченности слоя 0–20 см агрочернозема аммонийным азотом (8–15 мг/кг).

Хорошая обеспеченность аммонийным азотом почвы под посевом рыжика определялась влиянием предшественника. Это было обусловлено активным гидролизом и минерализацией органических веществ остатков горохоовсяной смеси парового поля. По данным [8], фактор “предшественник” в большей степени оказывает влияние на мобилизацию минерального азота по сравнению с ГТК.

Известно, что процессы образования аммонийной и нитратной формы азота взаимосвязаны. Пассивная аммонификация тормозит нитратонакопление, а усиление аммонификации приводит к энергичному проявлению нитрификационного процесса. Низкая обеспеченность нитратным азотом слоя 0–40 см агрочернозема под посевами рыжика обусловлена преимущественным потреблением этой формы азота вегетативной массой культуры. Оценка среднестатистического содержания минерального азота и характера его дина-

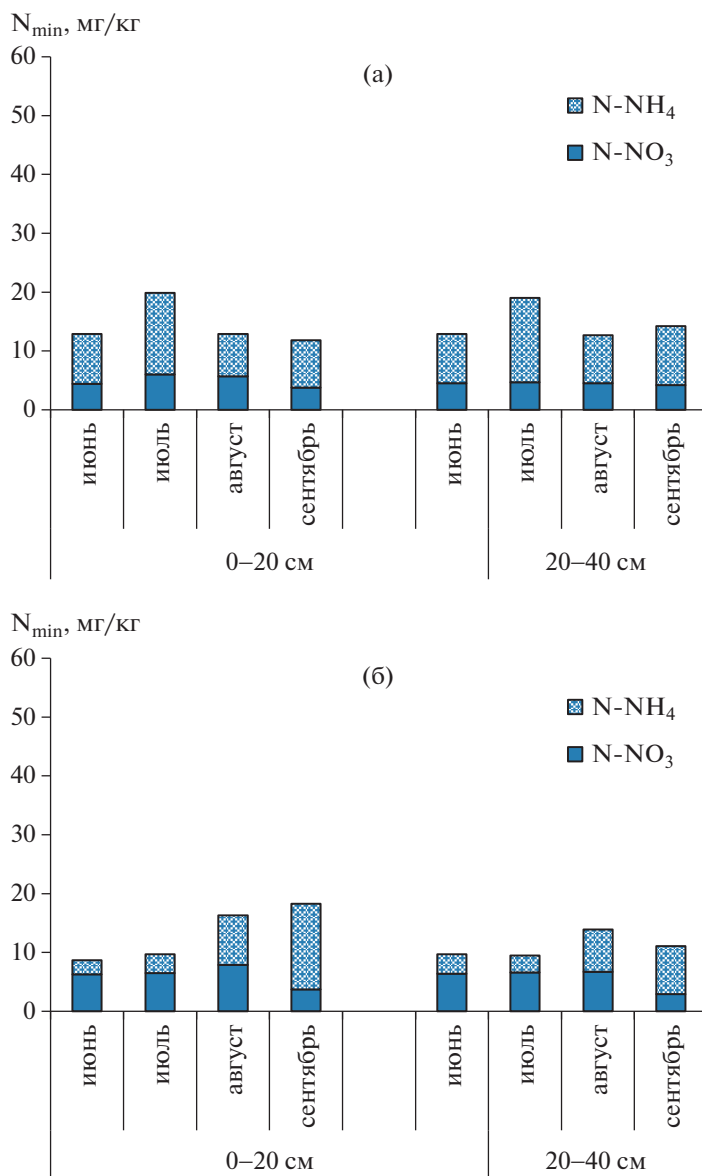


Рис. 1. Динамика содержания минерального азота в агрочерноземе под посевами ржи посевного: (а) – 2019 г. (после занятого пара), (б) – 2020 г. (после чистого пара), мг/кг.

мики показала преимущественное потребление нитратного азота рожком посевным (табл. 1). Установлена средняя обеспеченность слоя 0–40 см агрочернозема под посевами ржи посевного, возделываемого после занятого пара (9–10 мг/кг) при средней сезонной динамике показателя ($C_v = 27–32\%$). В почве под посевами ржи после чистого пара в течение вегетационного сезона в среднем формировалась низкая обеспеченность аммонийным и нитратным азотом, не превышающая 7 мг/кг.

Выявлены достоверные изменения содержания минеральных форм азота по годам исследования, а также в пахотном и подпахотном слоях

($p < 0.05$). Исключение составляло содержание нитратного азота, достоверно не отличавшееся по годам исследования.

Динамика содержания подвижного фосфора, необходимого для формирования мощной корневой системы масличных культур, повышения их устойчивости к морозу, засухе, увеличения семенной продуктивности и ускорения созревания семян, проявлялась как в течение всего периода вегетации ржи, так и по годам исследования.

В начале вегетации ржи посевного отмечена повышенная обеспеченность P_2O_5 в слое 0–40 см почвы по годам исследования (232–245 мг/кг), что особенно важно в ранних фазах развития рас-

Таблица 1. Среднестатистические параметры содержания минерального азота в агрочерноземе под посевами рыжика посевного, мг/кг

Слой, см (фактор А)	Год (фактор Б)				Среднее фактора А
	2019 г.		2020 г.		
	S_x	$C_v, \%$	S_x	$C_v, \%$	
N-NH ₄					
0–20	9.4	32	7.2	78	8.3
20–40	10.2	27	5.4	50	7.8
Среднее фактора Б	9.8		6.3		
$p_A = 0.026^*, p_B = 0.0001^*, p_{AB} = 0.001^*$					
N-NO ₃					
0–20	4.9	20	6.1	29	5.5
20–40	4.5	4	5.7	32	5.1
Среднее фактора Б	4.7		5.9		
$p_A = 0.0006^*, p_B = 0.11, p_{AB} = 0.012^*$					

тений [9]. Значительное уменьшение количества подвижных фосфатов до низкого уровня происходило в период цветения рыжика (146–149 мг/кг). Пополнение почвенного раствора подвижными фосфатами, отмеченное в августе и сентябре, в большей степени проявлялось в вегетационный сезон 2019 г. При размещении культуры после чистого пара была отмечена повышенная обеспеченность P₂O₅ в течение вегетации культуры.

Различный характер динамики накопления подвижного фосфора в агрочерноземе был обусловлен влажностью почвы. Хорошо известно, что основное перемещение фосфора к корням растений осуществляется при диффузии ионов. В сухой же почве, когда расстояние перемещения иона превышает 5–10 мм, поглощение фосфора замедляется. По мнению [10], у рыжика имеется важная особенность – способность усваивать из почвы труднодоступные фосфаты. При этом вынос элементов питания урожаем небольшой. По данным авторов, больше всего растения рыжика посевного с урожаем выносят азот – 68.2 кг/т основной и сопутствующей продукции. Меньше всего растения выносят фосфор (12.2 кг/га).

В посевах масличных культур калий улучшает усвоение азота и фосфора, снижает повреждаемость вредителями и поражаемость болезнями растений. Установлено, что максимальное количество обменного калия содержалось в слое 0–20 см агрочерноземов, ниже, в подпахотном горизонте его количество постепенно уменьшалось.

В вегетационный сезон 2019 г. средняя обеспеченность почвы K₂O отмечена до цветения расте-

ний рыжика (65–78 мг/кг), далее выявлена повышенная и высокая обеспеченность (96–118 мг/кг). Очень высокая обеспеченность агрочернозема обменным калием в агроценозе рыжика стабильно (Cv = 4–12%) сохранялась при его возделывании после чистого пара. По мнению В.Н. Якименко [11], потребность сельскохозяйственных культур в калии меняется в онтогенезе. Наиболее высокая требовательность к уровню калийного питания отмечена на ранних этапах развития и в период максимального нарастания биомассы. Кроме того, культуры с хорошо развитой корневой системой положительно отзываются только на внесение азотных и фосфорных удобрений даже на почвах с относительно истощенными калийными запасами. Это подтверждает их способность усваивать труднодоступные формы калия.

Анализ среднестатистического содержания подвижного фосфора и обменного калия в агрочерноземе при возделывании рыжика посевного показал достоверное накопление элементов питания в слое 0–20 см и существенные отличия по годам исследования (табл. 2). Повышенная обеспеченность почвы подвижным фосфором под посевами рыжика свидетельствовала о способности этой культуры сохранять запасы подвижного фосфора. Несмотря на интенсивное поглощение обменного калия и его преимущественный вынос из почвы урожаем культуры, сохранялась средняя обеспеченность этим элементом питания в вегетационный сезон 2019 г. (85–88 мг/кг). В условиях 2020 г. среднестатистическое содержание обменного калия в почве под посевами рыжика оценивалось как очень высокое (151–165 мг/кг).

Особенности калийного режима почвы под посевами рыжика посевного дали основание утверждать о существовании зависимости его изменений за счет главным образом почвенных процессов – мобилизации (высвобождения) и фиксации. По данным [12], при внесении высоких доз калийных удобрений содержание обменного калия в большинстве случаев сохраняется примерно на одном уровне. Это обусловлено динамическим равновесием всех форм почвенного калия. Известно, что фиксация калия почвой происходит при разной степени увлажнения, но более всего она выражена при влажности ≈30% и при переменном чередовании увлажнения и высушивания. Эти факторы влияют на систему всех форм почвенного калия.

Изучение особенностей поступления элементов питания и требования рыжика к азотному, фосфорному и калийному питанию в различные периоды онтогенеза растений показало, что в су-

хой надземной фитомассе больше всего накапливалось азота и калия (табл. 3).

Максимальное поглощение калия отмечено в период от фазы всходов до формирования листовой розетки (3.5%). Накопление азота в сухом веществе фитомассы рыжика наблюдали до фазы цветения (2.6–1.9%). Содержание азота, фосфора и калия в корнях рыжика оценили меньшей величиной, чем в надземной фитомассе. Для азота и калия характерно изменение химического состава корней в зависимости от фазы развития культуры. Максимальное количество азота накапливалось в период формирования листовой розетки (1.0%), калия в фазе цветения–плодоношения – 0.7%. Независимо от фазы развития культуры содержание фосфора изменялось в корнях от 0.2 до 0.3%.

Поступление азота, фосфора и калия с растительными остатками рыжика посевного было равно 140 кг/га (табл. 4), что было в 2 раза меньше по сравнению с рапсом [13]. С корневыми и пожнивными остатками рыжика в почву возвращалось до 70 кг N/га и 51 кг K₂O/га. Количество фосфора в среднем за период наблюдений не превышало 19 кг/га. Установлено, что с 1 т соломы в почву возвращалось у зернобобовых культур: азота – 6.9–8.2, фосфора – 4.4–4.6, калия – 16.6–18.0 кг/га; у озимых культур: азота – 4.1–4.9, фосфора – 2.6–3.1, калия – 15.3–17.7 кг/га [14]. Это позволило заключить, что с пожнивными остатками рыжика посевного в почву возвращалось значительно больше азота по сравнению с соломой зерновых и зернобобовых культур.

Полученные данные позволяют заключить, что агрочерноземы в климатических условиях Канской лесостепи без дополнительного внесения удобрений способны обеспечивать достаточный уровень фосфорного и калийного питания в посевах рыжика. Интенсивное потребление нитратного азота культурой должно быть компенсировано минеральными удобрениями и подкормками во время ее вегетации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание и динамика элементов питания в агрочерноземе Канской лесостепи при возделывании рыжика посевного определялись предшественником и погодными условиями вегетационных сезонов. Результаты проведенного исследования свидетельствовали о преимущественном потреблении культурой нитратного азота, что подтверждалось низкой обеспеченностью этой формой азота слоя 0–40 см агрочернозема (5–6 мг/кг). Минерализация органических остатков горохово-овсяной смеси занятого пара определила сред-

Таблица 2. Среднестатистическое содержание подвижного фосфора и обменного калия в агрочерноземе под посевами рыжика посевного, мг/кг

Слой, см (фактор А)	Фактор Б				Среднее фактора А
	2019 г.		2020 г.		
	Sx	$Cv, \%$	Sx	$Cv, \%$	
P ₂ O ₅					
0–20	214	24	235	10	224
20–40	236	30	237	8	237
Среднее фактора Б	225		236		
$p_A = 0.0024^*, p_B = 0.0044^*, p_{AB} = 0.0076^*$					
K ₂ O					
0–20	88.4	15	165	4	127
20–40	84.9	27	151	12	118
Среднее фактора Б	86.7		158		
$p_A = 0.0033^*, p_B = 0.0001^*, p_{AB} = 0.038^*$					

Таблица 3. Химический состав фитомассы и корней рыжика посевного (2019–2020 гг.), % от сухого вещества

Фаза развития	Химический элемент		
	N	P	K
Надземная фитомасса			
Листовая розетка	2.55	0.50	3.47
Цветение	1.93	0.53	1.00
Зеленая спелость	1.76	0.60	0.69
Среднее	2.08	0.54	1.72
Корни			
Листовая розетка	1.00	0.20	0.21
Цветение	0.56	0.24	0.65
Зеленая спелость	0.89	0.28	0.24
Среднее	0.82	0.24	0.37

Таблица 4. Поступление в почву элементов питания с пожнивными и корневыми остатками рыжика посевного (2019–2020 гг.), кг/га

Химический элемент	Пожнивные остатки	Корни	Всего
N	52.4	17.3	69.7
P	13.6	5.1	18.7
K	43.3	7.9	51.2
Суммарное поступление	109.3	30.3	139.6

нюю обеспеченность почвы аммонийным азотом (10 мг/кг). Незначительный вынос фосфора растениями рыжика обусловил повышенную обеспеченность агрочернозема подвижным фосфором (203–236 мг/кг) независимо от предшественника. Средняя (87 мг/кг) и очень высокая (158 мг/кг) обеспеченность почвы обменным калием на 97% определялась влиянием погодных условий и типом предшествующего парового поля. Данные химического состава растений рыжика свидетельствовали о преимущественном накоплении азота и калия в надземной фитомассе. Поступление азота, фосфора и калия с растительными остатками рыжика посевного оценили величиной 140 кг/га. С корневыми и пожнивными остатками рыжика в почву возвращалось: азота – 70 и калия – 51 кг/га. Количество фосфора в среднем за период наблюдений не превышало 19 кг/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прахова Т.Я., Смирнов А.А. Рыжик (*Camelina sativa* (L.) Crantz) и крамбе (*Crambe byssinica* Hochst.) – перспективные масличные культуры // Зерн. хозяйство России. 2013. № 4. С. 20–22.
2. Евтишина Е.В., Виноградов Д.В., Лупова Е.И., Гогмачадзе Г.Д. Влияние сроков посева и норм высева на урожайность семян рыжика ярового в условиях Рязанской области // АгроЭкоИнфо. 2018. № 3.
3. Кураченко Н.Л., Ульянова О.А., Власенко О.А., Казанов В.В., Казанова Е.В. Оценка соответствия почвенно-агрохимических условий Канской лесостепи биологическим потребностям растений рапса и рыжика // Достиж. науки и техн. АПК. 2019. Т. 33. № 11. С. 5–9.
4. Виноградов Д.В., Мажайский Ю.А., Евтишина Е.В., Лупова Е.И. Приемы повышения продуктивности рыжика посевного (*Camelina sativa* (L.) Crantz) в условиях Нечерноземной зоны России // Рос. сел.-хоз. наука. 2019. № 4. С. 18–21.
5. Бопп В.Л., Пыжикова Н.И., Кураченко Н.Л., Валова Т.И. Обоснование способов и сроков уборки масличных культур (рапс, рыжик, горчица) в условиях Канской лесостепи // Вестн. КрасГАУ. 2019. № 6(147). С. 52–58.
6. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 319 с.
7. Васбиева М.Т. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на динамику содержания органического углерода и азотный режим дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1365–1372.
8. Чупрова В.В. Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири. Красноярск, 1997. 165 с.
9. Кураченко Н.Л., Колесник А.А. Содержание и пространственное распределение подвижных элементов питания агрочерноземов в зависимости от способов основной обработки почвы // Агрохимия. 2020. № 7. С. 11–16.
10. Прахова Т.Я., Вельмисева Л.Е. Влияние удобрений на продуктивность рыжика посевного // Зерн. хозяйство России. 2015. № 5. С. 27–30.
11. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
12. Рудой Н.Г. Агрохимия почв Средней Сибири. Красноярск, 2004. 166 с.
13. Кураченко Н.Л., Ульянова О.А., Власенко О.А., Казанов В.В., Казанова Е.Ю. Пищевой режим агрочернозема Канской лесостепи при возделывании ярового рапса на маслосемена // АгроЭкоИнфо. 2022. № 3 (51).
14. Пехота А.П. Поступление элементов питания с соломой зерновых и зернобобовых культур в дерново-подзолистую супесчаную почву в зависимости от системы удобрения // Почвовед. и агрохим. 2014. № 2. С. 179–185.

Dynamics of the Content of Nutrients in Agrochernozem during the Cultivation of Ginger Seed

N. L. Kurachenko^{a,*}, O. A. Ulyanova^a, O. A. Vlasenko^a, V. V. Kazanov^a, and E. Yu. Kazanova^a

^aKrasnoyarsk State Agrarian University
prosp. Mira 90, Krasnoyarsk 660049, Russia

*E-mail: kurachenko@mail.ru

In the field experiment, the food regime of agrochernozem was studied during the cultivation of the seed ginger (*Camelina sativa* (L.) Crantz) in the conditions of the Kansk forest-steppe of the Krasnoyarsk Territory. The predominant absorption and removal of nitrate nitrogen and exchangeable potassium by the culture determined the low availability of 0–40 cm of mineral nitrogen in the soil layer (5–6 mg/kg) while maintaining an average and very high availability of exchangeable potassium (87–158 mg/kg). It is shown that the largest share of the return to the soil after harvesting the ginger was accounted for by N and P (50–37%). With root and crop residues, nitrogen – 70, phosphorus – 19 and potassium – 51 kg/ha were returned to the soil. Agrochernozems of the Kansk forest-steppe, without additional fertilization, are able to provide a sufficient level of phosphorus and potassium nutrition in ginger crops.

Keywords: agrochernozem, seed ginger, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium