УДК 631.811.1; 633.521 DOI: 10.25680/S19948603.2026.151.02

ДИНАМИКА ПОТРЕБЛЕНИЯ МАКРО- И МЕЗОЭЛЕМЕНТОВ ЛЬНОМ-ДОЛГУНЦОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ

А.Н. Налиухин, д.с.-х.н., С.Г. Сон,
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 6
e-mail: naliuhin@yandex.ru

Лён-долгунец – важнейшая прядильная культура, исконно возделываемая в Нечернозёмной зоне России. Ввиду слаборазвитой корневой системы лён чувствителен к несбалансированному минеральному питанию, в первую очередь к азотному. Поэтому основной целью работы было изучение влияния уровня азотного питания на урожайность и потребление макро- и мезоэлементов по фазам развития культуры. Вегетационный опыт со льном-долгунцом сорта Визит проводили в 2023-2025 г. на дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почве в сосудах Митчерлиха в вегетационном домике. Повторность опыта – 10-кратная. Схема опыта включала вариант без внесения удобрений (контроль) и пять разных доз мочевины – 30, 50, 70, 90 и 110 мг N*/кг почвы. Результаты исследований показали, что при повышении доз азота увеличивается урожайность льнотресты, в то время как выход волокна снижается. На основе химического анализа растений было определено, что содержание калия преобладало над концентрацией других элементов (*N, P, Ca, Mg*) во все фазы развития. Внесение азотного удобрения приводило к увеличению его содержания в фазе ёлочка с 3,2% на контроле до 3,5-3,8% при применении 50-110 мг* N*/кг почвы. Содержание* P_2O_5 *в фазе ёлочка составляло 0,6-0,7% сухого вещества, снижаясь к уборке в 2,5-3 раза до 0,2-0,3%. Содержание калия в фазе ёлочка составляло 4,2%, по сравнению с 3,9% на контроле. К уборке содержание* K_2O *равнялось 1,4-1,7%, что в 3 раза меньше по сравнению с фазой ёлочка. Изучение динамики потребления макро- и мезоэлементов льном показало, что наибольшее накопление азота, фосфора и калия отмечается в период интенсивного роста. При максимальной дозе азота (110 мг/кг почвы) поступление фосфора и калия продолжалось вплоть до фазы цветения, с последующей реутилизацией из листьев нижнего и среднего ярусов. В фазе ёлочка растения льна потребляют 15-20% кальция и магния, во время интенсивного роста – 50-60, ещё 12-20% – в бутонизацию. Поступление* Mg *и* Ca *и накопление их в растениях льна продолжалось во время цветения и зелёной спелости – по 7-8% в каждый период, вплоть до уборки.*

Ключевые слова: азот, лен-долгунец, питание растений, мочевина, дозы азота, урожайность.

Для цитирования: *Налиухин А.Н., Сон С.Г.* Динамика потребления макро- и мезоэлементов льном-долгунцом при различных уровнях азотного питания// Плодородие. – 2026. – №4. – С. 10-17. DOI: 10.25680/S19948603.2026.151.02.

Поступление элементов питания в онтогенезе растений осуществляется неравномерно. Современные системы удобрения должны учитывать постоянно меняющиеся в течение жизненного цикла потребности растений в макро- и микроэлементах. Знание вопросов периодичности питания растений позволит за счёт основного, припосевного удобрения и подкормок (на основе почвенной и растительной диагностик) регулировать минеральное питание сельскохозяйственных культур и реализовывать генетические возможности современных сортов и гибридов [1].

Во время прорастания семян питательные вещества ремобилизуются внутри ткани и перемещаются по флоэме и/или ксилеме к развивающимся корням и побегам. Следовательно, проростки растений способны расти в течение нескольких дней без внешнего поступления питательных веществ. Активно идёт распад (гидролиз) белков до аминокислот, для последующего синтеза белков в образующихся органах [2, 3].

В период вегетативного роста поступление питательных веществ бывает постоянно недостаточным (как в случае низкой доступности питательных веществ в почве) либо временно прерывается (например, при недостатке или избытке влаги). Таким образом, ремобилизация питательных веществ из зрелых листьев в аттрагирующие органы имеет ключевое значение для завершения жизненного цикла растений в таких условиях [4, 5].

Однако степень ремобилизации также различается в зависимости от подвижности питательных веществ в почве, что достаточно хорошо отражается в распределении видимых симптомов дефицита у растений на листьях разных ярусов. Симптомы дефицита, которые преимущественно проявляются в молодых листьях и апикальных меристемах, отражают недостаточную их ремобилизацию. Все эти положения с успехом используются для выбора индикаторных органов при проведении растительной диагностики минерального питания в период вегетации растений [6].

Азот – важнейший макроэлемент, входит в состав всех белков, которые в свою очередь являются главной составной частью цитоплазмы клеток растений, а также участвует в создании аминокислот и синтезе азотистых оснований, фосфолипидов, фитогормонов, нуклеиновых кислот, коферментов, хлорофилла и цитохромов. Все это влияет на активные физиологические процессы вегетативного роста и созревания семян [4].

Именно азот во многом лимитирует урожайность сельскохозяйственных культур, а также определяет качество растениеводческой продукции. Особую проблему представляет определение доз азота под лён-долгунец: высокие (свыше 40 кг/га) дозы приводят к ухудшению качества волокна, а низкие – не позволяют реализовать потенциальную урожайность. Всё это связано с тем, что основная хозяйственно-значимая продукция –

волокно, формируется в вегетативной части растений (стебле), избирательная способность которого по отношению к потреблению элементов минерального питания выражена гораздо слабее, в сравнении с генеративными органами [7].

Считается, что критический период для льна по отношению к азоту проявляется от фазы ёлочка до бутонизации, к фосфору – в первые две недели после посева и к калию – в фазе ёлочка, а также во время бутонизации-цветения, когда K_2O необходим для образования семян [8-10].

Наряду с этим, по закону Либиха, азот может быть лимитирующим фактором роста и развития льна-долгунца, особенно на низкоплодородных дерново-подзолистых почвах [11].

Исследования [12] показали, что наибольшее потребление азота льном (в пределах 40%) происходит в короткий период фаз роста – бутонизация-цветение, но при этом критическим периодом для роста и развития растения являются более ранние этапы: ёлочка–быстрый рост. По результатам полевых опытов установлено, что при урожайности 10 ц/га вынос азота составляет от 40 до 50 кг/га.

По данным [1], наибольшая урожайность волокна сорта Дашковский (10,1 ц/га) получена при дозе N_{30} на фоне $P_{60}K_{90}$ при внесении борных и цинковых микроудобрений. При этом, окупаемость азота урожаем была обратно пропорциональна его дозам, а наилучшее по качеству чесаное льноволокно формировалось на РК-фоне с бором и цинком без внесения азота. Увеличение доз, начиная с N_{15} до N_{45}, снижало данный показатель на 1,0 и 1,6 гс/текс соответственно. Существует сортовая специфика отзывчивости льна-долгунца на минеральные удобрения [13].

Именно поэтому необходимость исследования азотного питания льна-долгунца с учетом его биологических особенностей, является актуальной фундаментальной и одновременно прикладной задачей.

Цель исследования – изучить влияние уровня азотного питания на формирование урожайности волокна льна-долгунца и потребление макро- и мезоэлементов в различные фенологические фазы культуры.

Методика. Эксперимент проводили в вегетационном домике кафедры агрономической, биологической химии и радиологии Института Агробиотехнологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Закладка вегетационного опыта осуществлена в сосудах Митчерлиха, вмещающих 5,2 кг сухой почвы. Почва – дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 1,8% (по Тюрину), кислотность солевой вытяжки (pH_{KCl}) 5,4, гидролитическая кислотность 3,3 ммоль (экв)/100 г почвы (по Каппену), сумма поглощенных оснований – 9,7 ммоль (экв)/100 г почвы (по Каппену-Гильковицу); содержание легкогидролизуемого азота – 49 мг/кг почвы; подвижного фосфора – 288, калия – 180 мг/кг (по Кирсанову).

Сорт льна-долгунца – Визит. В сосуды с почвой вносили азотное удобрение – карбамид (Nм), содержащий 46,2% азота в амидной форме ($N\text{-}NH_2$).

Схема опыта включала следующие варианты: 1) контроль (без азота); 2) N – 30 мг/кг почвы; 3) N – 50 мг/кг почвы; 4) N – 70 мг/кг почвы; 5) N – 90 мг/кг почвы; 6) N – 110 мг/кг почвы. Ввиду высокой обеспеченности почвы фосфором и калием РК-удобрения в качестве фона не использовали. Опыт закладывали в десятикратной повторности для определения динамики потребления азота, фосфора, калия, кальция и магния растениями льна-долгунца в различные этапы органогенеза.

Учёт прироста биомассы осуществляли в фазы (межфазные периоды): ёлочки, интенсивного роста (начало, середина, конец), бутонизации и цветения. Учёт урожайности проводили в зелёную спелость, поскольку именно в этой фазе формируется волокно наивысшего качества. По фенологическим фазам определяли сухую массу растений льна, морфологические показатели, урожайность льносоломы и тресты (после росяной мочки), выход льноволокна.

Вылежку льносоломы проводили на стлище (злаковом травостое высотой 5-7 см) в течение 2 нед до получения однородной по качеству льнотресты. После высушивания до влажности 19% на ручной мялке определяли выход волокна из тресты.

Макро- и мезоэлементы определяли так: азот – путем мокрого озоления в концентрированной серной кислоте с добавлением катализатора с последующей пародистилляцией азота в р-р борной кислоты на автоматическом аппарате Hanon по методу Кьельдаля; фосфор – путем сухого озоления с последующим определением его на спектрофотометре; калий, кальций и магний – путем сухого озоления с последующим анализом на спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (ICP).

Результаты и их обсуждение. Увеличение доз азотного удобрения линейно увеличивает урожайность льносоломы, достигая максимума при внесении наибольшей дозы – 110 мг/кг почвы (табл. 1).

1. Урожайность льносоломы и льноволокна при различных дозах азотного удобрения

Вариант	Урожайность, г/сосуд				Прибавка урожайности	
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Среднее за 3 года	г/сосуд	%
Льносолома						
Контроль (без удобрений)	7,2	8,9	16,7	10,9	-	-
$N_м$, 30 мг/кг почвы	20,8	19,7	31,9	24,1	13,2	120,7
$N_м$, 50 мг/кг почвы	24,6	24,3	37,0	28,6	17,7	161,9
$N_м$, 70 мг/кг почвы	26,6	25,8	38,6	30,3	19,4	177,4
$N_м$, 90 мг/кг почвы	32,2	27,8	42,5	34,2	23,2	212,5
$N_м$, 110 мг/кг почвы	35,6	33,0	44,1	37,6	26,6	243,6
$НСР_{05}$	6,3	2,3	1,8	-	-	-
Льноволокно						
Контроль (без удобрений)	2,6	2,6	7,7	4,3	-	-
$N_м$, 30 мг/кг почвы	6,6	5,7	11,8	8,0	3,7	87
$N_м$, 50 мг/кг почвы	8,1	6,6	13,2	9,3	5,0	116
$N_м$, 70 мг/кг почвы	8,8	7,4	13,7	10,0	5,7	132
$N_м$, 90 мг/кг почвы	9,1	7,2	14,8	10,4	6,1	141
$N_м$, 110 мг/кг почвы	8,1	8,9	14,7	10,6	6,3	146
$НСР_{05}$	1,3	0,9	1,5	-	-	-

Так, если урожайность льносоломы на контроле составляла в среднем 10,9 г/сосуд, то при применении азота 110 мг/кг почвы – она увеличивалась в 3,4 раза до 37,6 г/сосуд. Стоит отметить и разброс урожайности по годам; наибольшая она отмечена в 2025 г., когда складывался оптимальный температурно-влажностный режим.

Несмотря на то, что во всех сосудах поддерживалась оптимальная влажность почвы на уровне 80% ПВ, высокая температура воздуха (выше 25^{0}С) в сочетании с низкой относительной влажностью угнетала рост растений в 2023-2024 г. При этом, повышение урожайности связано как с увеличением высоты растений, так и с утолщением стеблей льна-долгунца.

В то же время, как показывают трехлетние исследования, накопление биомассы происходило, в основном, за счёт разрастания коровой паренхимы, в ущерб образованию волокна в стеблях льна-долгунца. Это отчётливо проявляется при анализе выхода льноволокна из тресты, подвергшейся росяной мочке (рис. 1).

При этом выход волокна из тресты с увеличением доз азота и ростом урожайности льносоломы, наоборот, снижается с 46-53% на контроле (без удобрений) до 37-41% при внесении 110 мг азота/кг почвы. Все это показывает, что высокие дозы азота негативно влияют на формирование волокна, увеличивая только общую биомассу растений, и в какой-то мере способствуя росту урожая семян.

Интегрирующим показателем урожайности льносоломы и выхода волокна является урожайность льноволокна (см. табл. 1).

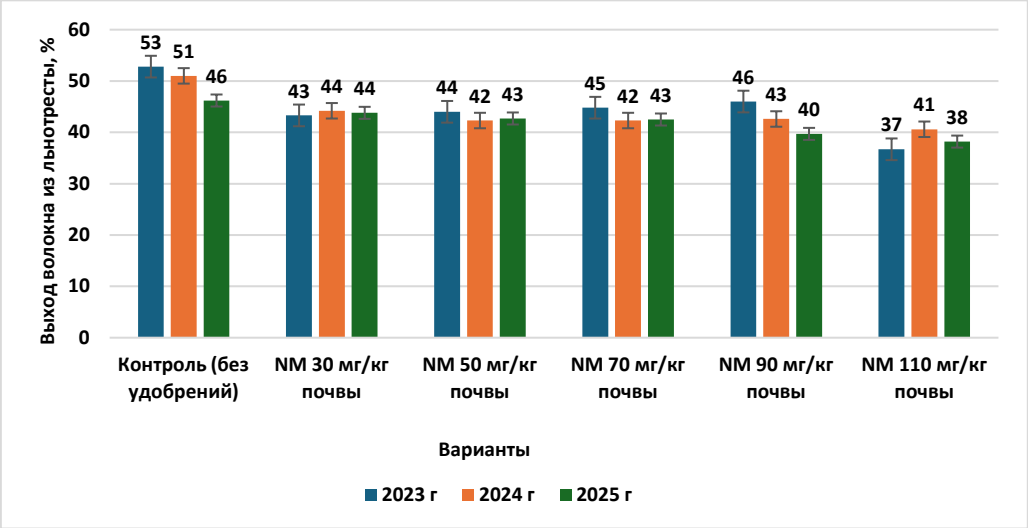


Рис. 1. Выход волокна из льнотресты в зависимости от уровня азотного питания

Как по годам исследований, так и в среднем за 3 года, урожай волокна увеличивался в интервале доз азота 30-70 мг/кг почвы (8-10 г льноволокна/сосуд). Дальнейшее увеличение доз азота до 90-110 мг/кг почвы существенно не влияло на повышение урожайности. Это в очередной раз подтверждает, что для льна-долгунца характерен узкий диапазон доз азота. В исследованиях, при внесении последних трех доз азота существенно увеличивалась площадь листьев, что было показано в работе [14]. Это означает, что в полевых условиях такой лён будет склонен к полеганию, что затруднит теребление и ухудшит качество льноволокна.

Содержание калия в растениях льна-долгунца преобладало над концентрацией других элементов (N, P, Ca, Mg) во все фазы развития. Внесение азотного удобрения приводило к увеличению его содержания в фазе ёлочка с 3,2% на контроле до 3,5-3,8% при применении 50-110 мг N/кг почвы (рис. 2).

Все это подтверждается и визуальной оценкой (рис. 3), где между вариантами видна равномерная разница увеличения биомассы (площади листьев, толщина стебля) и насыщенности окраски.

Содержание калия в растениях льна-долгунца преобладало над концентрацией других элементов (N, P, Ca, Mg) во все фазы развития. Внесение азотного удобрения приводило к увеличению его содержания в фазе ёлочка с 3,2% на контроле до 3,5-3,8% при применении 50-110 мг N/кг почвы (рис. 2).

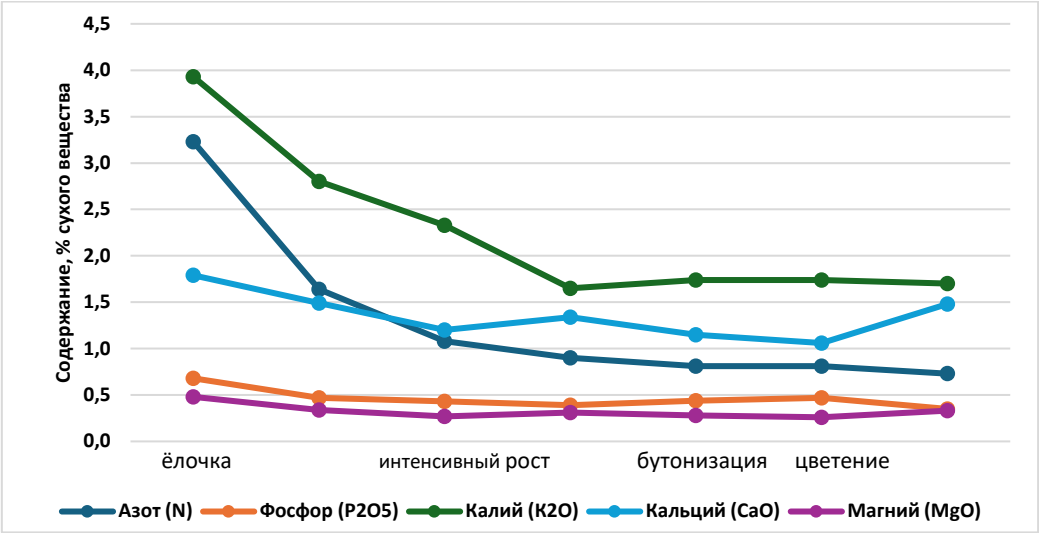
Все это подтверждается и визуальной оценкой (рис. 3), где между вариантами видна равномерная разница увеличения биомассы (площади листьев, толщина стебля) и насыщенности окраски.

Соответственно, чем больше азота, тем больше синтезируемых белков, которые приводят к большей продуктивности фотосинтеза.

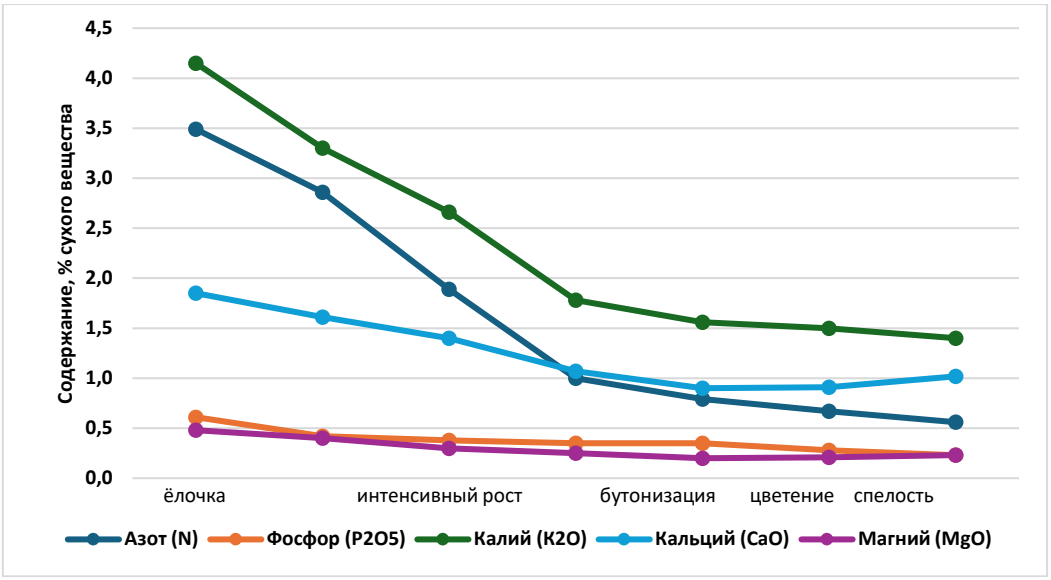
По мере развития льна содержание азота в фазе бутонизации снижается до 0,8-1,1%. Начиная с цветения, содержание азота в растениях контрольного варианта выравнивается с удобренными азотом растениями. Это связано с усиленным приростом биомассы и вызванным этим эффектом так называемого «ростового разбавления» [15].

Интересная картина наблюдается по обеспеченности растений фосфором. Во все фазы развития содержание P_2O_5 выше в контрольном варианте, где азот не применяли. Возможно, несмотря на высокое содержание подвижного фосфора в почве, при усиленном азотном питании его поступление в растения идёт медленнее, чем включение в метаболические процессы. В среднем, содержание P_2O_5 в фазе ёлочка составляет 0,6-0,7% сухого вещества, снижаясь к уборке в 2,5-3 раза до 0,2-0,3%.

а



б



в

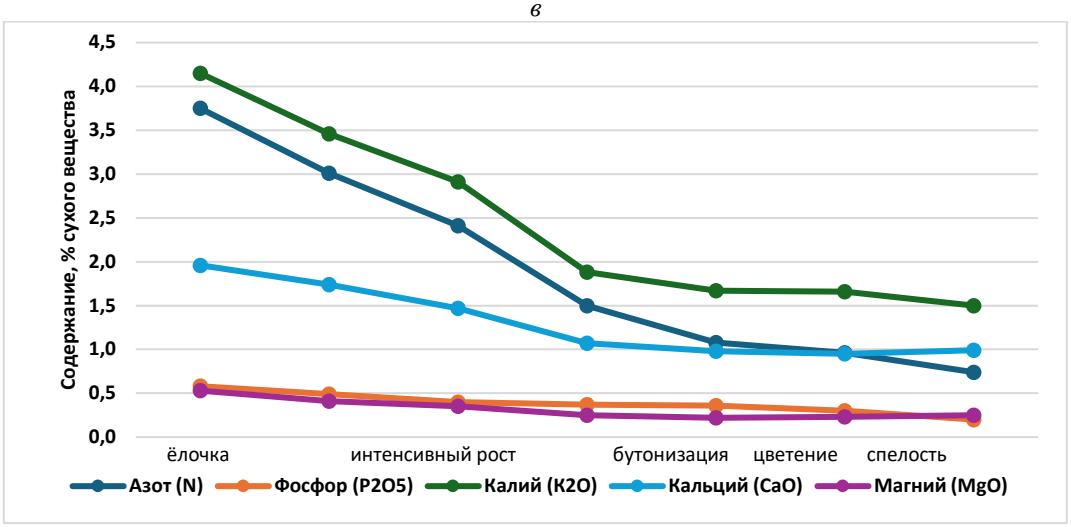


Рис. 2. Изменение содержания макро- и мезоэлементов в растениях льна-долгунца: *а* – в контрольном варианте, *б* – при внесении азота в дозе 50 мг/кг почвы, *в* – при внесении азота в дозе 110 мг/кг почвы

а



б



Рис. 3. Лен-долгунец: *а* – в фазе середины интенсивного роста (33-й день вегетации) и *б* – лен-долгунец в фазе цветения (56-й день вегетации): *1 -й сосуд – контроль (без удобрений); 2 -й – 30 мг* N_M */ кг почвы; 3 -й – 50; 4 -й – 70; 5 -й – 90; 6 -й – 110 мг* N_M */ кг почвы*

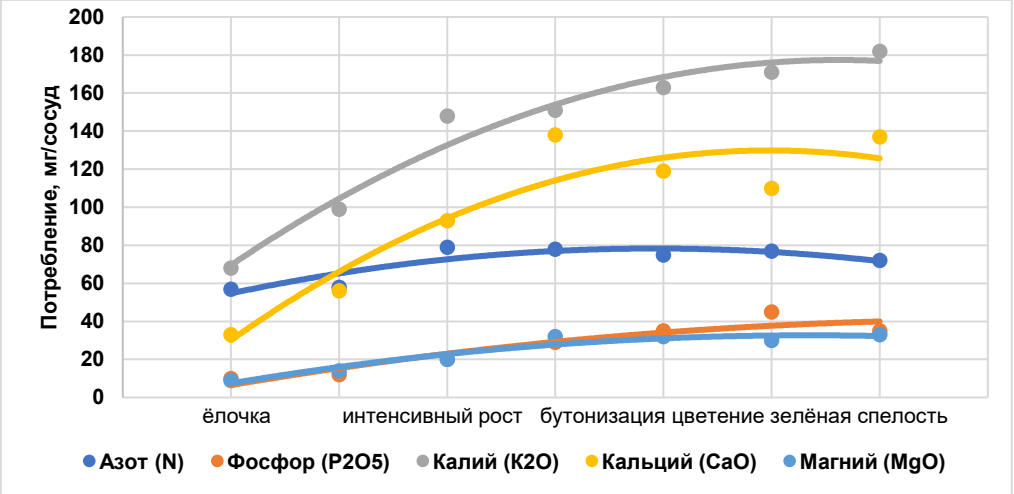
Содержание калия, напротив, было выше на фоне внесения азота и в фазе ёлочка составляло 4,2%, по сравнению с 3,9% на контроле. С фазы бутонизации концентрация K_2O начинает преобладать на неудобренном азотом контроле, что обусловлено интенсивным потреблением калия растениями льна в бутонизацию, цветение и в фазе зелёной спелости, связанное с интенсивным формированием льноволокна. К уборке содержание K_2O колебалось по вариантам опыта от 1,4 до 1,7%, что в 3 раза меньше по сравнению с фазой ёлочка.

Примерно такие же закономерности связаны с изменением содержания Ca и Mg в растениях льна-долгунца. Особенность их поступления в растения заключается в том, что их концентрация начинает преобладать на неудобренном азотом контроле несколько раньше – в конце фазы интенсивного роста.

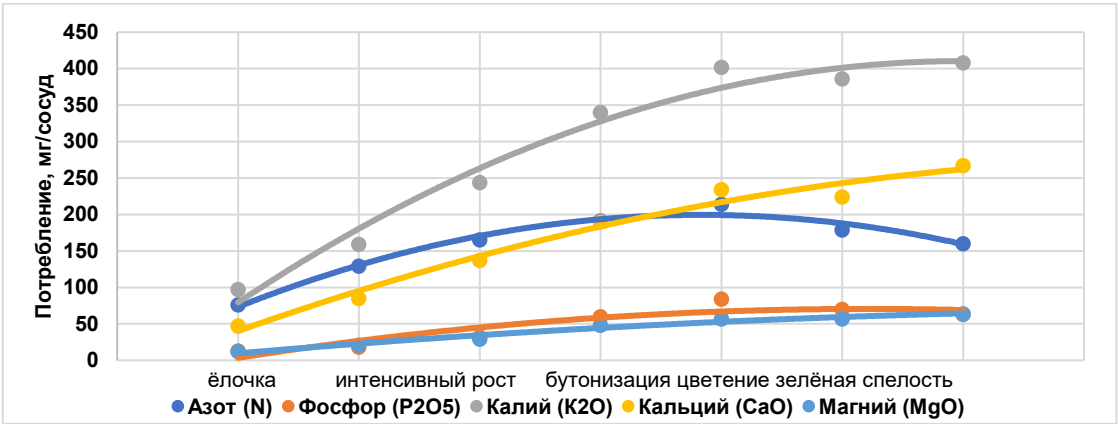
Сбалансированность минерального питания льна можно сопоставить с соотношением N:P:K:Ca:Mg в растениях в различные периоды развития. Так, в фазе ёлочка оно составляло: 4,8:1,0:5,8:2,6:0,7 на контроле, 5,7:1,0:6,8:3,0:0,8 при внесении азота 50 мг/кг почвы и 6,5:1,0:7,2:3,4:0,9 при дозе азота 110 мг/кг почвы. Как видно из представленных данных, усиленное азотное питание увеличивает поступление в растения льна азота и калия, снижая содержание фосфора. Обеспеченность растений Ca и Mg остаётся практически неизменной. К моменту уборки меняется скорость поглощения растениями льна питательных веществ, усиливается их ремобилизация, связанная с их оттоком из листьев и стеблей к формирующемуся волокну и семенам. Как следствие, изменяется соотношение между макро- и мезоэлементами. На контроле в фазе зелёной спелости соотношение N:P:K:Ca:Mg составляет 2,1:1,0:4,9:4,2:0,9, при внесении азота 50 мг/кг почвы – 2,4:1,0:6,1:4,4:1,0, а при максимальной дозе азота (110 мг/кг почвы) – 3,7:1,0:7,5:5,0:1,3. Сопоставляя данные по содержанию элементов и их соотношению в растениях льна можно отметить, что, в связи с падением концентрации фосфора в 1,5 раза при внесении азота, соотношения между макро- и мезоэлементами в этих вариантах в зелёной спелости становятся более широкими по сравнению с контролем.

Наиболее противоречивы данные о динамике поступления азота в различные фазы роста и развития льна-долгунца. Считается, что равномерное снабжение азотом вплоть до конца цветения является залогом высокой урожайности льноволокна. В большинстве вариантов интенсивное поступление азота наблюдается до фазы бутонизации. Очевидно, что усиленное азотное питание в вариантах с дозами 50-110 мг N/кг почвы приводит к его линейному накоплению в растениях льна вплоть до фазы бутонизации (рис. 4, табл. 2).

а



б



в

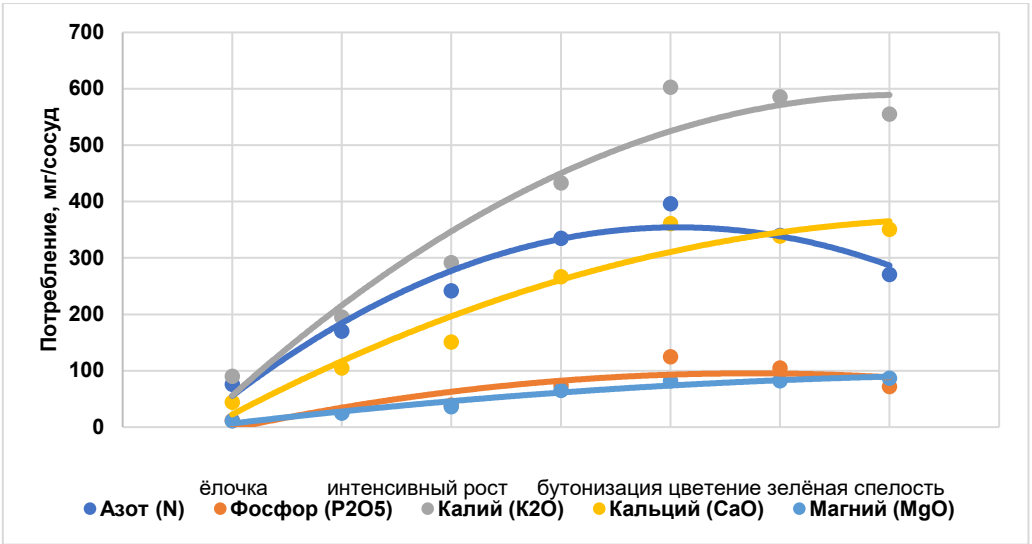


Рис. 4. Потребление льном-долгунцом макро- и мезоэлементов в разные фенологические фазы: *а* – в контрольном варианте (без удобрений); *б* – при внесении 50 мг азота/кг почвы; *в* – при внесении 110 мг азота/кг почвы

В последующие периоды роста поступление азота существенно сокращается, а общее – падает, что связано с опадением листьев нижнего и среднего ярусов, в которых к моменту цветения остаётся 33-36% азота, по сравнению с 66-73% в период интенсивного роста. На контроле растения льна в фазе ёлочка потребляли 73% его максимального накопления. В последующие фазы, практически исчерпав запасы почвенного азота, рост растений существенно замедлялся, в результате формировался низкий урожай льносоломы. При внесении 50-110 мг N/кг почвы к окончанию фазы ёлочка растения потребляли 20-30% азота, а основное его количество поступало в период интенсивного роста – 62-64% максимального выноса. Накопление азота заканчивалось в фазе бутонизации, в ходе которой растения накапливали от 5 до 15% азота.

2. Динамика потребления макро- и мезоэлементов льном-долгунцом, % от максимального накопления (вегетационный опыт 2023-2025 г.)

Межфазный период	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Контроль (без удобрений)					
Всходы – ёлочка	73	25	39	22	33
Ёлочка – начало интенсивного роста	87	38	56	47	50
Начало – середина интенсивного роста	93	50	72	69	67
Середина – конец интенсивного роста	100	75	86	83	83
Интенсивный рост – бутонизация	100	88	92	91	100
Бутонизация – цветение	93	100	97	94	100
Цветение – зелёная спелость	87	95	100	100	100
50 мг N/кг почвы					
Всходы – ёлочка	33	14	25	19	23
Ёлочка – начало интенсивного роста	62	29	40	33	31
Начало – середина интенсивного роста	81	57	63	50	46
Середина – конец интенсивного роста	95	86	85	73	69
Интенсивный рост – бутонизация	100	100	100	85	85
Бутонизация – цветение	86	100	100	92	92
Цветение – зелёная спелость	76	93	100	100	100
110 мг N/кг почвы					
Всходы – ёлочка	19	10	15	13	15
Ёлочка – начало интенсивного роста	43	20	34	28	30
Начало – середина интенсивного роста	68	60	51	56	60
Середина – конец интенсивного роста	85	80	73	72	70
Интенсивный рост – бутонизация	100	90	88	86	90
Бутонизация – цветение	85	100	100	94	95
Цветение – зелёная спелость	75	90	100	100	100

Калий наиболее интенсивно потребляется льном-долгунцом до бутонизации-цветения, затем скорость накопления его в растениях уменьшается и к фазе зелёной спелости выходит на плато. В отличие от поступления азота, в фазе ёлочка поступает K_2O 15-25%, интенсивного роста – 60, бутонизации – 15%. Внесение максимальной дозы азота продлевает поступление калия вплоть до цветения, за этот период растения льна дополнительно накапливают ещё 12% K_2O.

Несмотря на значительно меньшие размеры потребления фосфора льном-долгунцом (менее чем в 4,5 раза по сравнению с накоплением K_2O), поступление P_2O_5 идёт практически до бутонизации-цветения с пиком суточного накопления во время интенсивного роста. В удобренных азотом вариантах в фазе ёлочка лён накапливает всего 10-15% P_2O_5, наибольшее его количество – 70-72% максимального выноса потребляется в период интенсивного роста. После окончания интенсивного роста до начала цветения лён накапливает ещё 10-14% P_2O_5, а при внесении 110 мг N/кг почвы – ещё 10% в период цветения.

Для кальция и магния характерно равномерное их поступление вплоть до окончания вегетации льна-долгунца. Как показали исследования, несмотря на опадение листьев к моменту созревания, доля реутилизации для N и P очень высока, тогда как Mg и Ca повторно практически не используются. Вместо этого, наоборот, происходит увеличение содержания магния и кальция в вегетативных органах льна-долгунца вплоть до фазы зелёной спелости.

В фазе ёлочка растения льна потребляют 15-20% кальция и магния, во время интенсивного роста – 50-60, ещё 12-20% – в бутонизацию. Поступление Mg и Ca и накопление их в растениях льна продолжались во время цветения и зелёной спелости – по 7-8% в каждый период, вплоть до уборки.

Возможно, относительно высокие концентрации кальция и магния в почвенном растворе, приводящие к непрерывному поглощению корневой системой льна-долгунца и поступлению питательных веществ в листья и стебли, являются причинами слабой ремобилизации для Mg и Ca. Кроме того, кальцию присуща низкая способность к повторному использованию (реутилизации).

Заключение. Лён-долгунец характеризуется интенсивным поглощением азота, фосфора и калия в период интенсивного роста, когда наблюдается максимальный суточный прирост стеблей льна в высоту, а также в фазе бутонизации. При максимальной дозе азота поступление фосфора и калия продолжается и в фазе цветения, с последующей реутилизацией из листьев нижнего и среднего ярусов. Для кальция и магния характерно равномерное поступление вплоть до окончания вегетации, при этом кальций относится к слабо реутилизируемым элементам.

При повышении уровня азотного питания урожайность льносоломы, льнотресты и льноволокна повышается, в то же время выход волокна и его качество снижаются. Все это показывает, что изучение фундаментальных вопросов минерального питания льна-долгунца имеет практическую реализацию для льноводческого комплекса России.

Литература

1. *Налиухин А.Н.* Диагностика минерального питания и система удобрения льна-долгунец. – М.: Наука, 2025. – 367 с. – ISBN 978-5-02-041240-8.
2. *Lott J. N. A., Greenwood J. S. and Batten G. D.* Mechanisms and regulation of mineral nutrient storage during seed development. In Seed Development and Germination (J. Kigel and G. Galili, eds.), 1995. – pp. 215–235. Marcel Dekker, New York.
3. *Chapin III, F. S.* Ecological aspects of plant mineral nutrition. In Advances in Plant Nutrition, Vol. 3 (B. Tinker and A. Läuchli, eds.), 1988. – pp. 161–191. Praeger Publ., New York.
4. *Marschner P.* Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Academic Press is an imprint of Elsevier. – Third Edition, 2012. – 643 p.
5. *Foulk, J. A., D. E. Akin, R. B. Dodd, and D. D. McAlister III.* Flax fiber: Potential for a new crop in the Southeast. In Trends new crops new uses, ed. J. Janick, and A. Whipkey, 2002, pp. 361–370.
6. *Mańkowski, J., and K. Pudelko.* Evaluation of the effect of the tillage system and weed control on the yield of flax fibre and its quality. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2015, 23. – pp. 33–37.
7. *Тихомирова В.Я., Сорокина О.Ю.* Лён-долгунец. Биологические особенности. Управление формированием урожая и его качества: научное издание. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2011. – 159 с.
8. *Сорокина О.Ю.* Влияние разных уровней эффективности плодородия и приемов внесения минеральных удобрений на продуктивность сортов льна-долгунца (Linum usitatissimum L.) // Проблемы агрохимии и экологии. – 2020. – № 1. – С. 8–13.

9. *Хамутовский П.Р., Хамутовская Е.М., Балашенко Д.В.* Урожайность и качество льна-долгунца сорта Згода в зависимости от доз азотных удобрений и норм высева семян // Льноводство: реалии и перспективы: междунар. науч.-практич. конф.- Могилев, 2013. – С. 180-182.
10. *Прудников В.А., Чирик Д.П., Чуйко С.Р., Любимов С.В., Коробова Н.В., Пшкевич Е.В.* Эффективность азотного удобрения при возделывании льна-долгунца на дерново-подзолистой связносупесчаной почве // РУП «Институт льна», 2021. – С. 135-138.
11. *Гаврилова А.Ю., Конова А. М.* Урожайность льна–долгунца и качество волокна в зависимости от возрастающих доз минеральных удобрений // Вестник Ульяновской ГСХА. –2022. – № 2. – С. 52-59. – DOI 10.18286/1816-4501.
12. *Тихомирова В.Я.* Урожайность и качество волокнистой льнопродукции при разной обеспеченности почвы фосфором и калием // Плодородие – 2010. – № 1. – С. 9–10.
13. *Налиухин А.Н.* Растительная диагностика азотного питания льна-долгунца // Российская сельскохозяйственная наука. – 2016. – № 5. – С. 14–17.
14. *Налиухин А.Н., Сон С.Г.* Формирование урожайности и химический состав волокна льна-долгунца при различных уровнях азотного питания // Плодородие. – 2025. – № 5. – С. 21-26. – DOI 10.25680/S19948603.2025.146.04.
15. *Налиухин А.Н.* Почвенная диагностика азотного питания льна-долгунца // Агрохимия. – 2016. – № 7. – С. 24-36.

MACRO- AND MESOCELEMENTS BY FIBER FLAX AT DIFFERENT LEVELS OF NITROGEN NUTRITION

Naliukhin A.N., Son S.G.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy"
6 Pryanishnikova St., Moscow, 127434, Russian Federation
e-mail: *naliuhin@yandex.ru*

Fiber flax is a vital fiber crop, traditionally cultivated in the Non-Chernozem Zone of Russia. Due to its underdeveloped root system, fiber flax is sensitive to unbalanced mineral nutrition. Therefore, the primary objective of this study was to investigate the effect of nitrogen doses on yield and macro- and mesonutrient consumption throughout the crop's developmental stages. A pot experiment with the Visit variety of fiber flax was conducted from 2023 to 2025 on soddy-podzolic medium-loam soil in Mitscherlich pots in a growth house. The experiment was replicated ten times. The experimental design included a control without fertilizer application and five different urea doses: 30, 50, 70, 90, and 110 mg N per 1 kg of soil. The research results showed that with increasing nitrogen doses, the fiber flax straw yield increases, while the fiber yield decreases. Based on the chemical analysis of plants, it was determined that the potassium content prevailed over the concentration of other elements (N, P, Ca, Mg) in all development phases. The application of nitrogen fertilizer led to an increase in its content in the herringbone phase from 3.2% in the control to 3.5-3.8% when applying 50-110 mg N/kg of soil. The P_2O_5 content in the herringbone phase was 0.6-0.7% of dry matter, decreasing by harvesting by 2.5-3 times to 0.2-0.3%. The potassium content in the herringbone phase was 4.2%, against 3.9% in the control. By harvesting, the K_2O content was 1.4-1.7%, which is 3 times less compared to the herringbone phase. A study of the dynamics of macro- and mesonutrient consumption by fiber flax showed that the greatest accumulation of nitrogen, phosphorus, and potassium occurs during the period of intensive growth. At the maximum nitrogen dose (110 mg/kg soil), phosphorus and potassium intake continued until the flowering stage, followed by reutilization from the leaves of the lower and middle layers. During the herringbone phase, fiber flax plants consume 15-20% of calcium and magnesium, 50-60% during intensive growth, and another 12-20% during budding. Mg and Ca intake and accumulation in fiber flax plants continued during flowering and green maturity – 7-8% in each period, until harvest.
Keywords: nitrogen, fiber flax, plant nutrition, urea, nitrogen intake, yield.