

5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1979. 416 с.
6. Лакин Г. Ф. Биометрия. М., 1990. 352 с.
7. Лукьяненко П. П. Гибридизация отдаленных эколого-географических форм и проблема использования гетерозиса в селекции пшеницы // Вестник сельскохозяйственной науки. 1967. № 3. С. 31–35.
8. Неттевич Э. Д. Исследования по гибридной пшенице в лаборатории яровых зерновых культур и полиплоидии Научно-исследовательского института сельского хозяйства Центральных районов нечерноземной полосы (1964–1967 гг.) // Гетерозис в растениеводстве. М., 1968. С. 3–15.

Леонид Николаевич СКИПИН —
 профессор, заведующий кафедрой
 экологии ТюмГАСА,
 доктор сельскохозяйственных наук;
Александр Александрович ВАЙМЕР —
 научный сотрудник кафедры экологии
 ТюмГАСА, кандидат биологических наук;
Александр Яковлевич МИТРИКОВСКИЙ —
 доцент кафедры экологии ТюмГАСА,
 кандидат сельскохозяйственных наук

УДК 631.46

ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СОЛОНЦА ФОСФОРОМ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СИМБИОТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДОННИКА И ЛЮЦЕРНЫ

АННОТАЦИЯ. В работе отражено влияние фосфора на активность биологической азотфиксации, ее количественные и качественные показатели (количество активных клубеньков, содержание леггемоглобина), а также на накопление азота и урожай зеленой массы донника желтого и люцерны синегибридной. Установлено, что при внесении фосфорных удобрений до уровня высокой обеспеченности (4,5–6,0 мг/100 г почвы) создаются наиболее благоприятные условия для биологической фиксации азота воздуха.

Phosphorus influence on activity of biological nitrogen fixation, its quantitative and qualitative characteristics (number and weight of active tubers, leghemoglobin contents) as well as its influence on nitrogen accumulation and herbage yield of yellow melilot and lucerne are considered in this paper. It was established that application of phosphorus fertilizers up to the level of high concentration (4,5–6,0 mg/100 g of soil) provided for the most favorable conditions for biological fixation of air nitrogen

Обеспеченность почвы усвояемым фосфором является важнейшим фактором хорошего произрастания бобовых растений, развития клубеньковых бактерий и высокой их активности. При достаточном содержании в почве усвояемого фосфора усиливается развитие корневой системы растений, увеличивается количество корневых волосков с обильным образованием клубеньков [1, 2].

Применительно к солонцам ученые отмечают более низкую обеспеченность их валовым фосфором и в сравнении с зональными почвами, при этом в составе фрак-

ций здесь преобладают труднорастворимые соединения. Слабая подвижность фосфатов на солонцах, особенно в иллювиальном горизонте, объясняется поглощением фосфора полуторными окислами [4, 5, 6]. На нарушение фосфорного режима солонцов Сибири указывает Н. С. Пономарева и др. [7]. При этом отмечается, что внесение чистого гипса на корковых солонцах не способствует увеличению содержания подвижных фосфатов. Такая же закономерность прослеживается в исследованиях Д. Н. Аникста [5].

Наряду с этим Н. В. Семендяева, Л. А. Жеронкина [8] констатируют, что повышенные дозы фосфогипса способствуют увеличению подвижного фосфора в почве. В зерне и соломе овса при этом возрастает количество фосфора, кальция, калия и серы. Н. П. Панов и др. [9] установили, что внесение гипса на солонцах Северного Казахстана приводит к увеличению органических фосфатов, трехосновных фосфатов кальция и уменьшению фосфатов полуторных окислов.

Г. П. Посыпанов [10] указывает, что люцерна не обладает способностью извлекать фосфор из труднодоступных соединений почвы, поэтому при среднем содержании фосфора и калия в почвах нечерноземной зоны внесение фосфорно-калийных удобрений улучшает условия симбиоза.

И. И. Ошаров, И. М. Каращук, Р. П. Титова [11] свидетельствуют, что донник выносит из почвы фосфора в 1,5–3, азота — в 3–5 раз больше, чем злаки. Наряду с этим отмечается, что на бедных бросовых, солончаковых и песчаных почвах донник хорошо реагирует на внесение фосфорных удобрений в количестве 1,5–2 ц/га. На дерново-подзолистых почвах В. М. Чиканова и А. В. Хотянович [12] рекомендуют вносить под люцерну оптимальную дозу $P_{90} K_{90}$ в сочетании с инокуляцией.

Влияние обеспеченности мелиорируемого солонца фосфором на активность бобово-ризобияльного комплекса изучалось нами в вегетационно-полевых опытах в 1994–1996 гг. В качестве контроля использовался вариант с низким содержанием фосфора. С внесением двойного суперфосфата степень обеспеченности гипсованного солонца фосфором доводилась до средней, повышенной и высокой. В варианте 5 гипс был заменен эквивалентной дозой фосфогипса без дополнительного внесения суперфосфата. Семена донника и люцерны во всех опытных вариантах инокулировались штаммами клубеньковых бактерий соответственно 282 и 423.

Определение массы и количества клубеньков донника и люцерны осуществлялось в фазу цветения растений и налива семян. Результаты исследований (табл. 1 и 2) свидетельствуют, что повышение обеспеченности почвы фосфором оказывало положительное влияние на массу и число активных клубеньков у бобовых культур. Так, при низком содержании подвижного фосфора (1,0–1,5 мг/100 г почвы) масса клубеньков донника и люцерны составила соответственно 0,06 и 0,19 г/сосуд, а их численность — 38 и 40 шт/сосуд. При доведении обеспеченности солонца подвижным фосфором до высокой градации (4,5–6,0 мг/100 г почвы) эти показатели у бобовых трав увеличивались в 3,5–4,8 раз в сравнении с контролем и достигали максимальной величины.

При внесении вместо гипса мелиоранта фосфогипса с наличием в нем фосфора 1% формирование клубеньков у донника и люцерны соответствовало варианту с высоким содержанием подвижного фосфора в почве. При внесении фосфогипса в половинной дозе (20 т/га) на луговые корковые многонатриевые солонцы сульфатно-содового засоления в почву поступает до 200 кг/га фосфора.

В связи с этим не исключается более высокая подвижность фосфора в фосфогипсе, так как рН его, по данным Н. В. Семендяевой [8], низкая (2), тогда как рН гипса — значительно выше (7). Использование фосфогипса на солонцах способно в большей степени нейтрализовать их щелочную реакцию. Важное значение использования разных форм фосфорных удобрений для бобовых растений отмечает Л. М. Доросинский [2].

Таблица 1

Влияние обеспеченности мелиорируемого солонца фосфором (мг/100 г почвы) на массу, количество клубеньков донника и содержание леггемоглобина

Вариант	Масса, г/сосуд		шт/сосуд		Леггемоглобин, мг на 1 г сухих клубеньков
	Цветение	Налив семян	Цветение	Налив семян	
Гипс (контроль, фон)+1,0-1,5 (низкая обеспеченность)	0,06	0,02	38	8	6,8
Фон + 1,5-3,0 (средняя)	0,11	0,03	100	23	7,3
Фон + 3,0-4,5 (повышенная)	0,13	0,03	94	23	8,3
Фон + 4,5-6,0 (высокая)	0,21	0,03	136	26	8,5
Фосфогипс полная норма	0,25	0,04	140	30	9,4
НСР ₀₅	0,034	0,017	28,6	8,3	0,39

Таблица 2

Влияние обеспеченности мелиорируемого солонца фосфором (мг/100 г почвы) на массу, количество клубеньков и содержание леггемоглобина у люцерны, 1994 г.

Вариант	Масса, г/сосуд		шт/сосуд		Леггемоглобин, мг на 1 г сухих клубеньков
	Цветение	Налив семян	Цветение	Налив семян	
Гипс (контроль, фон)+ 1,0-1,5 (низкая обеспеченность)	0,19	0,12	40	36	5,9
Фон + 1,5-3,0 (средняя)	0,20	0,14	61	48	6,2
Фон + 3,0-4,5 (повышенная)	0,30	0,23	103	56	6,8
Фон + 4,5-6,0 (высокая)	0,38	0,29	141	77	6,9
Фосфогипс полная норма	0,65	0,40	192	75	7,2
НСР ₀₅	0,044	0,042	24,5	14,9	0,19

В период налива семян масса и количество клубеньков на корнях донника снижались в 3–5 раз. Уменьшение количества и массы клубеньков в фазу налива семян у люцерны происходило в меньшей степени, чем у донника (в 1,1–2 раза). Очевидно, это явление следует увязать с более быстрым и дружным созреванием семян у донника, в то время как на растениях люцерны часть семян созревала, а часть соцветий еще продолжала цвести. В этом случае процесс реутилизации питательных веществ по органам растений люцерны значительно замедлялся.

Г. С. Посыпанов [10] в связи с этим отмечает, что у однолетних бобовых культур масса активных клубеньков достигает максимума в период образования бобов, налива семян, а у многолетних — кривая массы имеет синусоидальный вид с затухающей амплитудой колебания к концу вегетации. После каждого укуса масса активных клубеньков резко падает, увеличиваясь к следующему укусу.

Установлено, что наиболее эффективный симбиоз осуществляется клубеньками с наличием красного пигмента леггемоглобина. Проведенные нами исследования показали, что внесение фосфора благоприятно сказывалось на интенсивности окраски клубеньков. Так, содержание леггемоглобина при низкой обеспеченности фосфором составило у донника 6,8, а при высоком — 8,5 мг на 1 г сухих клубеньков. На фоне фосфогипса содержание пигмента было наибольшим (9,4 мг на 1 г сухих клубеньков). Такая же закономерность по содержанию леггемоглобина проявлялась и у растений люцерны.

Наряду с хорошей отзывчивостью донника на внесение фосфорных удобрений, он может лучше других видов растений усваивать труднодоступные питательные вещества почвы, в первую очередь фосфор. В разных регионах донник способен накапливать фосфор в почве до 23–48 кг/га (И. И. Ошаров и др.) [11].

Содержание фосфора в растительных образцах свидетельствует, что при высокой обеспеченности почвы фосфором происходит более интенсивное накопление его в органах растений донника и люцерны (табл. 3 и 4). Так, во время цветения донника количество фосфора в листьях, стеблях, корнях и соцветиях на высоком уровне обеспеченности фосфором составило соответственно 2,57; 1,60; 1,26 и 3,58 г/кг. Без внесения фосфорных удобрений (низкая обеспеченность) содержание фосфора по указанным органам растений было наименьшим и составило соответственно 2,15;

1,30; 0,77 и 3,00 г/кг. На варианте с заменой гипса эквивалентной дозой фосфогипса накопление фосфора в растениях донника и люцерны было близко к варианту с высокой обеспеченностью почвы фосфором.

В данной связи В. П. Заремба и С. М. Малинская [13] отмечают, что под влиянием клубеньковых бактерий и выделяемых ими продуктов происходит более активное накопление бобовыми растениями фосфора почвы и увеличение его растворимой формы в ризосфере этих растений. Инокулированные растения выносят больше фосфора, чем неинокулированные.

Таблица 3

Изменение содержания фосфора (г/кг) в растениях донника в зависимости от обеспеченности мелнирируемого солонца P_2O_5 , 1994 г.

Вариант	Листья		Стебли		Корни		Соцветия	
	Цветение	Налив	Цветение	Налив	Цветение	Налив	Цветение	Налив
Гипс (фон)+1-1,5 (низкая обеспеченность)	2,15	3,34	1,30	1,12	0,77	0,96	3,00	4,81
Фон+1,5-3,0 (средняя)	2,29	3,50	1,44	1,23	0,89	1,07	3,20	5,00
Фон + 3,0-4,5 (повышенная)	2,37	3,57	1,60	1,25	1,03	1,17	3,30	5,20
Фон + 4,5-6,0 (высокая)	2,74	3,82	1,79	1,66	1,18	1,24	3,57	5,50
Фосфогипс	2,57	3,69	1,60	1,59	1,26	1,38	3,58	6,35
НСР ₀₅	0,089	0,059	0,042	0,026	0,060	0,063		

Таблица 4

Влияние обеспеченности почвы фосфором (мг/100 г почвы) на накопление P_2O_5 в растениях люцерны (г/кг)

Вариант	Листья		Стебли		Корни		Соцветия	
	Цветение	Налив	Цветение	Налив	Цветение	Налив	Цветение	Налив
Гипс (фон)+1-1,5 (низкая обеспеченность)	2,16	3,00	1,20	1,00	1,20	1,73	2,94	4,2
Фон+1,5-3,0 (средняя)	2,50	3,20	1,30	1,64	1,24	2,40	3,07	4,5
Фон + 3,0-4,5 (повышенная)	2,52	3,40	1,34	1,77	1,39	2,45	3,21	4,7
Фон + 4,5-6,0 (высокая)	2,78	3,98	1,53	2,11	1,51	3,20	3,49	4,8
Фосфогипс	2,73	3,58	1,57	3,10	1,50	3,20	3,48	4,8
НСР ₀₅	0,039	0,15	0,036	0,14	0,20	0,10	0,07	0,24

Наиболее важным показателем влияния обеспеченности почвы фосфором на процесс биологической азотфиксации является накопление азота в растениях, в частности, у донника и люцерны.

Данные табл. 5 и 6 показывают, что у растений донника и люцерны наибольшая концентрация азота отмечается в листьях (4,13–7,19%) и генеративных органах (4,15–6,67%), в стеблях и корнях его находится в 2-4 раза меньше. Высокая степень обеспеченности почвы фосфором стимулирует фиксацию и накопление азота в органах растений донника и люцерны на протяжении всего периода вегетации. Так, в фазу цветения донника содержание азота в листьях, стеблях, корнях и соцветиях при низком уровне обеспеченности фосфором (1–1,5 мг/100 г почвы), составило соответственно 4,53; 1,18; 1,30 и 4,15 %. Доведение гипсованного солонца до высокой степени обеспеченности фосфором (4,5–6,0 мг/100 г почвы) максимально увеличивало содержание азота в указанных органах соответственно до уровня 4,71; 1,60; 1,93 и 4,67 %, такая закономерность характерна и для люцерны. Действие фосфора фосфогипса на усвоение азота растениями донника и люцерны не уступало варианту с высокой обеспеченностью гипсованного солонца фосфором.

По данным И. Я. Масловой и А. С. Прозорова [14] фосфаты, в отличие от нитратов, не способны к заметной диффузии через почвенные слои и используются только у небольшого объема почвы, непосредственно соприкасающегося с корнями. По мере роста корни осваивают новые слои почвы и способны использовать фосфаты из более глубоких горизонтов.

Таблица 5

Содержание азота (%) в растениях донника
в зависимости от обеспеченности солонца P_2O_5 (мг/100 г почвы), 1994 г.

Вариант обеспеченности P_2O_5	Листья		Стебли		Корни		Соцветия	
	Цвете- нис	Налив	Цвете- нис	Налив	Цвете- нис	Налив	Цвете- нис	Налив
Гипс (фон)+1-1,5 (низкая, контроль)	4,53	5,04	1,18	1,46	1,30	1,17	4,15	6,10
Фон+1,5-3,0 (средняя)	4,61	5,71	1,21	1,51	1,77	1,44	4,41	6,26
Фон + 3,0-4,5 (повышенная)	4,62	5,90	1,20	1,75	1,89	1,63	4,48	6,27
Фон + 4,5-6,0 (высокая)	4,73	7,19	1,68	1,78	2,02	1,87	4,57	6,40
Фосфогипс	5,01	6,30	1,60	2,05	1,93	1,92	4,67	6,35
НСР ₀₅	0,25	0,25	0,09	0,08	0,09	0,05	0,04	0,08

Таблица 6

Влияние обеспеченности солонца фосфором на накопление азота (%)
в растениях люцерны, 1994 г.

Вариант обеспеченности P_2O_5	Листья		Стебли		Корни		Соцветия	
	Цвете- нис	Налив	Цвете- нис	Налив	Цвете- нис	Налив	Цвете- нис	Налив
Гипс (фон)+1-1,5 (низкая, контроль)	4,13	5,55	1,75	1,96	1,64	2,61	4,60	4,87
Фон+1,5-3,0 (средняя)	4,85	5,66	2,00	2,06	1,89	2,70	4,62	4,91
Фон + 3,0-4,5 (повышенная)	4,93	6,02	2,06	2,07	1,99	2,77	4,69	4,92
Фон + 4,5-6,0 (высокая)	5,20	6,11	2,26	2,42	2,20	3,08	5,25	5,35
Фосфогипс	5,12	6,13	2,20	2,89	2,32	2,81	5,27	5,56
НСР ₀₅	0,10	0,04	0,12	0,08	0,03	0,10	0,10	0,07

В наших опытах потребность растений и клубеньковых бактерий в фосфоре изучалась в сосудах. Донник и люцерна, обладая мощной корневой системой, проникающей до 1,5–3 м в глубину, в данном случае ограничены от запасов фосфора, находящихся глубже пахотного слоя. Поэтому результаты опыта не позволяют полностью моделировать естественные условия, но они дают возможность установить высокую потребность бобовых трав и клубеньковых бактерий в фосфоре на мелиорируемых корковых солонцах сульфатно-содового засоления.

Урожай зеленой массы донника и люцерны, полученный в опыте, свидетельствует, что при использовании гипса для химической мелиорации сохраняется значительная потребность растений в фосфоре (табл. 7). Так, на фоне гипсования с низкой обеспеченностью фосфором урожай зеленой массы донника и люцерны в среднем за 1994 и 1996 гг. составил 91,3 и 153,7 г/сосуд. Доведение обеспеченности фосфора до высокого уровня максимально увеличивало урожай бобовых трав, что превысило контрольные значения соответственно в 1,6 и 2,1 раз. Это характеризует люцерну как наиболее отзывчивую на фосфорные удобрения. Использование фосфогипса вместо гипса обеспечивает практически полную потребность в фосфоре для бобовых растений.

Таблица 7

Влияние обеспеченности мелиорируемого солонца фосфором (мг/100 г почвы)
на урожай зеленой массы донника и люцерны, г/сосуд.

Вариант	Донник			Люцерна		
	1994 г.	1996 г.	среднее	1994 г.	1996 г.	среднее
Гипс (фон)+1-1,5 (низкая обеспеченность)	116,3	66,7	91,5	187,3	120,0	153,7
Фон + 1,5-3,0 (средняя)	121,7	83,2	102,5	220,0	130,5	175,3
Фон + 3,0-4,5 (повышенная)	121,6	105,6	113,6	200,1	190,0	195,1
Фон+ 4,5-6,0 (высокая)	160,4	130,4	145,4	410,0	220,4	315,2
Фосфогипс	188,4	128,1	158,3	314,2	270,0	292,1
НСР ₀₅	14,3	9,7		25,0	19,9	

Недостаточная отзывчивость растений на внесение небольших доз фосфора на солонцах, очевидно, обусловлена переходом его значительной части в недоступную форму. Так, по данным Л. П. Галеевой и С. С. Аверкиной [15] при внесении фосфорных удобрений в почвах солонцового ряда образуются свежесаждаемые соединения, со временем трансформирующиеся в менее усвояемые для растений.

Таким образом, для эффективной биологической азотфиксации на мелиорируемых гипсом солонцах обязательным приемом следует считать внесение фосфорных удобрений до уровня высокой обеспеченности 4,5–6,0 мг/100 г почвы. Содержание фосфорных удобрений в почве в достаточном количестве способствует благоприятному росту и развитию растений донника и люцерны с максимальным формированием массы и количества окрашенных клубеньков. В данных условиях бобовые растения способны больше аккумулировать фосфора в органах растений и продуктивно фиксировать азот воздуха за счет симбиоза. Фосфор фосфогипса, внесенного в половинной норме, на первоначальном этапе освоения солонцов способен удовлетворить потребности макро- и микросимбионтов для эффективного симбиоза. Это тем более важно, так как фосфогипс в условиях Западной Сибири является потенциально наиболее доступной формой мелиоранта в сравнении с гипсом. Отзывчивость люцерны на внесение фосфорных удобрений значительно выше, чем у донника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израильский В. П., Рунов Е. В., Бернад В. В. Клубеньковые бактерии и нитраты. М.-Л., 1933. 231 с.
2. Доросинский Л. М. Биологический азот и его роль в земледелии // *Агрономическая микробиология*. Л., 1970. С. 83–126.
3. Гинзбург К. Е. Фосфор основных типов почв СССР. М., 1981. 235 с.
4. Орловский Н. В. Агротехническая оценка и химическая мелиорация солонцеватых почв в Западном Казахстане // *Почвоведение*. 1934. № 3. С. 340–360.
5. Аникст Д. М. Влияние гипсования на подвижность фосфатов в почвах Заволжья // *Тр. ВИУА*. 1964. Вып. 43. С. 67–74.
6. Дмитриенко П. А., Штурмова В. С. Особенности распределения фосфора по горизонталям солонцев юга УССР // *Почвоведение*. 1953. № 2. С. 60–69.
7. Пономарева Н. С. и др. Влияние гипса на нитратный режим хлоридно-сульфатных солонцев центральной лесостепи Омской области // *Особенности почв Омской области и эффективность удобрений на них*. Тр. Омского с.-х. ин-та. 1971. Т. 93. С. 33–41.
8. Семендяева Н. В., Жеронкина Л. А. Изменение качества овса и свойств солонцев при мелиорации различными дозами фосфогипса // *Свойства, мелиорация и интенсивное использование солонцев Сибири и Зауралья*. Новосибирск, 1988. С. 57–62.
9. Панов Н. П. и др. Фосфатный режим солончаковых солонцов и его изменение под влиянием химической мелиорации // *Теоретические основы и опыт мелиоративной обработки и химической мелиорации солонцовых почв*. Целиноград, 1982. С. 92–99.
10. Посыпанов Г. С. Биологический азот. Проблемы экологии и растительного белка. М., 1993. 267 с.
11. Ошаров И. И., Карашук И. М., Титов Р. П. Возделывание донника на корм, семена и зеленое удобрение: Методические рекомендации. Новосибирск, 1984. 40 с.
12. Чиканова В. М., Хотянович А. В. Эффективность ризоторфина в зависимости от уровня минерального питания при возделывании люцерны в БССР // *Экология и физиология почвенных микроорганизмов*. Л., 1976. С. 94–99.
13. Заремба В. П., Малинская С. М. Об участии клубеньковых бактерий в фосфорном питании бобовых и небобовых растений. М., 1963. С. 124–133.
14. Маслова И. Я., Прозоров А. С. Экологический аспект диагностики питания сельскохозяйственных культур // *Проблемы почвоведения в Сибири*. Новосибирск, 1990. С. 108–114.
15. Галеева Л. П., Аверкина С. С. Изменение фосфатного фонда солонцов при внесении удобрений // *Свойства, мелиорация и интенсивное использование солонцов Сибири и Зауралья*. Новосибирск, 1979. С. 60–87.