

ДИНАМИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАРОПАХОТНОГО ЧЕРНОЗЕМА ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

*С.Г. Котченко, ГСАС «Тюменская», Н.А. Груздева, Д.И. Ерёмин, д.б.н., ГАУ Северного Зауралья 625041, г. Тюмень, ул. Роцинское шоссе, 2, корп. 10
e-mail soil-tyumen@yandex.ru 625002, г. Тюмень, ул. Республики, 7*

Представлены результаты многолетнего мониторинга старопахотного чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья. Установлено, что при отсутствии органических удобрений в течение 15 лет содержание гумуса постепенно снижается с 5,2 до 4,0%. Ежегодная заправка соломы зерновых культур способствует стабилизации гумусного состояния пахотного чернозема, но для расширенного воспроизводства плодородия требуется дополнительное внесение органических удобрений в дозе не менее 40 т/га. Старопахотные черноземы Северного Зауралья характеризуются высокой потенциальной кислотностью, что может стать причиной их резкого подкисления при изменении внешних условий. Внесение 4,0 т/га извести позволяет кратковременно (до 10 лет) улучшить химические свойства чернозема, однако в дальнейшем происходит восстановление показателей до первоначального уровня. Выращивание зерновых культур без соответствующих компенсационных доз удобрений приводит к ухудшению фосфорно-калийного режима. Ежегодная заправка соломы частично восполняет запасы подвижного калия, но не фосфора, который необходимо вносить ежегодно на планируемую урожайность зерновых культур.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, пашня, Западная Сибирь, плодородие, гумус, обменная и гидролитическая кислотность, степень насыщенности основаниями, сумма поглощенных оснований, фосфорно-калийный режим.

Черноземные почвы, вследствие высокого плодородия, интенсивно используют в сельском хозяйстве. Ни одна другая почва не испытывает столь сильного антропогенного пресса, особенно в последние 100 лет. Резкая смена естественной растительности на агрофитоценоз, ежегодные механические обработки верхнего слоя почвы, внесение минеральных удобрений и пестицидов кардинально меняют направление почвообразовательного процесса и, как показывает практика, не в лучшую сторону [1, 2].

Для получения максимальной урожайности культур с минимальной себестоимостью, активизируют почвенную биоту механическими обработками, высвобождая заключенные в гумусе питательные вещества [3]. При анализе динамики урожайности зерновых культур и сравнении ее с дозами вносимых удобрений возникает вопрос – как может повышаться урожайность, если количество удобрений на полях уменьшается? Ответ один – питательные вещества образуются только при разложении почвенной органики. Гумус – главнейшее вещество почвы, обеспечивающее ее плодородие. От него зависят все показатели плодородия: агрофизические, химические и водно-физические свойства, водный и температурный режим. Поэтому необдуманное использование гумуса в качестве основного источника питательных веществ совершенно неприемлемо.

Существовавшая ранее система земледелия базировалась на принципах расширенного воспроизводства

плодородия, предусматривала в первую очередь стабилизацию гумусного состояния и препятствовала ухудшению агрохимических свойств пахотных почв [4]. Сейчас практически не осталось хозяйств, использующих эти знания, поэтому необходимо постоянно доводить до сельскохозяйственных товаропроизводителей информацию об изменениях свойств почв, вовлеченных в пахотный фонд.

Одной из проблем мониторинга плодородия агрохимических свойств почвы, в том числе гумуса, является незаметность изменений при кратковременных исследованиях, охватывающих небольшой временной промежуток. В этом случае неопределимую роль играют реперные участки, созданные по всей территории Российской Федерации агрохимическими службами. Информация о динамике плодородия, собранная с таких стационаров, дает полное представление и объяснение процессов, происходящих в почве на пашне [5].

Цель наших исследований - изучить динамику агрохимических свойств черноземных почв лесостепной зоны Зауралья. Выбор почвы не случаен, несмотря на небольшие площади её в Западной Сибири, так как именно черноземы испытывают максимальную антропогенную нагрузку, обладая высокой продуктивностью относительно других почв.

Методика. Исследования проводили на реперном участке № 11 ГСАС «Тюменская», расположенном в северной лесостепи Заводоуковского района Тюменской области (56°28'25"; 66°32'31"). Объект изучения - старопахотный чернозем выщелоченный среднесуглинистый, сформировавшийся на карбонатном лёссовидном суглинке. Морфогенетические признаки и свойства изучаемого чернозема характерны для почв этого подтипа в Западной Сибири [6, 7].

Реперный участок был заложен в 1994 г. на базе Заводоуковского ОПХ, сейчас он находится на территории ЗАО «Флагман». С момента закладки участка и по настоящее время использовали зерновой севооборот и отвальную систему основной обработки почвы. Средняя урожайность зерновых культур (пшеница, овес, ячмень) с 1994 по 2015 гг. составила 3,66 т/га. За 21 год было внесено: азота 1232 кг д.в./га, фосфора 209, калия 140 кг д.в./га, что соответствовало 58 кг азота, 10 фосфора и 7 кг калия в год.

Почвенные образцы отбирали в осенний период, после уборки сельскохозяйственных культур. Исследовали гумусовый горизонт до глубины 40 см. Отбор, пробоподготовку и химические анализы выполняли сотрудники ГСАС «Тюменская». Агрохимические показатели определяли в аккредитованной агрохимической лаборатории в соответствии с нормативной документацией на методы анализов: гумус - фотометрически по Тюрину в модификации ЦИНАО [ГОСТ 26213-91]; подвижные соединения фосфора и калия - по Чирикову [ГОСТ 26204-91]; обменную кислотность - потенциометрически [ГОСТ 26483-85]; гидролитическую кислотность - по Каппену [ГОСТ 26212-91]; обменный

кальций и магний - титриметрически [ГОСТ 26487-85]; сумму поглощенных оснований - по Каппену-Гильковицу [ГОСТ 27821-88]. Статистическую обработку проводили с использованием Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Гумус считают главным показателем почвенного плодородия, от которого зависят практически все свойства почв. Этот показатель относительно стабилен, поэтому его динамику лучше изучать в многолетних исследованиях. Наличие реперных участков, которые ГСАС «Тюменская» заложила в 1994 г., позволяет получить достоверную информацию о гумусном состоянии пахотных свойств почв Тюменской области. Важным положительным моментом является то, что реперные участки входят в состав сельскохозяйственных угодий, поэтому собранная информация реально отражает картину агрохимических свойств пашни юга Тюменской области.

В 1994 г. содержание гумуса в слое 0-40 см старопахотного чернозема выщелоченного составило 5,2%, что соответствовало малогумусному виду (рис. 1). На протяжении 16 лет гумусовое состояние реперного участка оставалось неизменным. В эти годы на участке существовал зерновой севооборот, всю солому собирали и вывозили за пределы поля.

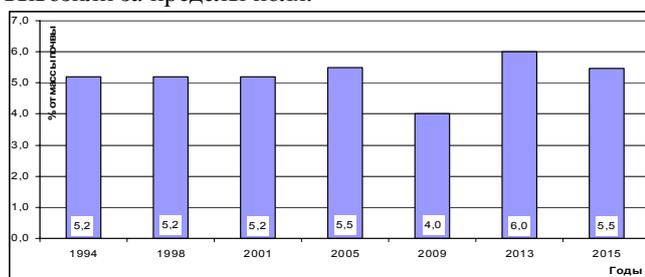


Рис. 1. Динамика содержания гумуса в пахотном слое чернозема выщелоченного (НСР₀₅=0,3).

К 2009 г. содержание гумуса в пахотном черноземе уменьшилось до 4% – отклонение составило 23% по отношению к 1994 г. Данный факт объясняется повышением доз вносимых азотных удобрений, которые на фоне дефицита растительных остатков, способствовали интенсивному микробиологическому разложению гумуса [8]. После пересмотра существующей системы земледелия хозяйству было предложено внести корректировку с целью стабилизации гумусового состояния пашни. В 2009 г. в хозяйстве приобрели измельчители для комбайнов, и всю солому зерновых культур стали ежегодно запахивать. Также была частично оптимизирована система питания растений – на полях начали ежегодно вносить фосфорные и калийные удобрения. К 2013 г. содержание гумуса возросло до 6% от массы почвы, и в настоящее время этот показатель варьирует в пределах ошибки измерения. Таким образом, существующая система земледелия в ЗАО «Флагман» обеспечивает стабилизацию гумусового состояния старопахотного чернозема. Однако расширенное воспроизводство плодородия не достигнуто. Как показали исследования ГАУ Северного Зауралья, черноземы лесостепной зоны Зауралья, вовлеченные в пахотный фонд, характеризуются гуматно-фульватным типом гумуса. Это может стать причиной их подкисления [9]. Для улучшения гумусового состояния необходимо дополнительно вносить органические удобрения в дозе не менее 40 т/га. Это компенсирует повышенную минерализацию

гумуса, положительно влияет на агрофизические и агрохимические свойства пахотных черноземов лесостепной зоны Зауралья.

В 1994 г. обменная кислотность составляла 5,5 ед., что соответствовало слабокислой реакции (табл. 1). Гидролитическая кислотность в слое 0-40 см не превышала 4 мг-экв/100 г почвы. Данное значение соответствует старопахотным аналогам чернозема выщелоченного Западной Сибири [10].

1. Динамика химических свойств пахотного слоя чернозема выщелоченного

Годы	рН _{КСЛ}	Состав почвенных катионов			S	ЕКО	V
		Нг	Ca ²⁺	Mg ²⁺			
		мг-экв/100 г почвы					
1994	5,5	3,9	Не опр.	Не опр.	24,2	28,1	86,1
1998	5,3	4,9	16,0	3,5	22,4	27,3	82,0
2001	5,4	4,2	14,6	3,9	25,0	29,2	85,7
2005	5,7	2,6	17,0	2,5	27,2	29,8	91,3
2009	5,3	2,8	16,5	4,0	22,4	25,2	88,9
2013	5,6	2,8	13,0	1,7	22,0	24,8	88,7
2015	5,3	4,2	15,9	2,8	26,5	30,7	86,3

Примечание. рН_{КСЛ} – обменная кислотность, Нг – гидролитическая кислотность, S – сумма обменных оснований, ЕКО – емкость катионного обмена, V – степень насыщенности основаниями.

До 2001 г. обменная и гидролитическая кислотность существенно не изменялась – отклонения были в пределах ошибки измерения. В 2002 г. на реперный участок было внесено 4 т/га извести, что привело к снижению обменной кислотности на 0,2 ед. Гидролитическая кислотность к 2005 г. уменьшилась с 4,2 до 2,6 мг-экв/100 г почвы – отклонение составило 38% относительно 2001 г. К 2009 г. обменная кислотность повысилась, достигнув 5,3 ед. и до настоящего времени варьирует в незначительных пределах (НСР₀₅=0,2). Гидролитическая кислотность с 2005 по 2013 г. оставалась неизменной (2,6-2,8 мг-экв/100 г почвы). В дальнейшем этот показатель стал увеличиваться, достигнув 4,2 мг-экв/100 г, что доказывает наличие процесса выщелачивания, усиленного антропогенным фактором [1]. Поэтому в условиях Северного Зауралья на выщелоченных черноземах необходимо внесение извести в дозе не менее 4 т/га не реже одного раза в 10 лет.

Сумма поглощенных оснований в 1994 г. составила 24,2 мг-экв/100 г почвы. К 2005 г. произошло повышение данного показателя на 9% по отношению к 2001 г. Также наблюдалось увеличение содержания кальция, что обусловлено внесением извести в 2002 г. В дальнейшем содержание обменного кальция и магния постепенно снижалось, что отразилось на сумме поглощенных оснований, которая к 2015 г. достигла 26,5 мг-экв/100 г почвы. Одновременное увеличение содержания алюминия, кальция и магния доказывает трансформацию структуры почвенного поглотительного комплекса вследствие изменения качественного состава гумуса.

Главным показателем химических свойств почвы принято считать степень насыщенности основаниями. Именно по ней можно судить о направлении почвообразовательного процесса, а также о процессах подкисления почвы. Общепринятым пороговым значением считается 75% от емкости катионного обмена (ЕКО). Как показывает многолетний мониторинг реперного участка, степень насыщенности основаниями никогда не опускалась ниже 80% от емкости катионного обмена. Внесение 4 т/га извести способствовало повышению

этого показателя до 91%. Однако этот эффект был кратковременным и к 2015 г. степень насыщенности основаниями уменьшилась до 86% от ЕКО. Это объясняется увеличением ионов водорода и алюминия, обуславливающих гидролитическую кислотность. Данный факт нельзя считать проявлением процесса выщелачивания, так как содержание щелочноземельных металлов в ППК не уменьшается. По нашему мнению в пахотных почвах происходит увеличение доли коллоидов, которые при дефиците катионов кальция и магния поглощают ионы водорода и алюминия. Это является обоснованием необходимости периодического известкования сибирских черноземов, вовлеченных в пахотный фонд.

Ежегодный анализ доступного для растений азота ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) показал низкую обеспеченность данным элементом питания. В составе доступных форм на аммонийную часть приходилось 46%, что объясняется низкой биологической активностью в осенний период, когда проводился отбор образцов [11]. Содержание нитратов на реперном участке пахотного чернозема не превышало 8 мг/кг почвы и соответствовало 38 кг/га. Нитраты не удерживаются почвой, можно предположить, что эта часть азота в условиях периодически промывного типа водного режима будет потеряна в весенний период.

Фосфор и калий, в отличие от нитратного азота, легко удерживаются почвой, поэтому их значения более стабильны. В 1994 г. содержание подвижного фосфора и калия составило 180 и 118 мг/кг соответственно (рис. 2).

С 1994 по 2009 г. прослеживается тенденция к снижению фосфора и калия в почве. Данный факт объясняется нерегулярным внесением соответствующих удобрений. К 2013 г. содержание фосфора достигло критических значений – 40 мг/кг, что соответствовало очень низкой обеспеченности этим элементом питания.

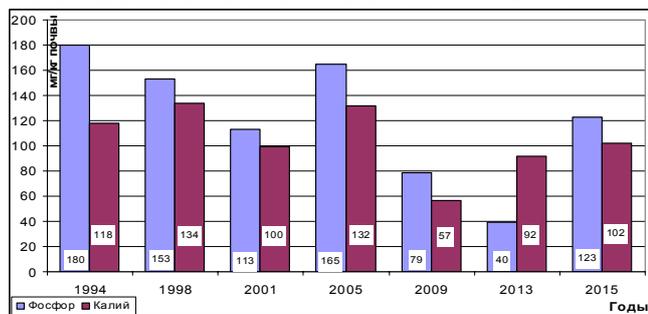


Рис. 2. Динамика подвижного фосфора и калия в слое 0-40 см пахотного чернозема выщелоченного

За период с 2013 по 2015 г., содержание фосфора увеличилось в 3 раза, достигнув 123 мг/кг почвы. Дозы фосфорных удобрений минимальны (не более 30 кг/га) и не могут оказать серьезного влияния на фосфатный режим. Следовательно, увеличение содержания доступных для растений фосфатов происходит за счет перехода фосфора из недоступных форм под действием агротехнических мероприятий [12].

Минимальное содержание подвижного калия отмечено в 2009 г. и составило 57 мг/кг. По нашему мнению, причиной ухудшения калийного режима является недостаточное количество вносимых калийных удобрений и ежегодное удаление соломы зерновых культур, в которой содержится основная часть калия, поглощен-

ного растениями [13, 14]. После корректировки системы земледелия солому начали измельчать и запахивать, что оказало благоприятное воздействие на калийный режим пахотного чернозема. С 2013 г. содержание подвижного калия в пахотном слое чернозема выщелоченного стабильно повышается.

Выводы. 1. Система земледелия, в основу которой положены отвальная обработка, формирование урожая зерновых культур за счет естественного плодородия и отсутствие органических удобрений в условиях лесостепной зоны Зауралья, ухудшает гумусное состояние старопашотных черноземов выщелоченных. За период с 1994 по 2009 гг. содержание гумуса в слое 0-40 см уменьшилось с 5,2 до 4,0 % от массы почвы. С переходом на научно обоснованную систему земледелия, где используют умеренные дозы азотных удобрений, а также ежегодно запахивают солому зерновых культур, гумусное состояние стабилизируется.

2. Длительное сельскохозяйственное использование старопашотного чернозема выщелоченного не приводит к его подкислению: обменная кислотность с 1994 по 2001 гг. оставалась на одном уровне 5,3-5,5 ед.; гидролитическая кислотность – 3,9-4,9 мг-экв/100 г почвы. Использование извести в дозе 4,0 т/га положительно отразилось на обменной и гидролитической кислотности, которые к 2005 г. достигли 5,7 ед. и 2,6 мг-экв/100 г почвы соответственно. Эффект от такой дозы был краткосрочным и к 2015 г. кислотность вернулась к прежнему значению 1994 г.

3. Ежегодная заправка соломы благоприятно влияет на коллоидную часть пахотного чернозема, отвечающую за емкость катионного обмена. С 2013 по 2015 г. ЕКО увеличилось с 24,8 до 30,7 мг-экв/100 г почвы. Однако при дефиците катионов кальция и магния происходит накопление подвижного алюминия, что может спровоцировать резкое подкисление пахотного чернозема выщелоченного. Степень насыщенности за годы исследований не снижалась ниже порогового уровня 75 % от ЕКО.

4. Длительное выращивание зерновых культур без регулярного внесения минеральных удобрений привело к ухудшению фосфорно-калийного состояния старопашотного чернозема выщелоченного. За 18 лет содержание подвижного фосфора и калия уменьшилось со 180 до 79 и со 118 до 57 мг/кг почвы соответственно, что является критическим для пахотных почв лесостепной зоны Зауралья. Переход на научно обоснованную систему удобрения в совокупности с ежегодной заправкой соломы позволяет стабилизировать фосфорно-калийное состояние пахотного чернозема.

Литература

1. Еремин Д. И. Агрогенная трансформация чернозема выщелоченного Северного Зауралья // Автореф. докт. дис. – Тюмень, 2012. - 452 с.
2. Лазарев А. П. Экологические аспекты использования черноземов Западной Сибири / А. П. Лазарев, А. А. Ваймер, Л. Н. Скипин. – Тюмень, 2014. - 362 с.
3. Шахова О. А. Особенности минерального питания яровой пшеницы в условиях внедрения ресурсосберегающих технологий в лесостепной зоне Северного Зауралья / О. А. Шахова, Д. И. Еремин // Вестник Красноярского ГАУ. - 2007. - № 1. - С. 149-152.
4. Хабиров И. К. Содержание гумуса в черноземе в зависимости от системы земледелия / И. К. Хабиров, В. С. Сергеев // Плодородие. - 2007. - № 1. - С. 16-17.
5. Котченко С. Г. Динамика плодородия пахотных почв Тюменской области / С. Г. Котченко, А. Я. Воронин // Достижения науки и техники АПК. - 2016. - № 7. - С. 41-43.
6. Абрамов Н. В. Морфогенетические особенности черноземных почв восточной окраины Зауральской лесостепи / Н. В. Абрамов, Д. И. Еремин // Аграрный вестник Урала. – 2008. - № 2. – С. 62-64.

7. *Абрамов Н.В.* Формирование профиля черноземов выщелоченных Северного Зауралья в условиях длительной распашки/Н.В. Абрамов, Д.И. Еремин //Достижения науки и техники АПК. - 2012. - №3. - С. 7-9.
8. *Еремин Д. И.* Гумусное состояние чернозема выщелоченного при длительном использовании минеральной системы удобрения под зерновые культуры в Северном Зауралье/Д. И. Еремин//Аграрный Вестник Урала. - 2010. - № 8(74). - С. 35-37.
9. *Eremin D.I.* Changes in the content and quality of humus in leached chernozems of the Trans-Ural forest-steppe zone under the impact of their agricultural use /D.I. Eremin //Eurasian soil science. 2016. Т.49. No 5. pp. 538-545. DOI: 10.1134/S1064229316050033
10. *Каретин Л.Н.* Почвы Тюменской области/Л.Н. Каретин. - Новосибирск: Наука, 1990. - 285 с.
11. *Еремин Д.И.* Биологическая активность и нитратный режим выщелоченных черноземов и луговых почв Тобол-Ишимского междуречья /Д.И. Еремин, С.В. Абрамова //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2008. - № 2. - С. 67-71.
12. *Красницкий В.М.* Влияние гидротермических факторов на подвижность фосфора в черноземных почвах/В.М. Красницкий, О.Т. Ермолаев //Плодородие. - 2012. - № 3 (66). - С. 19-22.
13. *Еремин Д.И.* Скорость высвобождения питательных веществ из соломы яровой пшеницы на поверхности пахотного чернозема /Д.И. Еремин, А.А. Ахтямова //Молодой ученый. - 2015. - № 6-5(86). - С. 22-26.
14. *Еремин Д.И.* Влияние длительного использования органоминеральной системы удобрения зернового севооборота на динамику подвижного калия чернозема выщелоченного /Д.И. Еремин //Плодородие. - 2016. - №2(89). - С. 28-31.

DYNAMICS OF THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF OLD-ARABLE CHERNOZEM IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF TRANSURALS

S.G. Kotchenko¹, N.A. Gruzdeva², D.I. Eremin²

¹Tyumenskaya State Station of Agrochemical Service Roshchinskoe sh. 2/10, Tyumen, 625041 Russia

²State Agrarian University of Northern Transurals ul. Respubliki 7, Tyumen, 625002 Russia E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Results of long-term monitoring of old-arable leached chernozem in the forest-steppe zone of Transurals are presented. It is found, that, in the absence of organic fertilizers for 15 years, the content of humus gradually decreased from 5.2 to 4.0%. Annual plowback of cereal straw promoted the stabilization of the humus status in arable chernozem, but the additional introduction of organic fertilizers at a rate of no lower than 40 t/ha is required for the expanded reproduction of fertility. Old-arable chernozems of Northern Transurals are characterized by high potential acidity, which can cause a strong acidification under varying external conditions. Application of 4.0 t/ha rapidly (during 10 years) improves the chemical properties of chernozem; however, the initial level will restore later on. Cultivation of grain crops without corresponding compensatory fertilizer rates leads to deterioration of potassium–phosphorus status. Annual plowback of straw partially completes the reserves of mobile potassium but not phosphorus, which is necessary to be applied annually to obtain the planned productivity of grain crops.

Keywords: leached chernozem, plowland, Western Siberia, fertility, humus, exchangeable and total acidity, base saturation, total exchangeable bases, potassium–phosphorus status, Tyumenskaya agrochemical station

УДК 633.2:631.82:581.557

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЛЮЦЕРНО- И КЛЕВЕРОЗЛАКОВЫХ ТРАВΟΣМЕСЕЙ

Н.Н. Лазарев, д.с.-х.н., РГАУ-МСХА, А.М. Стародубцева, Всероссийский центр карантина растений 127550 г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, E-mail: lazarevnick2012@gmail.com

Установлено в трехлетних исследованиях, что инокуляция препаратами клубеньковых бактерий способствовала повышению урожайности бобово-злаковых травосмесей на 20%. При предпосевной инокуляции злаковых трав ассоциативными бактериями *Klebsiella planticola* урожайность возрастала с 2,33 до 2,93 т/га сухого вещества. При внесении калийных удобрений в дозе K_{180} урожайность бобово-злаковых травосмесей увеличилась с 3,31 до 4,35 т/га. За три года пользования люцерно-злаковые травостои наибольшее количество биологического азота фиксировали при совместном применении калия и инокуляции – 176,7 кг/га, а клеверозлаковые травостои – в варианте с инокуляцией – 188,2 кг/га. Инокуляция не оказала значительного влияния на химический состав злаковых и бобово-злаковых травосмесей.

Ключевые слова: люцерна, клевер, инокуляция, калийные удобрения, урожайность, азотфиксация.

Важные направления современного экологического растениеводства - не только подбор условий и режимов использования растительных сообществ, но и регуляция их взаимоотношений с микроорганизмами.

Путём селекции и совершенствования технологий применения биопрепаратов интенсивность симбиотической азотфиксации может быть увеличена не менее чем в 3 раза [1].

Применение инокуляции на бобовых травах даёт прибавку урожая до 15% [4]. При использовании комбинированных заводских штаммов накопление азота в почве под ними может увеличиваться более чем на 100 кг/га [5]. Высокой азотфиксирующей способностью обладает люцерна. На третий год пользования люцерно-злаковые травостои накапливают в надземной массе на 56-86% больше биологического азота, чем клеверозлаковые [2]. Повышение эффективности кормопроизводства за счёт микробиологических препаратов комплексного действия подразумевает использование не только традиционных инокулятов *Rhizobium* и *Sinorhizobium*, но и других перспективных видов [3]. Неизученным является вопрос о взаимовлиянии сочетания инокуляции симбиотическими и тем более ассоциативными азотфиксаторами с внесением минерального калия, стимулирующего экссудацию корневой системы.

Методика. Полевой опыт по изучению отзывчивости травосмесей с участием клевера лугового и люцерны изменчивой на применение инокуляции и калийного удобрения заложен в 2009 г. на полевой опытной станции РГАУ-МСХА. Для инокуляции бобовых трав использовали следующие симбиотические микроорганизмы: на клевере луговом – *Rhizobium leguminosarum subsp. trifolii*, штамм 344 а, на люцерне изменчивой – *Sinorhizobium meliloti*, штамм 425. Для инокуляции тра-