

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2022. № 2 (67). С. 15–23.

Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov. 2022;2(67):15–23.

Научная статья

УДК 631.46:631.445.51:631.8 (571.54)

doi: 10.34655/bgsha.2022.67.2.002

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ С УДОБРЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ БУРЯТИИ

**Александр Семенович Билтуев¹, Ирина Бураловна Чимитдоржиева²,
Александр Кимович Уланов³, Александр Архипович Алтаев⁴**

^{1,3,4} Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Улан-Удэ, Россия

² Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, Россия

^{1,3,4}burniish@inbox.ru

²chim_irina@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты изучения влияния применения минеральной и органической систем удобрений на биогенность и динамику микробиологической активности каштановой почвы. Исследования проводились на базе длительного агрохимического полевого опыта Бурятского НИИСХ (п. Иволгинск). На вариантах – контроль, $N_{40}P_{40}K_{40}$ навоз 40 т/га в течение вегетационных периодов 2016–2017 гг. на двух полях 4-польного зернопарового севооборота: пшеница по пару, овес по пшенице, изучали активность почвенной микрофлоры с помощью аппликационного метода и методов определения численности микроорганизмов разных систематических и физиологических групп. Численность различных групп зависела от вида удобрений. Средняя доза полного минерального удобрения в условиях двухлетней засухи незначительно снизила количество бактерий и актиномицет. Внесение 40 т/га навоза, наоборот, способствовало росту численности аммонифицирующих бактерий на 180% на пшенице, а актиномицет и грибов, соответственно, на 68 и 44% на овсе. Скорость минерализации органического вещества возрастала от июня к августу и зависела от погодных условий и вида удобрений. На контрольном варианте в более увлажненный период целлюлозолитическая активность почвы была на 70% выше, чем в засушливый. При усилении интенсивности осадков наибольшей тенденцией к повышению обладает вариант опыта прямого действия 40 т навоза под пшеницу, при увеличении количества среднемесячных осадков на 1%, минерализационная активность почвы возрастала на 0,14%. Менее значимо повышение ЦА на варианте с последствием навоза под овсом – 0,09%. Минеральные варианты значительно уступают по этому показателю органическим и составляют 0,05 и 0,04 % соответственно под пшеницей и овсом. Наименьшее увеличение активности отмечено на контрольном варианте – без удобрений. Выявлена высокая зависимость целлюлозолитической активности и урожая пшеницы в четырехпольном зернопаровом севообороте ($r=0,90$).

Ключевые слова: каштановая почва, минеральные и органические удобрения, био-генность почвы, целлюлозолитическая способность почвы.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF CHESTNUT SOIL IN A LONG-TERM EXPERIMENT WITH FERTILIZERS IN THE REPUBLIC OF BURYATIA**Alexander S. Biltuev¹, Irina B. Chimitdorzhieva², Alexander K. Ulanov³, Alexander A. Altaev⁴**^{1,3,4} Buryat Research Institute of Agriculture, Ulan-Ude, Russia² Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Filippov, Ulan-Ude, Russia^{1,3,4} burniish@inbox.ru² chim_irina@mail.ru

Abstract. *The article presents the results of studying of the effect of the usage of mineral and organic fertilizer systems on the biogenicity and dynamics of microbiological activity of chestnut soil. The research was carried out on the basis of a long-term agrochemical field experiment of the Buryat Research Institute (the Ivolginsk settlement). In the control variants, $N_{40}P_{40}K_{40}$ manure of 40 t/ha during the growing seasons of 2016-2017 on two fields of 4-field grain-steam crop rotation: wheat by steam, oats by wheat, the activity of soil microflora was studied using the application method and methods for determining the number of microorganisms of different systematic and physiological groups. The number of different groups depended on the type of fertilizers. The average dose of a complete mineral fertilizer in a two-year drought reduced slightly the number of bacteria and actinomycetes. The introduction of 40 t/ha of manure, on the contrary, contributed to an increase in the number of ammonifying bacteria by 180% on wheat, and actinomycetes and fungi, respectively, by 68 and 44% on oats. The rate of mineralization of organic matter increased from June to August and depended on weather conditions and the type of fertilizers. In the control variant, in a more humid period, the cellulolytic activity of soil was 70% higher than in the arid period. With the increase of the precipitation intensity, the greatest tendency to increase is the variant of the experiment of direct action of 40 tons of manure for wheat, with an increase in the amount of average monthly precipitation by 1%, the mineralization activity of the soil increased by 0.14%. Less significant is the increase in CA in the variant with the aftereffect of manure under oats – 0.09%. Mineral variants are significantly inferior in this indicator to organic ones, and amount to 0.05 and 0.04%, respectively, under wheat and oats. The smallest increase in activity was noted in the control variant – without fertilizers. A high dependence of CA and wheat yield in the four-field crop rotation ($r=0.90$) was revealed.*

Keywords: chestnut soil, mineral and organic fertilizers, soil biogenicity, cellulolytic ability of the soil.

Введение. Южная сухая степь является традиционной зоной земледелия Республики Бурятия. Низкое естественное плодородие зональных каштановых почв и дефицит увлажнения в период вегетации культур вызывают высокий риск недополучения запланированного урожая. В этом случае применение удобрений является основным ресурсом повышения продуктивности культур. Процессы мобилизации доступных элементов микрофлорой почвы, в первую очередь органического азота, протекают с различной степенью интенсивности в зависимости не только от климатических и эдафических условий, но и применения удобрений [1, 2].

В каштановых почвах доминируют ак-

тиномицеты при очень низком содержании грибов и бактерий, что свидетельствует о ксерофитном характере микробоценоза [3]. В оптимальных условиях увлажнения и температур проявляется высокая энергия аммонификационных и нитрификационных процессов [4-6]. Однако в полевых условиях, в типичных условиях увлажнения их интенсивность значительно сокращается в соответствии с численностью микроорганизмов. Так, в условиях типичной засухи количество аммонификаторов снижается от десятков миллионов до тысяч, а нитрификаторов от сотен до следов в грамме почвы [3].

Цель исследований – изучить биологическую активность каштановой по-

чвы под зерновыми культурами в 4-польном зернопаровом севообороте и ее связь с урожайностью культур. Исследования проводились в ракурсе решения задач определения влияния длительного применения минеральной и органической систем удобрений на биогенность и динамику микробиологической активности почв.

Условия и методы исследований.

Исследования проведены на опытном поле Бурятского НИИСХ, расположенном на северо-западном пологом склоне Ганзуринского хребта на типичной каштановой почве в условиях длительного агрохимического опыта (год закладки – 1967). На вариантах систематического применения удобрений – контроль, $N_{40}P_{40}K_{40}$, навоз 40 т/га в течение вегетационных периодов 2016-2017 гг. на двух полях (пшеница по пару, овес по пшенице)

4-польного зернопарового севооборота: пар-пшеница-овес-овес на зерносеяж, изучали активность почвенной микрофлоры с помощью аппликационного метода и методов определения численности микроорганизмов разных систематических и физиологических групп [7]. В почве определяли количество аммонифицирующих бактерий – на мясопептонном агаре (МПА), актиномицеты – на крахмало-амиачном агаре (КАА), грибы – на среде Сабуро. Количественный учет микроорганизмов проводился методом предельных разведений, чашечным методом Коха на питательных элективных средах. Целлюлозолитическую активность определяли методом льняного полотна.

Агрохимические показатели почв изменялись в зависимости от вариантов применения удобрений (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели плодородия пахотного слоя почвы на различных вариантах применения удобрений

Вариант	рНвод	Гумус, %	Общий азот, мг/кг	P ₂ O ₅ подв.		K ₂ O обм.
				мг/кг по Чирикову		
Контроль	6,9	0,87	720	140-171	66-78	
$N_{40}P_{40}K_{40}$	6,7	1,05	810	233-269	85-93	
40 т навоза	6,9	1,71	1050	243-295	161-188	

Длительное применение органических удобрений позволило повысить содержание гумуса, общего азота и доступных растениям форм фосфора и калия относи-

тельно исходного содержания [6, 8, 9].

Климатические условия в период исследований отличались от многолетних показателей (табл. 2).

Таблица 2 – Климатические условия периода вегетации 2016-2017 гг.

Месяц	Декада	Осадки, мм			Температура воздуха, °С		
		2016	2017	ср. многол.	2016	2017	ср. многол.
май	I	0,0	12,0	3,6	4,8	13,0	5,9
	II	4,0	5,0	4,0	9,1	13,0	8,3
	III	6,0	4,0	4,4	11,2	16,0	10,8
	итого	10,0	21,0	12,0	8,4	14,0	8,3
июнь	I	0,0	18,0	6,0	22,0	22,0	13,3
	II	0,0	10,0	10,7	23,0	25,0	15,7
	III	0,0	7,0	15,3	25,0	26,0	17,4
	итого	0,0	35,0	32,0	23,3	24,3	15,5
июль	I	0,0	0,0	21,9	29,0	26,0	18,7
	II	14,0	5,0	22,0	24,0	24,0	19,2
	III	12,0	0,0	21,1	27,0	25,0	18,8
	итого	26,0	5,0	65,0	26,7	25,0	18,9

август	I	42,0	25,0	21,7	23,0	24,0	17,6
	II	34,0	17,0	19,7	19,0	20,0	15,9
	III	46,0	22,0	17,6	19,0	19,0	13,4
	итого	122,0	64,0	59,0	20,3	21,0	15,6
май-август		158,0	125,0	168,0	19,7	21,1	14,6

Метеорологические условия 2016 года были очень экстремальными, с мая по июль осадков выпало лишь 15 % от нормы при высоком увлажнении в августе. В 2017 году отмечалась засуха в июле при относительно благоприятном увлажнении в начале вегетации.

Технология возделывания культур в стационарном опыте – зональная, рекомендованная для сухостепной зоны Бурятии [10].

Результаты исследований. Биогенность почвы устанавливалась нами по общему количеству микрофлоры, а также по содержанию отдельных групп: аммонифицирующие бактерии, актиномицеты, грибы. Условия развития микроорганизмов в 2016-2017 гг. отличались засушливостью, с мая по август выпало, соответственно, 125 и 102 мм осадков. На типичную весенне-раннелетнюю засуху наложилась и засуха в июле. Содержание продуктивной влаги под культурами севооборота также было очень низким. Подоб-

ные условия функционирования биоты почвы, в целом, соответствуют 30% случаев в длительном ряду наблюдений.

Жесткие климатические условия выявили адаптационные возможности различных групп к типичной засухе. В опытах в составе почвенной микрофлоры доминируют актиномицеты, затем бациллы, что характерно для почв региона, поскольку их споры наиболее устойчивы к дефициту влаги и могут сохраняться десятки лет, а споры грибов жизнеспособны лишь 2-3 года [11]. Неслучайно именно эти группы бактерий преобладают в почвах криоаридных территорий [12-14]. Большой удельный вес в микробном ценозе и высокая биохимическая активность актиномицетов являются отличительной чертой каштановых почв Бурятии [3, 14].

Преобладание в опыте актиномицет над другими группами вне зависимости от условий опыта и увлажнения подтверждает общепринятое мнение (табл. 3).

Таблица 3 – Микробиологическая активность каштановой почвы, КОЕ г/почвы, млн (среднее за 2016-2017 гг.)

Вариант	Общее микробное число	Аммонифицирующие бактерии	Грибы	Актиномицеты
Пшеница				
Контроль – б/у	5,2	1,0	0,7	3,5
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	4,3	1,4	0,5	2,4
40 т/га навоза	5,9	1,8	0,5	3,6
Среднее	5,1	1,4	0,6	3,2
Овес				
Контроль – б/у	3,3	0,8	0,9	1,6
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	3,1	0,4	1,2	1,5
40 т/га навоза	4,9	0,9	1,3	2,7
Среднее	3,1	0,7	1,1	1,9

Общее микробное число (ОМЧ) коррелировало с содержанием влаги и в среднем под парозанимающей культурой оно

составило 5,1 КОЕ против 3,1 КОЕ под следующей за ней культурой. При этом содержание влаги в почве оказывало оп-

ределяющее действие на численность бактерий и актиномицетов. Грибы в силу своих физиологических особенностей в меньшей степени зависели от перепадов почвенной влаги. Подобное обусловлено тем, что развитие большинства бактерий возможно при влажности 25-30%, в то время как грибы могут развиваться в более сухих почвах (минимум влажности 10-15%, иногда 6-7%), не содержащих капельно-жидкой влаги [11].

Применение удобрений оказало различное действие на численность различных групп. Средняя доза полного минерального удобрения в условиях двухлетней засухи не увеличила ОМЧ, а даже незначительно снизила количество бактерий и актиномицет. Подобное, по-видимому, является следствием более слабой конкуренции с растениями за доступные элементы питания. Внесение 40 т/га органических удобрений, наоборот, способствовало росту численности аммонифицирующих бактерий на 180% при более высоком увлажнении (пшеница), а актиномицет и грибов при низком (овес), соответственно, на 68 и 44%. Подобное согласуется со стратегией питания разных групп [12, 13]. Полуперепревший навоз КРС, внесенный в паровое поле, наиболее быстро используется копиотрофами – типичными г-стратегами, организмами, предпочитающими высокие концентрации питательных веществ (~10 г/л). В этой сукцессии доминируют аммонифицирующие бактерии. На следующей стадии при истощении растворимых органических веществ меняется состав деструкторов, в микробной сукцессии начинают преобладать гидролитики, L-стратеги, в основном, грибы и актиномицеты, образующие различные покоящиеся формы для выживания – споры, конидии, цисты.

Полное минеральное удобрение вызвало снижение числа актиномицетов и грибов под первой культурой по пару, а под следующей культурой числа бактерий. В целом отметим, что внесение навоза повысило численность всех исследуемых групп микроорганизмов. В составе почвенной микрофлоры доминируют акти-

номицеты, что характерно для почв региона, а очень низкое содержание грибов и бактерий в опытах свидетельствует о ксерофитном характере микробценоза каштановой почвы [3, 4]. Количество аммонификаторов и нитрификаторов в полевых условиях подвержено влиянию гидротермических условий среды. В условиях экстремальной засухи в сухой степи Бурятии количество аммонификаторов в пахотном слое с начала лета до начала осени сократилось с 26 млн до 2 тысяч, а развитие нитрификаторов почти прекращается, снижаясь от 100 до единиц в грамме почвы [3]. Статистический анализ данных позволил определить наличие достоверной прямой связи между количеством аммонификаторов в среднедефлированной почве и осадками ($r = 0,639$; $t_{\phi}(2,75) > t_{st}(2,2)$; $n = 13$) и обратной между количеством нитрификаторов и температурой воздуха ($r = -0,642$; $t_{\phi}(2,8) > t_{st}(2,2)$; $n = 13$). Подобное обусловлено тем, что аммонификаторы в большей степени адаптированы к жесткому гидротермическому режиму сухой степи.

Одним из показателей общей биологической активности микроорганизмов почвы является целлюлозолитическая способность почвы. Она может служить характеристикой скорости минерализации органического вещества, вовлечения труднодоступных форм углерода в биологический круговорот [7, 13-15].

Разложение льняного полотна в посевах пшеницы по пару изучалось в течение трех летних месяцев. Интенсивность разложения в среднем за два года изучения возрастала от июня к августу (табл. 4).

Выявлено, что на биологическую активность почв оказали существенное влияние погодные условия и применение удобрений. Так, на контрольном варианте в более увлажненном 2016 году (125 мм осадков за май-август) целлюлозолитическая активность почвы была на 70% выше, чем в засушливом 2017 году (105 мм). Относительное увеличение интенсивности минерализации целлюлозы составила при внесении $N_{40} P_{40} K_{40}$, в среднем, за три месяца 28 %, а на варианте с внесением

Таблица 4 – Интенсивность разложения льняного полотна в почве в посевах зерновых культур под влиянием применения удобрений, %

Время экспозиции	Год	Вариант			НСР ₀₅
		контроль – б/у	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	40 т/га навоза	
Пшеница					
Июнь (30 дн.)	2016	12,5	12,6	14,9	
	2017	4,1	4,55	4,65	
	M ± m	8,3 ± 3,5	8,6 ± 4,1	9,8 ± 4,1	4,3
Июль (30 дн.)	2016	15,4	16,5	19,8	
	2017	3,1	7,9	8,8	
	M ± m	9,2 ± 4,8	12,2 ± 1,8	14,3 ± 3,5	3,8
Август (30 дн.)	2016	14,9	16,7	25,0	
	2017	5,3	12,4	18,6	
	M ± m	10,1 ± 3,5	14,5 ± 5,3	21,8 ± 2,4	5,1
Июнь-август		27,6 ± 5,2	35,3 ± 5,6	45,9 ± 6,1	7,2
Овес					
Июнь (30 дн.)	2016	3,7	6,7	7,5	
	2017	0,6	3,8	3,7	
	M ± m	2,2 ± 0,9	5,2 ± 1,4	5,6 ± 2,1	2,8
Июль (30 дн.)	2016	2,2	0,5	8,1	
	2017	4,2	5,5	5,6	
	M ± m	3,2 ± 1,1	3,0 ± 1,4	6,8 ± 0,9	3,3
Август (30 дн.)	2016	4,9	4,5	16,4	
	2017	3,2	7,1	7,1	
	M ± m	4,0 ± 1,1	5,8 ± 0,9	11,7 ± 4,8	4,2
Июнь-август		9,4 ± 1,1	14,0 ± 1,5	24,1 ± 3,8	4,5

40 т/га в паровое поле 66%. Применение удобрений способствовало активизации микрофлоры и более значимо при усилении осадков. Минерализация субстрата с широким соотношением C:N усиливается при увеличении доступных элементов, в первую очередь, минерального азота. Большая активность микроценоза при внесении навоза, в отличие от полного минерального удобрения, связано с большей микробной массой в почве и количеством питательного субстрата [1-3].

Интенсивность разложения полотна под овсом была меньшей. Если минерализация полотна на контроле за весь период наблюдений составила, в среднем, 9,4%, то на минеральном и органическом вариантах, соответственно, 14 и 24 %, что более чем в два раза ниже, чем на предыдущей культуре.

Корреляционный анализ влияния климатических факторов на биологическую активность почв выявил среднюю и высокую ее зависимость от количества выпавших осадков и среднюю от действия температурного фактора. Подобный эф-

фект связан с низкой вариабельностью среднемесячных температур в краткосрочном опыте в условиях одной климатической зоны, хотя влияние температурного фактора несомненно очень значимо. Низкая значимость влияния продуктивной влажности на биологическую активность почвы мы объясняем техническим несовершенством регистрации этого показателя. Если метеоданные отбирались ежедневно, то влажность почвы подекадно. В этой связи регистрируемые погодные условия более объективно отражают действие климата на микроценоз почвы. В качестве тренда, описывающего влияние факторов, выбрана логарифмическая функция как наиболее соответствующая динамике процесса (табл. 5).

Математическое обобщение результатов позволило описать некоторые тенденции действия осадков на биологическую активность микроценоза в пахотном горизонте каштановых почв при применении удобрений. При усилении интенсивности осадков наибольшей тенденцией к повышению обладает вариант опыта пря-

Таблица 5 – Влияние среднемесячного количества осадков (w, мм) на целлюлозолитическую активность (ЦА, %) микроценоза каштановых почв при применении удобрений (n = 6)

Культура	Показатели	Вариант опыта		
		контроль – б/у	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	40 т/га навоза
пшеница	г	0,67	0,60	0,79
	тренда	ЦА = 1,68 lnw + 3,64	ЦА = 4,92 lnw - 4,56	ЦА = 13,69 lnw - 30,19
	R ²	0,37	0,29	0,54
овес	г	0,65	0,84	0,89
	тренда	ЦА = 1,70 lnw - 2,53	ЦА = 3,97 ln w - 8,50	ЦА = 8,45 lnw - 20,0
	R ²	0,35	0,77	0,72

мого действия 40 т/га навоза под пшеницу, при увеличении количества среднемесячных осадков на 1% минерализационная активность почвы возрастала на 0,14%. Менее значимо повышение ЦА на варианте с последствием навоза под овсом – 0,09%. Минеральные варианты значительно уступают по этому показателю органическим и составляют 0,05 и 0,04% соответственно под пшеницей и овсом. Наименьшее увеличение активности отмечено на контрольном варианте – без

удобрений. Этот показатель не зависел от поля севооборота и составлял 0,02 % на каждый процент дополнительных осадков.

Связь биологической активности почв и продуктивности культур обусловлена сложными конкурентными и синергетическими отношениями растений и микроорганизмов к питательным и водным ресурсам почвы. Урожайность зерновых культур зависела от действия удобрений, увлажнения периода вегетации и размещения культуры в севообороте (табл. 6).

Таблица 6 – Влияние удобрений на продуктивность зерновых культур в севообороте (ц/га)

Вариант	Пшеница			Овес		
	2016 г.	2017 г.	M±m	2016 г.	2017 г.	M±m
Контроль	8,8	3,5	6,1±2,1	1,7	3,1	2,4±0,4
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	14,1	1,1	7,6±2,8	1,8	3,6	2,7±0,8
40 т/га навоза	15,0	1,2	8,1±2,8	1,9	3,0	2,5±0,5
НСП ₀₅	3,5	2,2	-	1,4	1,4	-

Действие минеральных и органических удобрений в большей мере проявляется в годы с относительно благоприятным режимом атмосферного увлажнения. Применение удобрений было эффективным в относительно благоприятных условиях 2016 года, а в засуху 2017 года оказало негативное действие. Овес как вторая культура после пшеницы находится в заведомо более жестких условиях почвенного увлажнения и его урожайность зависит не от запасов почвенной влаги, а от количества и распределения атмосферной влаги. В 2016 году были получены дружные всходы, но засуха второй половины лета привела к гибели большей

части растений. В 2017 году недостаток почвенной влаги не позволил прорасти большей части растений. В этой метеоситуации овес начал развиваться по типу однолетних трав, вторичные всходы появились в момент выпадения основной массы осадков в июле, овес развил достаточную вегетативную массу, но зерно сформировалось лишь у 30-37 % растений. Уборка была поздней, но тем не менее урожай был выше, чем в 2016 году. Действие удобрений в эти годы не проявилось.

Исследования показали лишь наличие высокой коррелятивной зависимости (r = 0,90) между показателями целлюлозоли-

тической активности почвы за летний период (ЦА, %) и урожайностью пшеницы по пару на различных вариантах опыта (У, ц/га). Линейный тренд этой зависимости представлен в виде функции:

$$Y = 0,29 X - 2,56 (R^2 = 0,81)$$

По интенсивности распада клетчатки с высокой достоверностью можно судить об уровне эффективного плодородия почвы, поскольку факторы, определяющие величину урожая культуры, в равной мере регулируют и деятельность целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Выявлено, что в условиях сухой степи каждый процент разложившегося полотна соответствует прибавке 0,3 ц/га зерна пшеницы. Аналогичных зависимостей для урожая овса обнаружить не удалось.

Заключение. Биоклиматические условия функционирования почвенной биоты каштановых почв способствуют преобладанию групп микроорганизмов, наиболее адаптированных к укороченному периоду биологической активности в середине лета при очень низком содержании органического вещества. Наиболее адаптированы к этому режиму актиномицеты, которые преобладали по численности КОЭ над аммонифицирующими бактериями и грибами от 0,7 до 4,5 раз в зависимости от возделываемых культур и условий увлажнения. Чем выше увлажнение почв, тем более активны актиномицеты. Содержание влаги в почве оказывало определяющее действие на численность бактерий и актиномицетов, грибы в меньшей степени зависели от почвенной влаги. Действие удобрений в условиях типичной засухи повлияло на общую численность микроорганизмов почвы. Значимо увеличивалась почвенная биота при внесении органических удобрений (22%), действие минеральных удобрений снизило ОМЧ на 12%. Биологическая активность почв зависела от количества выпавших осадков и в меньшей степени от температурного режима, при этом наибольшая целлюлозолитическая активность (ЦА, %) микроценоза каштановых почв наблюдалась при применении органических удобрений. Выявлена высокая

зависимость ЦА и урожая пшеницы в четырехпольном севообороте ($r=0,90$).

Список источников

1. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск : СО РАСХН, 2013. 790 с.
2. Будажапов Л.-З.В. Биокинетический цикл азота и оборот азотных пулов. М.: ВНИИА, 2019. 288 с.
3. Нимаева С.Ш. Микробиология криоаридных почв. Новосибирск : Наука, 1992. 175 с.
4. Борисова Т.С., Чимитдоржиева Г.Д. Биологическая активность дефлированных каштановых почв при длительном компостировании // Агрохимия. 2004. № 3. С.14-20.
5. Корсунова Ц.Д.-Ц., Чимитдоржиева Г.Д. Биологическая активность дефлированных каштановых почв Байкальского региона при внесении компостов на основе древесной коры, опилок, соломы // Агрохимия. 2008. № 4. С. 15-19.
6. Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К. Нитратный режим каштановых почв Бурятии при применении удобрений // Агрохимия. 2020. № 6. С.33-40.
7. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
8. Уланов А.К., Будажапов Л.В., Лапухин Т.П., Билтуев А.С. Содержание и качественный состав гумуса каштановой почвы в динамике многолетних рядов систематического применения удобрений // Вестник НГАУ. 2019. №1 (5). С. 58-67.
9. Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К. Особенности изменения фосфатного режима каштановых почв Забайкалья при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2021. № 8. С. 3-8.
10. Система земледелия Республики Бурятия : научно-практические рекомендации / под научной редакцией А.П. Батудаева. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2018. 349 с.
11. Зенова Г.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. М.: Изд-во МГУ, 1990. 80 с.
12. Уиттекер Р.Х. Сообщества и экосистемы / сокр. пер. с англ. Б.М. Миркина, Г.С. Розенберга. М.: Прогресс, 1980. 327 с.
13. Структура микробных комплексов в почвах сухостепных ландшафтов / Д.Г. Звягинцев, Т.Г. Добровольская, И.Ю. Чернов, Е.С. Сарданашвили, Г.Г. Гончиков, В.М. Корсунов. Новосибирск : Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1999. С. 167-174.
14. Чимитдоржиева Г.Д. Органическое вещество холодных почв. Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2016. 388 с.
15. Буянтуева Л.Б., Алексеева Е.В. Химический состав и питательная ценность степных растений Бурятии / Ученые записки За-

байкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского. 2012. № 1 (42). С. 67-69.

References

1. Gamzikov G.P. Agrokhimiya azota v agrotsenozakh [Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses.]. Novosibirsk, 2013. 790 p. (In Russ.)
2. Budazhapov L.-Z.V. Biokineticheskiy tsikl azota i oborot azotnykh pulov [Biokinetic cycle of nitrogen and circulation of nitrogen pools]. Moscow, 2019. 288 p. (In Russ.)
3. Nimaeva S.Sh. Mikrobiologiya krioaridnykh pochv [Microbiology of cryoarid soils]. Novosibirsk. Nauka, 1992. 175 p. (In Russ.)
4. Borisova T.S., Chimitdorzhieva G.D. *Agrokhimiya*. Biological activity of deflated chestnut soils under long-term composting. 2004;3:14-20 (In Russ.)
5. Korsunova Ts. D.-Ts., Chimitdorzhieva G.D. Biological activity of deflated chestnut soils treated with bark, sawdust, and straw composts in the Baikal Region *Agrokhimiya*. 2008;4:15-19 (In Russ.)
6. Biltuyev A.S., Budazhapov L.V., Ulanov A.K. Nitrate regime of chestnut soil of Buryatia when applying fertilizers. *Agrokhimiya*. 2020;6:33-40 (In Russ.)
7. Zvyagintsev D.G. *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Moscow. MSU Publ. House, 1991. 304 p. (In Russ.)
8. Ulanov A.K., Budazhapov L.V., Lapukhin T.P., Biltuyev A.S. Qualitative concentration of humus of chestnut soils considering many-year fertilizing. *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2019;1(5):58-67.
9. Biltuyev A.S., Budazhapov L.V., Ulanov A.K. Peculiarities of changes in the phosphate regime of chestnut soils in Transbaikalia during long-term use of fertilizers. *Agrokhimiya*. 2021;8:3-8 (In Russ.)
10. Sistema zemledeliya Respubliki Buryatiya: nauchno-prakticheskiye rekomendatsii [Farming system of the Republic of Buryatia]. Sci. Ed. A.P. Batudayev. Ulan-Ude. 2018. 349 p. (In Russ.)
11. Zenova G.M., Shtina E.A. *Pochvennyye vodorosli* [Soil algae]. Moscow. MSU Publ. House, 1990. 80 p. (In Russ.)
12. Whittaker R.H. *Soobshchestva i ekosistemy* [Communities and ecosystems]. Translated from Eng. by B.M. Mirkin, G.S. Rozenberg. Moscow. Progress, 1980. 327 p.
13. Zvyagintsev D.G., Dobrovolskaya T.G., Chernov I.YU., Sardanashvili Ye.S., Gonchikov G.G., Korsunov V.M. *Struktura mikrobnnykh kompleksov v pochvakh sukhostepnykh landshaftov* [Structure of microbial complexes in soils of dry steppe landscapes]. Novosibirsk. Nauka, 1999. P. 167-174 (In Russ.)
14. Chimitdorzhieva G.D. *Organicheskoye veshchestvo kholodnykh pochv* [Organic matter of cold soils]. Ulan-Ude, 2016. 388 p. (In Russ.)
15. Buyantuyeva L.B., Alekseyeva Ye.V. *Khimicheskii sostav i pitatel'naya tsennost stepnykh rasteniy Buryatii*. *Uchenyye zapiski Zabaykalskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta im. N.G. Chernyshevskogo*. 2012;1(42):67-69 (In Russ.)

Информация об авторах

Александр Семенович Билтуев – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии, аридного земледелия и продуктивности полевых культур;

Ирина Бураловна Чимитдоржиева – кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии агрономического факультета;

Александр Кимович Уланов – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории растительных систем и дикоросов;

Александр Архипович Алтаев – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории агролесомелиорации и природных рисков.

Information about the authors

Alexander S. Biltuev – Candidate of Science (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Agrochemistry, Arid Agriculture and Productivity of Field Crops;

Irina B. Chimitdorzhieva – Candidate of Science (Biology), Associate Professor, Soil Science and Agrochemistry Chair, Faculty of Agronomy;

Alexander K. Ulanov – Doctor of Science (Agriculture), Leading Researcher, Laboratory of Plant Systems and Wild Plants;

Alexander A. Altaev – Candidate of Science (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Agroforestry and Natural Risks.

Статья поступила в редакцию 16.04.2022; одобрена после рецензирования 05.05.2022; принята к публикации 06.05.2022.

The article was submitted on 16.04.2022; approved after reviewing on 05.05.2022; accepted for publication on 06.05.2022.