

УДК 631.559:631.811:631.582(571.54)

УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР И БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЗЕРНОПАРОВОМ СЕВООБОРОТЕ В УСЛОВИЯХ СУХОЙ СТЕПИ БУРЯТИИ

© 2023 г. А. С. Билтуев^{1,*}, Л.-З. В. Будажапов¹, А. К. Уланов¹

¹Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
Министерства науки и высшего образования РФ
ул. Третьякова, 25з, Улан-Удэ 670045, Россия

*E-mail: burniish@inbox.ru

Поступила в редакцию 11.04.2023 г.

После доработки 15.05.2023 г.

Принята к публикации 15.08.2023 г.

В полевом агрохимическом опыте исследовали потенциал продуктивности культур и баланс элементов питания в зернопаровом севообороте с чередованием культур пар—пшеница—овес—овес на зерносе-наж в условиях усиления аридизации климата сухостепной зоны Бурятии. Выявлено, что основное внесение N40P40 под зерновые культуры и N40P40K40 под кормовую (овес на зерносе-наж) было наиболее эффективным среди минеральных вариантов и равным по действию и после-действию внесения навоза 40 т/га и органо-минерального удобрения навоз 10 т/га + N50P25K60. Бездефицитный баланс азота получен при внесении навоза в дозе 11 т/га севооборотной площади. Применение рекомендуемой дозы минеральных азотных удобрений 30 кг/га не возмещало потерь азота, его дефицит составлял 12 кг/га в год. Положительный баланс фосфора получен при внесении фосфорных удобрений в дозе 33 кг/га, а также действия и последствие навоза 11 т/га. Калийный режим почв в опыте был наиболее дефицитен, варианты применения калийных удобрений (30 кг/га пашни севооборота), органических и органо-минеральных удобрений не смогли восполнить потери калия в севообороте.

Ключевые слова: каштановая почва, система удобрений, урожайность культур, баланс элементов пи-тания, сухая степь, Бурятия.

DOI: 10.31857/S0002188123110030, **EDN:** PPPRTD

ВВЕДЕНИЕ

Баланс питательных веществ является науч-ной основой для разработки системы удобрения в севооборотах. Расчет его статей позволяет опре-делить не только направленность его динамики, но способы сохранения и повышения потенци-ального плодородия почв. Между тем, экономи-ческие условия, сложившиеся в аграрном секторе Сибири с конца 1990-х гг., позволяли вести лишь экстенсивную и ординарную систему земледелия [1]. Поэтому устойчивый отрицательный баланс питательных веществ сложился не только в ари-дных зонах, но и в зернопроизводящих регионах [2].

Каштановые почвы являются основными в па-хотном фонде республики Бурятия и занимают более половины его площади (309 тыс. га). Ана-лиз результатов агрохимических опытов, прове-денных в различных земледельческих зонах стра-ны, определил для почв аридных и субаридных территорий необходимость положительного ба-

ланса азота и фосфора, и бездефицитного — калия [3]. Результаты полевых исследований в зернопа-ровом и зернопарокормовом севооборотах в сухо-степной зоне Бурятии (1967—1997 гг.) позволили заключить, что положительный баланс азота на-ступал лишь при внесении навоза КРС в дозе 10—17 т/га севооборотной площади. Органо-мине-ральная и минеральная системы, эквивалентные дозе навоза 10 т/га, приводили к бездефицитному балансу. Применение азотных удобрений в дозе 27—46 кг/га в составе двойных и тройных комби-наций не возмещало потерь азота. В отличие от азо-та, положительный баланс фосфора обеспечивали не только эти дозы органических и органо-мине-ральных удобрений, но и минеральные фосфаты в дозе P38, бездефицитный баланс элемента наступал уже при рядковом внесении P_{сд}20 (11 кг/га севообо-ротной площади). Баланс калия в целом был ана-логичен азотному: положительный — при приме-нении органических удобрений и дефицитный —

Таблица 1. Физико-химические свойства почвы опытного участка

Слой почвы, см	рН _{KCl}	Гумус	N _{общ}	P ₂ O ₅ _{подв}	K ₂ O _{обм}	Ca ²⁺	Mg ²⁺
		%		мг/100 г почвы		мг-экв/100 г	
				по Чирикову			
0—20	6.4	1.31	0.09	23.1	10.1	9.4	4.3
20—30	6.0	1.30	0.08	19.8	8.8	8.8	4.8
30—40	6.1	1.08	0.04	18.1	5.8	8.0	3.3

Таблица 2. Характеристика увлажнения вегетационного периода

Характеристика увлажнения			Год (n = 24)
Засуха	экстремальная	ГТК ≤ 0.3	2016, 2017
	сильная	0.3 < ГТК ≤ 0.6	2003, 2010, 2014, 2019
	умеренная	0.6 < ГТК ≤ 0.8	2000, 2009, 2011, 2013, 2018, 2020
	слабая	0.8 < ГТК ≤ 1.0	1999, 2001, 2002, 2005
Обеспеченного увлажнения		1.0 < ГТК ≤ 1.3	2004, 2008, 2012, 2015, 2021
Избыточного увлажнения		ГТК > 1.3	1998, 2006, 2007

при внесении К27 [4]. Условия проведения исследования в первые 30 лет опыта были более благоприятными по увлажнению, чем в последующие годы. В результате усиления аридизации, согласно планетарного тренда изменения климата, в последние десятилетия наблюдали заметное увеличения количества засушливых лет [5].

Цель работы – определение урожайности культур и баланса элементов питания в последние 6 ротаций (1998–2021 гг.) 4-польного зернопарового севооборота с чередованием культур пар–пшеница–овес–овес на зерносеяж при систематическом применении различных систем удобрения в продолжающемся длительном полевом агрохимическом опыте.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Опыт размещен на опытном поле Бурятского НИИСХ в южной сухостепной зоне Республики Бурятия (п. Иволгинск). Показатели плодородия исходной супесчаной мучнистокарбонатной малогумусной супесчаной каштановой почвы соответствовали средним параметрам зональных почв (табл. 1): нейтральной реакцией среды, очень низким содержанием гумуса и общего азота, малой суммой поглощенных оснований, высоким содержанием подвижного фосфора и повышенным – обменного калия.

Климатические условия в период исследования оценивали по величине ГТК за май–июль по Селянинову в классификации Улановой [6]. В су-

хой степи Забайкалья это наиболее критический период, в наибольшей степени определяющий продуктивность зерновых культур [7]. Засухи в период исследования отмечали в течение 16-ти из 24-х лет, или в 67% случаев. Из них экстремальная и сильная засухи наступали в 25% случаев, умеренная – в 25% и слабая – в 17% случаев. Отметим, что эффект экстремальных и сильных засух имел пролонгированное действие, особенно при периодическом их наступлении. Периоды обеспеченного увлажнения отмечали в 21%, избыточного – в 12% случаев (табл. 2). Сумма годовых осадков в среднем за время наблюдений составляла 236 мм, при этом основная их масса (>70%) выпадала во второй половине лета.

В период исследования прошло 6 ротаций зернопарового севооборота. Для определения баланса было выбрано 7 вариантов систем удобрения: минеральная – N40P40, P40K40, N40K40, N40P40K40; органическая – навоз 20 и 40 т/га; органо-минеральная – навоз 10 т/га + N50P25K60 (эквивалентно навозу 10 т/га) в сравнении с контролем без удобрений. Минеральные удобрения (N_{аа}, P_{сд}, K_х) вносили ежегодно под вспашку весной, органические (навоз КРС с содержанием NPK соответственно 50, 25 и 60 кг/т), а также органо-минеральные – один раз в ротацию под перепашку пара. Опыт входит в систему Географической сети опытов с удобрениями (№ 100). Повторность в опыте четырехкратная, площадь делянок 100 м².

Баланс основных элементов (NPK) рассчитывали на основе методических указаний и реко-

мендаций, а также корректировки отдельных показателей с учетом результатов региональных исследований [8]. Приход элементов питания с удобрениями определяли по дозе ежегодного внесения действующего вещества удобрений (кг) или навоза (т) на 1 га севооборотной площади и количеству лет в изученном периоде. Общий вынос элементов рассчитывали по формуле: $P_{\text{вын}} = U_0 - Co + U_{\text{пСп}}$, где U_0 – урожайность зерна пшеницы и овса при влажности 14% (ц/га), $U_{\text{п}}$ – урожайность соломы пшеницы и овса при влажности 17% (ц/га), Co и Sp – содержание элемента в основной и побочной продукции (%). Для овса, убранный на зеленую массу и зерносеяж, формула имела вид: $P_{\text{вын}} = U_0 Co$, где U_0 – урожайность зеленой массы овса (ц/га), Co – содержание элемента в зеленой массе (%). В отдельные годы овес не давал зерна и учитывали его зеленую массу. Для приведения зеленой массы овса и зерносеяжа от уборочной (55%) к стандартной влажности применяли понижающий коэффициент 0.54.

Расчет баланса азота наиболее сложен из-за особенностей его биогеохимического цикла. Азот поступал в почву с органическими ($Поу$) и минеральными удобрениями ($Пму$), семенами ($Пс$), осадками ($По$) и в результате несимбиотической азотфиксации ($Пн$). В расходные статьи баланса были включены потери азота за счет выноса хозяйственной продукцией ($P_{\text{вын}}$), вымывания вниз по профилю ($P_{\text{выш}}$), плоскостного смыва и дефляции ($P_{\text{эр}}$) и денитрификации ($P_{\text{г}}$). Потери за счет выноса сорняками не учитывали, т.к. их рост подавляли на ранних стадиях развития. Приход азота с семенами при среднем содержании азота в зерне пшеницы 2.3% и овса 1.9% и норме высева в 200 кг/га составлял 3.0 кг/га. Приход азота с осадками был принят в размере 6.9 кг/га при среднем содержании аммиака в атмосферных осадках 0.3 мг/л. Однако с учетом размеров эмиссии при испарении непродуктивных осадков, размеры его включения в биотический цикл составили 3.8 кг/га [9]. Размеры азотфиксации учитывали только для свободноживущих диазотрофов, т.к. симбиотические отсутствовали, а вклад ассоциативных был очень мал [10]. В нашем опыте эти показатели составили 4.5 и 7.5 кг/га соответственно в безазотных вариантах и при применении азотсодержащих (минеральных и органических) удобрений. Потери от выщелачивания на пашне каштановых почв, по данным проектных внутрихозяйственных обследований ГСАС “Бурятская”, составляли в среднем 5 кг N/га, а от эрозионно-дефляционных процессов – 6 кг N/га. Газообразные потери за счет денитрификации были незначительными и составляли в среднем

6 кг/га. Подобное обусловлено как малым стартовым содержанием нитратов при посеве (3.0–10 мг/кг) с понижающим трендом его динамики в летний период, так и низкой влажностью бесструктурной или малооструктурной почвы в вариантах опыта [11–13]. При сокращении статей уравнения баланса азота (B_N , кг/га) имели вид для вариантов:

с азотными удобрениями: $B_N = (Пму + Поу) - P_{\text{вын}} - 2.7$;

без азотных минеральных и органических удобрений: $B_N = (Пму + Поу) - P_{\text{вын}} - 5.7$.

Баланс фосфора (B_P , кг/га) состоял из меньшего количества статей, что связано с особенностями круговорота фосфатов в системе почва–растение–удобрение. С семенами поступало 1.5 кг/га, а обобщенные эрозионно-дефляционные потери составляли 1.6 кг/га год. При компенсации статей баланс фосфора определяли как: $B_P = (Пму + Поу) - P_{\text{вын}}$.

Баланс калия (B_K , кг/га) имел свои особенности, связанные с химическими свойствами солей калия. К приходным статьям относили поступление с семенами (0.9 кг/га) и осадками (1.8 кг/га). Потери калия за счет выщелачивания (1.2 кг/га) и смыва (2.5 кг/га) частично компенсировались его поступлением с семенами и осадками. Остатком в расходной части в 1 кг K_2O /га/год сочли целесообразным пренебречь из-за его малозначимости. В итоге баланс определяли как: $B_K = (Пму + Поу) - P_{\text{вын}}$.

Размеры средних постоянных потерь элементов питания от выщелачивания, эрозии и дефляции приняты согласно нормативным данным ГСАС “Бурятская”, размеры несимбиотической азотфиксации, газообразные потери и поступление с осадками определены согласно нормативам [14, 15]. Средневзвешенный химический состав растений в вариантах опыта был рассчитан на основе анализа химического состава растительной продукции в длительном опыте БурятНИИСХ. Интенсивность баланса рассчитывали как соотношение приходной и расходной частей, выраженное в %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дефицит почвенного и атмосферного увлажнения, а также азотного питания являются основными причинами, лимитирующими урожайность полевых культур на каштановых почвах Бурятии. Урожайность культур зернопарового севооборота зависела от условий увлажнения периода май–июль, вида и доз внесенных удобрений. Азот яв-

Таблица 3. Урожайность культур зернопарового севооборота (среднее за 1998–2021 гг.), ц/га

Вариант	Урожайность зерна				Зерносенажная масса овса	
	пшеница		овес			
	$M \pm m$	$V, \%$	$M \pm m$	$V, \%$	$M \pm m$	$V, \%$
Контроль без удобрений	9.6 ± 0.9	48.6	8.5 ± 1.3	60.5	44.1 ± 5.9	66.0
N40P40	12.3 ± 1.6	41.7	12.8 ± 2.2	69.5	74.6 ± 9.8	64.8
P40K40	10.1 ± 1.1	54.4	9.1 ± 1.3	59.2	55.2 ± 7.3	64.9
N40K40	10.6 ± 1.4	64.3	12.1 ± 2.1	70.3	74.5 ± 9.5	62.3
N40P40K40	11.8 ± 1.6	40.1	13.0 ± 2.4	77.6	83.8 ± 12.1	70.8
Навоз 40 т/га	12.8 ± 1.9	43.6	13.5 ± 2.7	82.3	78.3 ± 10.5	66.0
Навоз 20 т/га	12.3 ± 1.7	68.5	12.4 ± 2.2	73.7	58.5 ± 9.5	64.9
Навоз 10 т/га + NPK	12.0 ± 2.0	75.4	13.5 ± 2.7	81.2	79.1 ± 11.6	71.8
HCP_{05}	1.8		2.3		13	

ляется наиболее дефицитным элементом, он эффективен как в условиях засухи, так и при хорошем увлажнении. Эффективное действие фосфорных удобрений отмечали лишь в условиях от слабой засухи до избыточного увлажнения, а калийных — только при обеспеченном и избыточном увлажнении [16]. Значительные вариации метеорологических условий вызвали и очень высокую изменчивость урожайности культур (табл. 3). При этом в большей степени от засух страдали 2-я и 3-я культуры после пара, как наименее обеспеченные почвенной влагой. Урожайность овса на зерно и зерносенаж практически полностью зависела от прихода атмосферных осадков, поэтому в отдельные годы, при наступлении экстремальных и сильных засух, его не учитывали.

Наименьшая урожайность пшеницы после пара получена в контрольном варианте. Внесение азотных удобрений в составе двойного удобрения N40P40 позволило существенно повысить урожайность, а действие фосфорных, калийных и фосфорно-калийных удобрений не дало существенной прибавки. В опыте получены равные урожайности при применении органических (в дозах 20 и 40 т/га) и органо-минеральных удобрений, которые были сопоставимы с ежегодным внесением N40P40.

Овес, возделываемый 2-й культурой, испытывал последствие органических и органо-минеральных удобрений. Действие фосфорно-калийных удобрений было сопоставимо с вариантом без удобрений. Применение азотных и органических удобрений позволило существенно повысить урожайность овса. Между тем, в опыте не было выявлено достоверных различий между вариантами, в которых вносили азот, их средняя урожайность находилась в пределах 12.1–13.5 ц/га.

Анализ урожайности овса на зерносенаж подтвердил ранее выявленные тенденции действия минеральных и последствие 2-го года органических удобрений [16]. Максимальная урожайность зерносенажной массы получена в вариантах внесения полного минерального (N40P40K40), последствие 2-го года органических (40 т/га) и органо-минеральных (навоз 10 т/га + NPK) удобрений; минимальная — в контроле. Высокое содержание калия в зерносенажной массе обеспечило не только эффективность внесения в составе трехкомпонентных удобрений, но и эффект ежегодного внесения P40K40, сопоставимого с последствием 2-го года дозы навоза 20 т/га.

Условия вегетации растений в период исследования отличались большей засушливостью с мая по 1-ю декаду июля, что снизило такие элементы продуктивности как полевая всхожесть, число колосков и цветков. Например, если средняя урожайность пшеницы в опыте в предыдущие 30 лет (1968–1997 гг.) составлял 21 ц/га, то в период с 1998 по 2021 г. она снизилась до 11 ц/га. Сокращение валового сбора зерна обычно усиливает активность баланса элементов питания, однако в нашем опыте этого не произошло (табл. 4). Основной причиной подобного явилось то, что 2-я культура (овес после пшеницы) в силу сухой первой половины вегетации и более влагообеспеченной второй давал 2-ю волну всходов, интенсивный подгон и в 35% случаев его убирала на зеленую массу. Значительная зеленая масса овса, составлявшая в среднем 72 ц/га, обеспечила больший вынос элементов в целом в севообороте в этом относительно засушливом цикле лет.

Баланс азота изменялся в соответствии с дозами внесенных удобрений. Наибольший дефицит азота отмечали в вариантах без применения азот-

Таблица 4. Среднегодовой баланс элементов питания в зернопаровом севообороте

Вариант	Внесено удобрений на 1 га пашни севооборота	Баланс, $\pm$ кг/га			Интенсивность баланса, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль без удобрений	Без удобрений	–25	–11	–34	31	12	3
N40P40	N30P33	–13	17	–58	68	208	2
P40K40	P33K30	–28	18	–13	28	236	69
N40K40	N30K30	–12	–12	–29	70	21	50
N40P40K40	N30P33K30	–18	12	–39	62	164	42
Навоз 40 т/га	Навоз 11.1 т/га	8	18	–16	117	192	80
Навоз 20 т/га	Навоз 6.1 т/га	–10	3	–28	76	119	56
Навоз 10 т/га + NPK	Навоз 3.0 т/га + N16P9K19	–24	–6	–41	55	73	45

Таблица 5. Среднегодовой вынос элементов питания урожаем культур в зернопаровом севообороте, кг/га

Вариант	Пшеница			Овес			Овес на зерносеуж		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль без удобрений	29.0	11.0	14.1	25.1	10.3	32.1	26.2	12.6	51.7
N40P40	43.3	10.6	19.3	42.9	14.3	43.2	48.2	21.1	96.0
P40K40	30.1	12.2	16.0	24.7	11.8	31.0	32.6	17.5	68.1
N40K40	37.9	11.0	16.2	39.0	12.9	39.3	50.6	20.3	100
N40P40K40	43.3	10.7	17.7	43.5	16.7	45.8	58.0	29.0	118
Навоз 40 т/га	44.8	13.7	21.1	47.8	19.3	52.5	57.8	27.0	144
Навоз 20 т/га	40.0	13.5	19.3	42.0	16.6	45.6	47.3	22.9	110
Навоз 10 т/га + NPK	40.7	11.7	18.2	42.3	16.0	44.7	53.0	26.3	116

ных удобрений: контроль (–25 кг N/га, интенсивность 31%), P33K30 (–28 кг/га, интенсивность 28%). Внесение средней дозы N40 значительно снизило дефицит баланса. При этом больший эффект получен при внесении одних фосфорных (–13 кг/га) и калийных (–12 кг/га), чем фосфорно-калийных удобрений (–18 кг/га). Подобное было связано с большим выносом урожаем, при внесении полного минерального удобрения (табл. 5). Бездефицитный баланс азота отмечен при внесении навоза 40 т/га.

Баланс фосфора был менее дефицитным, чем азота и калия, что обусловлено его меньшим содержанием в продукции. При малых и средних урожаях, внесенные фосфаты в составе минеральных и органических удобрений полностью восполняли его дефицит. Снижение дефицита элемента было обусловлено также низкой миграционной способностью фосфатов удобрений. Отрицательный баланс отмечен лишь в вариантах без удобрений и внесения N40K40, дефицит не превышал 12 кг/га. За 24 года применение минеральных фосфорных удобрений в дозе P40 обеспечило активный баланс фосфора: ((+12)–(+18) кг/га, интенсивность 160–240%). При этом больший расход фосфора удобрений отмечен при

его внесении в составе полного минерального удобрения, меньший – при его внесении в парных сочетаниях с азотными и калийными удобрениями. Органические (навоз 20 т/га) и эквивалентные этой дозе органо-минеральные (навоз 10 т/га + NPK) удобрения показали сходные показатели баланса, близкие к нулевому (14–(–6) кг/га, интенсивность 120–73%). Увеличение дозы навоза от 20 до 40 т/га повысило баланс фосфора в 6 раз. Подобное было связано с диспропорцией в поступлении и выносе фосфора в этих вариантах.

Наиболее дефицитный баланс сложился для калия. Подобное обусловлено тем, что продуктивность севооборота в большей степени обеспечивалась за счет кормовой культуры – овса, заготавливаемого на зерносеуж. Урожайность зерносеужной массы при приведении ее к стандартной влажности была сопоставима по массе с суммарным хозяйственным урожаем зерновых культур – пшеницы и овса. Высокая продуктивность в структуре севооборота в сочетании с повышенным содержанием калия в зерносеужной массе (2.0–2.9%) значительно повысили вынос элемента и соответственно дефицит его баланса относительно других элементов. Наибольший дефицит K₂O (–58 кг/га, интенсивность 2%) получен при внесении N40P40.

Столь низкие показатели обусловлены отсутствием калийных удобрений при относительно высокой урожайности зеленой массы овса (в среднем 74 ц/га). Снижение дефицита до -39 кг/га обеспечило внесение калия в составе полного минерального и органо-минерального удобрений. Повышение дозы калия в составе органических удобрений в 2 раза (навоз 20 и 40 т/га) позволило лишь сократить дефицит баланса от -28 до -16 кг/га. Баланс калия зависел от доз калийных удобрений и продуктивности зеленой массы овса, обладавших разнонаправленным действием на его активность. Повышение доз снижало его дефицит, а рост урожайности — увеличивал. Действие этих факторов было одинаковым для дефицита баланса калия в вариантах контроль и N40P40K40.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях усиления аридизации климата в период исследования снизилась урожайность культур севооборота, и изменилась эффективность действия удобрений. Выявлено, что применение минеральных (N40P40), органических (навоз 20 и 40 т/га) и органо-минеральных (навоз 10 т/га + NPK) удобрений оказывало равное действие на увеличение урожайности пшеницы. Аналогичное действие оказали все азотсодержащие минеральные и органические удобрения и на урожайность овса на зерно. Действие фосфорных, калийных и фосфорно-калийных удобрений не давало существенной прибавки урожайности зерновых культур. Максимальную урожайность зерносенажной массы овса обеспечило внесение полного минерального (N40P40K40), последействия 2-го года навоза 40 т/га и органо-минеральных удобрений. Высокое содержание калия в продукции определило эффективность применения калийных удобрений под эту культуру.

Бездефицитный баланс азота получен лишь при внесении органических удобрений в дозе 11 т/га севооборотной площади. Выявлено, что применение минерального азота в дозе N30 не возмещало выноса элемента урожаем, дефицит составил 12 кг/га. Баланс фосфора был наименее дефицитным. Положительный баланс был получен во всех вариантах применения фосфорных удобрений в дозе P33, он изменялся от 12 до 18 кг/га. Сходный эффект был получен при внесении навоза 11 т/га. Все варианты применения калийных минеральных (K30), органических (навоз 6—11 т/га) и органо-минеральных (навоз 3 т/га + K19) не обеспечили возмещения затрат калия. Наименьший его дефицит был отмечен при применении P40K40 (-13 кг/га) и навоза в дозе 11 т/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамзиков Г.П. Современное состояние плодородия сибирских почв и перспективные агрохимические направления его сохранения // Мат-лы XI Международ. симп. НП "Содружество ученых агрохимиков и агроэкологов". М.: ВНИИА, 2017. С. 28—45.
2. Сычев В.Г., Шафран С.А. О балансе питательных веществ в земледелии России // Плодородие. 2017. № 1 (94). С. 1—4.
3. Юркин С.Н. Баланс азота, фосфора и калия в условиях интенсификации земледелия. М.: ВНИИТЭИСХ, 1975. 107 с.
4. Лапухин Т.П. Система применения удобрений в полевых севооборотах на каштановых почвах сухой степи Забайкалья: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Барнаул, 2000. 40 с.
5. Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К., Хутакова С.В. Агрофизические свойства и динамика влажности каштановой почвы в условиях засухи в сухостепной зоне Бурятии // Вестн. НГАУ. 2017. № 1 (42). С. 77—83.
6. Уланова Е.С. Засухи в СССР и их влияние на производство зерна // Метеорол. и гидрол. 1988. № 7. С. 127—134.
7. Цыбенков Б.Б., Билтуев А.С. Формирование урожайности яровой пшеницы в аридных условиях Бурятии // Вестн. КрасГАУ. 2016. № 6 (117). С. 120—125.
8. Составление проекта на применение удобрений: Рекомендации. М.: МСХ РФ, 2000. 125 с.
9. Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями. Влияние дождевых осадков на загрязнение сельскохозяйственных угодий (по данным локального мониторинга). Вып. 14. М.: ВНИИА, 2013. 30 с.
10. Мишустин Е.Н., Черепков Н.И., Калининская Т.А. Несимбиотической азотфиксации в пахотных почвах // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 92—96.
11. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 266 с.
12. Кудяров В.Н., Кузнецова Т.В. Оценка размеров несимбиотической азотфиксации в почве методом баланса // Почвоведение. 1990. № 11. С. 79—89.
13. Myrold D.D. Soil nitrogen cycle // Encyclopedia of environmental microbiology. Canada: G. Ditton, 2002. P. 2936—2944.
14. Методические рекомендации по изучению показателей плодородия почв, баланса гумуса и питательных веществ в длительных опытах. М.: Почв. ин-т им В.В. Докучаева, 1987. 80 с.
15. Сычев В.Г., Музыкантов П.Д., Панкова Н.К. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: ЦИНАО, 2000. 40 с.
16. Лапухин Т.П., Билтуев А.С., Рузавин Ю.Н. Влияние климатических факторов на зерновую продуктивность овса в условиях сухостепной зоны Бурятии // Длительное применение удобрений. Агрохимические, агрономические и экологические аспекты: науч. тр. Новосибирск: РАСХН, СО, 2011. С. 83—89.

Crop Yield and Balance of Nutrition Elements in the Grain-Steam Crop Rotation in the Conditions of the Dry Steppe of Buryatia

A. S. Biltuev^{a,#}, L.-Z. V. Budazhapov^a, and A. K. Ulanov^a

^a*Buryat Scientific Research Institute of Agriculture Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
ul. Tretyakova 25z, Ulan-Ude 670045, Russia*

[#]*E-mail: burniish@inbox.ru*

In the field agrochemical experiment, the potential of crop productivity and the balance of nutrition elements in the grain–steam crop rotation with alternating crops of steam–wheat–oats–oats per grain crop under conditions of increased aridization of the climate of the dry-steppe zone of Buryatia were investigated. It was revealed that the main application of N40P40 for grain crops and N40P40K40 for fodder (oats for grain planting) was the most effective among the mineral options and equal in effect and aftereffect to the application of manure 40 t/ha and organo-mineral fertilizer manure 10 t/ha + N50P25K60. A deficiency-free nitrogen balance was obtained when manure was applied at a dose of 11 t/ha of crop rotation area. The use of the recommended dose of mineral nitrogen fertilizers of 30 kg/ha did not compensate for nitrogen losses, its deficit was 12 kg/ha per year. A positive phosphorus balance was obtained when applying phosphorus fertilizers at a dose of 33 kg/ha, as well as the effects and aftereffects of manure 11 t/ha. The potash regime of soils in the experiment was the most deficient, the use of potash fertilizers (30 kg/ha of arable crop rotation), organic and organo-mineral fertilizers could not compensate for the loss of potassium in crop rotation.

Keywords: chestnut soil, fertilizer system, crop yield, balance of nutrients, dry steppe, Buryatia.