

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФОСФАТНОГО РЕЖИМА КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ЗАБАЙКАЛЬЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

© 2021 г. А. С. Билтуев^{1,*}, Л. В. Будажапов¹, А. К. Уланов¹

¹ Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
670045 Улан-Удэ, ул. Третьякова, 25з, Россия

*E-mail: global@burniish.ru

Поступила в редакцию 03.02.2021 г.

После доработки 18.02.2021 г.

Принята к публикации 11.05.2021 г.

В длительном агрохимическом опыте исследовали влияние различных систем удобрения в зернопаровом севообороте на фосфатный режим каштановой почвы Забайкалья. Изменение содержания валового фосфора, состава минеральных фосфатов, количества подвижного фосфора за 46-летний период наблюдений определяли в вариантах: без удобрений, N40P40K40, навоз 40 т/га. В контрольном варианте отмечено уменьшение содержания валового фосфора на 11% от исходного содержания, наименьшее количество минеральных фосфатов и подвижного фосфора. Применение минеральной системы удобрения снизило валовые потери фосфора до 4%, повысило содержание суммы минеральных фосфатов и наиболее легкодоступных растениям их фракций относительно контроля, способствовало сохранению содержания подвижного фосфора на исходном уровне. Органическая система удобрения увеличила содержание валового фосфора на 10% в сравнении с исходной почвой. Сумма минеральных фосфатов относительно контроля и минеральной системы удобрения возросла на 42 и 20%, аналогичное увеличение содержания легкодоступных фракций составило 88 и 19%. Содержание подвижного фосфора в этом варианте было наибольшим в опыте, внесение навоза увеличило его количество на 47 и 30% относительно контроля и применения N40P40K40. Выявлено влияние количества продуктивной влаги в 1-метровом слое почвы на содержание подвижного фосфора в пахотном слое в вариантах минеральной и органической систем удобрения. В контроле без удобрений обнаружена слабая связь между величинами продуктивной влаги в слое 0–20 см почвы и урожайностью культур. Значимых связей урожайности культур с содержанием подвижного фосфора в почве не выявлено.

Ключевые слова: каштановая почва, система удобрения, фосфатный режим, Забайкалье.

DOI: 10.31857/S0002188121080044

ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров сухостепных территорий Республики Бурятия представлен в основном средне- и маломощными каштановыми почвами, которые занимают 1/3 пахотного клина. Между тем, в последние годы эти почвы массово выводят из обработки, что связано с низкой рентабельностью производства продукции растениеводства. Их низкое плодородие обусловлено сочетанием отдельных агрохимических, агрофизических свойств при неблагоприятном режиме увлажнения. Типичная весенне- и раннелетняя засуха и малое количество органического вещества вызывают в первую очередь дефицит азотного питания, во вторую – фосфорного [1–3].

Режим фосфатов каштановых почв Забайкалья изучали фрагментарно, в основном их валовое количество и содержание подвижного фосфора. По результатам ряда исследований, содержание валового фосфора в пахотном слое находится в пределах 1700–1900 мг/кг почвы, при содержании его минеральных форм на уровне 36–44% [4–8]. По данным последнего тура агрохимических обследований, 75% пашни в Республике Бурятия обеспечено содержанием подвижного фосфора от повышенного до очень высокого [9]. Подобная региональная особенность обусловлена высоким содержанием в почвообразующих породах фосфорсодержащих минералов – фторфосфатов кальция [10, 11].

Проблема фосфорного питания растений для степного земледелия Западного Забайкалья ме-

Таблица 1. Показатели плодородия пахотного слоя почвы в различных вариантах применения удобрений

Вариант	рН _{Н₂О}	Гумус, %	N _{общ}	P ₂ O ₅ _{подв}	K ₂ O _{обм}
				(по Чирикову)	
			мг/кг		
Контроль	6.9 ± 0.1	0.87 ± 0.08	720 ± 59	152 ± 5	72.0 ± 4.7
N40P40K40	6.7 ± 0.1	1.05 ± 0.10	810 ± 69	247 ± 7	89.3 ± 4.7
Навоз 40 т/га	6.9 ± 0.1	1.71 ± 0.12	1050 ± 110	269 ± 8	174 ± 6

нее актуальна, нежели азотного. Между тем, при достаточной обеспеченности каштановых почв этим элементом, полевые культуры проявляли отзывчивость на внесение минеральных фосфатов с азотными и калийными удобрениями в составе двух- и трехкомпонентных смесей [12–14].

Антропогенное воздействие изменяет фосфатное состояние почв, условия минерального фосфорного питания. При этом наиболее существенное влияние на фосфатный режим почв оказывает внесение минеральных и органических удобрений. Для изучения различных аспектов применения удобрений на каштановых почвах в центральной сухой степи Бурятии в течение более 50 лет проводится длительный агрохимический опыт Бурятского НИИСХ. Цель работы – определить влияние систематического применения удобрений на фосфатный режим каштановой почвы в условиях длительного стационарного опыта. Изучение фосфатного фонда каштановых почв проводили для определения влияния длительного применения минеральной и органической систем удобрения на валовое содержание, групповой состав минеральных фосфатов почвы и содержание подвижного фосфора в пахотном слое.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение фосфатного фонда каштановых почв проводили в продолжающемся длительном полевом агрохимическом опыте Географической сети, заложенном в 1967 г. в центральной сухостепной зоне Бурятии по инициативе Г.П. Колмакова при методическом руководстве ВИУА им. Д.Н. Прянишникова. В качестве реперных вариантов были выбраны варианты: контроль – без удобрений, N40P40K40, навоз 40 т/га (N200P150K240). Минеральные удобрения (N_{аа}, P_{сд}, K_х) вносили ежегодно под весеннюю вспашку, органические – под перепашку пара. Севооборот зернопаровой: пар–пшеница–овес–овес на зерносеяж. Учетная площадь делянок 100 м², повторность в опыте четырехкратная. Агротехника возделывания куль-

тур – общепринятая для сухостепной зоны Республики Бурятия [15].

Почва опытного участка – каштановая мучнисто-карбонатная среднemoshная супесчаная. Плодородие почв – низкое, пахотный слой характеризовался близкой к нейтральной реакцией среды, низким содержанием гумуса и общего азота. Содержание подвижного фосфора изменялось в вариантах опыта от высокого в контроле до очень высокого в удобренных вариантах; калия – от среднего в контроле, до повышенного при применении N40P40K40 и высокого – в органическом варианте (табл. 1).

Климат зоны – резко континентальный, дефицит атмосферного и почвенного увлажнения является основным фактором, лимитирующим продуктивность культур. В период проведения опыта (1967–2016 гг.) в среднем за период с мая по сентябрь количество выпавших осадков составило 198.6 ± 9.1 мм. ГТК по Селянинову с мая по август возрастал соответственно от 0.7 в мае до 0.8 – в июне и 1.2 – в июле и августе. Территория характеризуется укороченным периодом биологической активности почв, с максимумом в период 2-я декада июля–2-я декада августа. В среднем, запасы продуктивной влаги в почве оценили как плохие или неудовлетворительные, весной в паровом поле они составляли 19.5 ± 1.8 мм (слой 0–20 см), 54.7 ± 4.5 мм (слой 0–50 см), 134.3 ± 6.8 мм (слой 0–100 см).

Содержание гумуса определяли по Тюрину, общий азот – по Кьельдалю, рН_{Н₂О} – потенциометрическим методом [16], валовое содержание фосфора в почве – фотометрическим методом с разложением почвы фтористоводородной кислотой (ГОСТ 26261-84). Актуальные и потенциальные возможности почв в снабжении растений фосфорным питанием определяли методом разделения минеральных фосфатов почвы по Чанг–Джексону в модификации Гинзбург–Лебедевой [17]. Количество остаточных фосфатов от применения удобрений в различных фракциях рассчитывали по разнице содержаний P₂O₅ в удобрен-

Таблица 2. Изменение содержания валового фосфора в слое 0–20 см каштановой почвы при длительном применении удобрений (1967–2016 гг.)

Вариант	Среднегодовая доза P ₂ O ₅ , кг/га севооборотной площади	P ₂ O ₅ валовый, мг/кг	ΔP ₂ O ₅ валовый, мг/кг			
			к исходной		к контролю	
			мг/кг	%	мг/кг	%
Исходная почва	–	1700	–	–	–	–
Контроль	–	1510	–190	–11.1	–	–
N40P40K40	40	1625	–75	–4.4	114	7.5
Навоз 40 т	39	1880	180	10.4	366	24.2
<i>HCP</i> ₀₅		42				

Таблица 3. Фракционный состав минеральных фосфатов каштановой почвы при систематическом применении удобрений в 4-польном севообороте (1967–2016 гг.)

Фракция фосфатов		Содержание P ₂ O ₅ в вариантах опыта, мг/100 г почвы					
		контроль		N40P40K40		навоз 40 т/га	
		мг/100 г	%	мг/100 г	%	мг/100 г	%
I	Ca–P _I	2.8	3.6	7.0	7.5	9.0	8.0
II	Ca–P _{II}	4.8	6.1	5.5	5.9	7.9	7.1
III	Al–P	3.7	4.7	5.1	5.5	5.4	4.8
IV	Fe–P	5.6	7.1	9.1	9.8	9.6	8.6
V	Ca–P _{III}	61.5	78.4	66.5	71.4	80.0	71.5
Сумма		78.4	100	93.2	100	112	100

ном варианте и в контроле. Содержание подвижного фосфора определяли в паровом поле до внесения удобрений по методу Чирикова (ГОСТ 26204-91). Статистическую обработку данных провели стандартными методами [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Валовое содержание фосфора в каштановой почве при длительном систематическом применении удобрений (1967–2016 гг.) изменялось в зависимости от вида и доз удобрений. После 46 лет их внесения произошли существенные изменения количества валового фосфора (табл. 2).

В контрольном варианте отмечено значительное снижение содержания валового фосфора относительно исходного уровня, его содержание в слое 0–20 см почвы сократилось на 11.1%. За это время каждый гектар потерял 869 кг P₂O₅, в основном за счет выноса фосфора растениями и выдувания пылеватых фракций, ила и органического вещества из пахотного горизонта. Внесение минеральных удобрений способствовало повышению содержания фосфора относительно контроля, однако полного его возмещения до исход-

ного состояния при внесении дозы P40 в составе полного минерального удобрения не произошло (–4.4%). Увеличение содержания валового фосфора наблюдали при внесении органических удобрений, внесение в паровое поле навоза 40 т позволило повысить его содержание на 24.2% относительно контроля и на 10.4% от исходного состояния. Применение минеральных и органических удобрений приводило к накоплению остаточных фосфатов удобрений, закрепившихся в различных по подвижности фракциях минерального фосфора почвы (табл. 3).

Первые 3 группы фосфатов наиболее подвижны и образуют запас доступного растениям фосфора [10, 13]. Применение удобрений позволило повысить актуальные запасы фосфора относительно варианта без удобрений в ряду: контроль (11.3 мг/100 г) → N40P40K40 (17.6 мг/100 г) → навоз 40 т (22.3 мг/100 г). Подобный характер вовлечения фосфора удобрениями для каштановых почв Бурятии при систематическом применении удобрений отмечен и ранее [7]. Значительная часть фосфора удобрений переходит в менее подвижную, но доступную растениям фракцию железосодержащих фосфатов [19]. В этой фракции аккумулировалось

Таблица 4. Динамика содержания подвижного P_2O_5 в слое 0–20 см при систематическом внесении удобрений в 4-польном севообороте

Вариант	Содержание $P_2O_{5\text{подв}}$ (мг/кг) во времени (год)						$M \pm m$	Прибавка, % к исходному
	1985	1989	1993	1997	2010	2016		
Контроль	211	200	190	182	160	169	185 ± 8	10.3
N40P40K40	219	201	190	195	269	184	210 ± 12	15.0
Навоз 40 т/га	260	263	267	270	352	219	272 ± 18	16.0
HCP_{05}							46	

Примечание. Исходное содержание $P_2O_{5\text{подв}} = 231$ мг/кг (1967 г.).

23.6 и 11.9% остаточных фосфатов минеральных и органических удобрений соответственно. Связывание в наименее доступные аморфные соединения фосфатов происходит тем масштабнее, чем больше остаточных фосфатов и чем дальше они находятся в почве. Ретроградация фосфорных удобрений более выражена для органических удобрений, чем для минеральных, доля связанных с этой фракцией остаточных фосфатов составляла соответственно 55.2 и 33.8%. Количество подвижного фосфора в почве в различных вариантах систематического применения удобрений динамично менялось в зависимости от остаточного количества фосфора удобрений, условий трансформации фосфатов, активности корневой системы растений [20, 21]. Вариабельность показателей была наименьшей в контроле и возрастала к минеральной и органической системам применения удобрений (табл. 4).

Применение удобрений существенно повышало содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы. Ежегодное внесение P40 в составе NPK позволило повысить содержание P_2O_5 на 35 мг/кг (на 14%), а среднегодовое внесение P39 с навозом привело к увеличению подвижного фосфора на 86 мг/кг (на 47%). Подобное явление было связано с большим количеством остаточных фосфатов в варианте применения органических удобрений, как следствие пролонгированного его последствия [7].

Динамика содержания подвижного фосфора зависела не только от его потенциальных запасов, но и ряда факторов биогенного и абиогенного происхождения. В условиях опыта наибольшее значение имели влажность почвы и урожай культур, извлекавший доступный растениям фосфор [7]. В условиях засухи коллоиды почвы адсорбируют фосфаты, что приводит к снижению их подвижности. При определении влияния продуктивной влаги в различных слоях почвы на содержание подвижного фосфора в пахотном слое было выявлено, что эти зависимости отличались

в вариантах применения удобрений. В контрольном варианте была выявлена слабая прямая связь содержания $P_2O_{5\text{подв}}$ с величиной продуктивной влажности в слое 0–20 см ($r = 0.22$), с влажностью почвы в слоях 0–50 и 0–100 см весной перед отбором проб связь не отмечали. Применение минеральных фосфорных удобрений выявило среднюю по величине связь содержания подвижных фосфатов с содержанием продуктивной влаги в слое 0–100 см весной перед отбором проб и осенью предыдущего года ($r = 0.41$ и 0.45) соответственно. Аналогичные зависимости усиливались под влиянием применения органических удобрений ($r = 0.60$ и 0.70). Вероятно, подобное связано с размерами биогенной аккумуляции фосфатов с глубины 1 м к поверхности почвы. Условия увлажнения к моменту уборки культур определяли условия роста корневой системы в целом за вегетативный период. Отметим, что в каштановых почвах содержание водорастворимых и рыхлосвязанных фосфатов от поверхности с глубиной до слоя 70–80 см увеличивается [5, 6], при этом применение удобрений способствует росту этих запасов. Чем выше увлажнение, тем мощнее корневая система и соответственно активнее биологический перенос элементов к поверхности.

Влияние урожая предшествующей культуры на содержание подвижного фосфора перед посевом последующей культуры было очень слабым. Определение прогнозных сценариев содержания подвижного фосфора в слое 0–20 см основывается на выявленных сильных связях содержания $P_2O_{5\text{подв}}$ с количеством продуктивной влаги. Для варианта с применением минеральных удобрений модель имела вид логарифмической регрессии вида: $y = 12.0 \ln(x) - 38.43$ ($R^2 = 0.37$), при внесении в пар навоза 40 т/га: $y = 20.3 \ln(x) - 72.4$ ($R^2 = 0.55$), где y – содержание $P_2O_{5\text{подв}}$ весной перед посевом, мг/кг, x – продуктивная влага (мм) в 1-метровом слое осенью предыдущего года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фосфатный режим каштановых почв агрохимического стационара в Забайкалье характеризовался высоким содержанием валового и подвижного фосфора. Длительное возделывание полевых культур без удобрений сократило запасы общего фосфора на 11%, содержание суммы минеральных фосфатов – на 22% в основном за счет сокращения 5-й – наиболее консервативной фракции. Снижение содержания суммы подвижных I–IV фракций на 16% привело к уменьшению количества подвижного P_2O_5 в среднем на 46 мг/кг. Внесение минерального фосфора в дозе P40 в составе полного минерального удобрения не позволило восстановить исходное содержание общего фосфора (–4%) и суммы минеральных фосфатов (–7%), но существенно сократило эти потери относительно контроля. Между тем, увеличивалась подвижность фосфатов почвы, содержание суммы I–IV фракций возросло на 58% относительно контроля, и содержание подвижного фосфора восстановилось до уровня исходной почвы. Органические удобрения в дозе 40 т навоза/га позволили повысить содержание валового фосфора на 10%. Длительное применение навоза 40 т/га привело к увеличению содержания суммы минеральных фосфатов на 42 и 20% относительно контроля и варианта с минеральными удобрениями, аналогичное повышение содержания подвижных фракций составило 88 и 19%. Соответственно этой тенденции повысилось и содержание подвижного фосфора, оно было максимальным в опыте и весной перед посевом пшеницы в среднем составляло 272 мг/кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамзиков Г.П. Условия и факторы сохранения плодородия почв и получения стабильных урожаев полевых культур в сибирском земледелии. Мат-лы научн.-производ. конф. с международ. участием // Сибир. Прянишниковские агрохим. чтения “Плодородие почв и оценка продуктивности земледелия”, Тюмень, 16–20 июля 2018 г. Тюмень: ГАУ Север. Зауралья, 2018. С. 47–57.
2. Будажапов Л.-З.В. Биокинетический цикл азота и оборот азотных пулов. М., 2019. 288 с.
3. Билтуев А.С., Лапухин Т.П., Будажапов Л.-З.В. Климат, плодородие почв и продуктивность зерновых культур в аридных условиях Забайкалья: состояние и прогноз. Улан-Удэ: БГСХА, 2015. 141 с.
4. Запханов Ю.Д. Динамика плодородия пахотных почв Республики Бурятия // Достиж. науки и техн. АПК. 2016. № 10 (30). С. 77–80.
5. Антипина Л.П., Пашикович Н.К. Закономерности распределения фосфора в почвенном покрове Западной Сибири // Фосфатный режим почв Сибири. Новосибирск, 1985. С. 3–9.
6. Осокин П.В., Ишигенов И.А., Лапухин Т.П., Фомин В.А. О некоторых особенностях содержания валового и подвижного фосфора в почвах Бурятии // Почвоведение. 1982. № 12. С. 131–135.
7. Важенин И.Г., Важенина Е.А. Забайкалье (Бурятия и Читинская область) // Агрохимическая характеристика почв СССР. М.: Наука, 1969. С. 5–208.
8. Загузина Н.А. Содержание и формы соединений фосфора и калия в целинных и пахотных почвах Бурятии // Гумус и почвообразование. Л.–Пушкин, 1976. С. 45–53.
9. Абашеева Н.Е. Агрохимия почв Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1992. 214 с.
10. Гамзиков Г.П., Лапухин Т.П., Уланов А.К. Эффективность систем удобрения в полевых севооборотах на каштановых почвах Забайкалья // Агрохимия. 2005. № 9. С. 24–30.
11. Убугунов Л.Л., Лаврентьева И.Н., Убугунова В.И. Разнообразие почв Иволгинской котловины: эколого-агрохимические аспекты. Улан-Удэ: БГСХА, 2000. 208 с.
12. Бекетов С.А. Связь между содержанием подвижного фосфора в почве и эффективностью фосфорных удобрений под пшеницу в условиях Бурятской АССР // Научн. тр. КрасноярскНИИСХ. Т. VI. Красноярск, 1970. С. 137–139.
13. Колмаков Г.П. Дозы, соотношения и рядковое удобрение яровой пшеницы на каштановых почвах // Тр. Бурят. сел.-хоз. опытн. станции. Вып. V. Улан-Удэ, 1970. С. 29–46.
14. Коробцев И.И. Применение удобрений в Бурятии // Почвы бассейна оз. Байкал и пути их рационального использования. Докл. к X Международ. конгр. почвоведов. Улан-Удэ, 1974. С. 237–255.
15. Система земледелия Республики Бурятия. Улан-Удэ: БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2018. 349 с.
16. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
17. Гинзбург К.Е., Лебедева П.Н. Методика определения минеральных форм фосфатов почвы // Агрохимия. 1971. № 1. С. 125–133.
18. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Либроком, 2009. 328 с.
19. Поставская С.М., Гамзиков Г.П. О минеральных фосфатах черноземов Западной Сибири // Почвоведение. 1975. № 1. С. 93–101.
20. Simpson K. Factors influencing uptake of fosforus by crops in southeast Scotland // Soil. Sci. 1961. V. 92. № 4. P. 62–64.
21. Сушеница Б.А. Фосфатный уровень почв и его регулирование. М.: Колос, 2015. 365 с.

Peculiarities of Changes in the Phosphate Regime of Chestnut Soils in Transbaikalia during Long-Term Use of Fertilizers

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

^a Buryat Agricultural Research Institute

ul. Tretyakova 25z, Ulan-Ude 670045, Republic of Buryatia, Russia

[#]E-mail: global@burniish.ru

In a long-term agrochemical experiment, the influence of various fertilizer systems in the grain–steam crop rotation on the phosphate regime of chestnut soil in Transbaikalia was studied. Changes in the content of total phosphorus, the composition of mineral phosphates, and the amount of mobile phosphorus over the 46-year observation period were determined in the following variants: without fertilizers, N40P40K40, manure 40 t/ha. In the control version, a decrease in the total phosphorus content by 11% from the initial content, the least amount of mineral phosphates and mobile phosphorus was noted. The use of the mineral fertilizer system reduced the total loss of phosphorus to 4%, increased the content of the sum of mineral phosphates and their fractions that are most easily accessible to plants relative to the control, and helped to maintain the content of mobile phosphorus at the initial level. The organic fertilizer system increased the total phosphorus content by 10% compared to the original soil. The amount of mineral phosphates relative to the control and mineral fertilizer system increased by 42 and 20%, while the same increase in the content of easily accessible fractions was 88 and 19%. The content of mobile phosphorus in this variant was the highest in the experiment, the introduction of manure increased its amount by 47 and 30% relative to the control and application of N40P40K40. The influence of the amount of productive moisture in a 1-meter layer of soil on the content of mobile phosphorus in the arable layer in the variants of mineral and organic fertilizer systems was revealed. In the control without fertilizers, a weak relationship was found between the values of productive moisture in the 0–20 cm layer of soil and crop yield. No significant relationships between crop yield and the content of mobile phosphorus in the soil were found.

Key words: chestnut soil, fertilizer system, phosphate regime, Transbaikalia.