

Агрoхимия. Почвоведение

УДК 631.83 : 631.46

DOI: 10.31857/S2500262721010075

ИЗМЕНЕНИЕ ФОСФАТНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПРИ СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

В.С. Бойко¹, доктор сельскохозяйственных наук,
А.Ю. Тимохин¹, кандидат сельскохозяйственных наук,
В.Н. Якименко², доктор биологических наук

¹Омский аграрный научный центр,
 644012, Омск, просп. Королева, 26
 E-mail: timokhin@anc55.ru

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,
 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 8/2
 E-mail: yakimenko@issa-siberia.ru

В стационарных полевых опытах в лесостепи Западной Сибири проведена сравнительная оценка влияния длительного сельскохозяйственного использования серой лесной и лугово-черноземной почв на их фосфорное состояние. Определено содержание различных соединений фосфора в почвах экстенсивных и интенсивных агроценозов. Исследуемые почвы отличаются повышенным содержанием валового фосфора (в серой лесной почве – 0,15-0,21 %, в лугово-черноземной – 0,15-0,17 %). При систематическом применении фосфорных удобрений уровень легкоподвижных форм этого минерального элемента достоверно возрастал в пахотном слое серой лесной почвы до 12,5-14,6 мг/кг, лугово-черноземной – до 22,1-26,6 мг/кг. Анализ фракционного состава минеральных фосфатов показал устойчивый рост запасов его соединений при длительном положительном балансе. Внесенный сверх выноса фосфор распределялся в первых четырех фракциях, из которых он был доступен для потребления растениям, как в действии, так и в последствии. На исходно более плодородной тяжелосуглинистой лугово-черноземной почве все изменения показателей фосфорного состояния (и при уменьшении, и при увеличении) выражены менее рельефно, чем на серой лесной, что свидетельствует о более высокой ее буферности. Наибольшие относительные изменения величин индексов диагностики характерны для самых мобильных фракций фосфорных соединений.

CHANGE IN THE PHOSPHATE STATE OF SOILS OF THE FOREST STEPPE OF WESTERN SIBERIA AT THE SYSTEMATIC APPLICATION OF FERTILIZERS

V.S. Boiko¹, A.Y. Timokhin¹, V.N. Yakimenko²

¹Omsk Agrarian Scientific Center,
 644012, Omsk, prosp. Koroleva, 26
 E-mail: timokhin@anc55.ru

²Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian branch, Russian Academy of Sciences,
 630090, Novosibirsk, prosp. Akademika Lavrent'eva, 8/2
 E-mail: yakimenko@issa-siberia.ru

In stationary field experiments in the forest-steppe of Western Siberia, a comparative assessment of the effect of long-term agricultural use of gray forest and meadow-chnozem soils on their phosphorus state was carried out. The content of phosphorus compounds in soils of extensive and intensive agrocenoses has been determined. The studied soils are distinguished by an increased content of total phosphorus (in gray forest soil – 0.15-0.21%, in meadow-chnozem soil – 0.15-0.17%). With the systematic use of phosphorus fertilizers, the level of readily mobile phosphorus significantly increased in the arable layer of gray forest soil up to 12.5-14.6 mg/kg, in meadow-chnozem soil – up to 22.1-26.6 mg/kg. Analysis of the fractional composition of mineral phosphates in various soil uses showed a steady increase in the reserves of its compounds with a long-term positive balance. Phosphorus introduced in excess of the removal was distributed in the first four fractions, of which it was available for consumption by plants, both in action and aftereffect. It was found that on the initially more fertile and heavy meadow-chnozem soil, all changes in the parameters of the phosphorus state (both with a decrease and with an increase) are less pronounced than on a gray forest soil. This indicates its higher buffering capacity. It was revealed that the greatest relative fluctuations in the values of diagnostic indices are characteristic of the most mobile fractions of phosphorus compounds.

Ключевые слова: агроценоз, почва, фосфорное состояние, содержание соединений фосфора

Key words: agrocenosis, soil, phosphorus state, content of phosphorus compounds

Обязательное условие эффективного функционирования агроценозов – высокий уровень плодородия почвы. Оптимизация его состояния невозможна без научно обоснованного применения удобрений, прежде всего, минеральных, на долю которых приходится не менее 30-50 % дополнительного прироста урожая [1-3]. Особую важность имеет регулирование в агроценозах режима фосфора, как одного из основных макроэлементов. В период наиболее масштабного применения

минеральных удобрений (1980–1990 гг.) интенсивность баланса фосфора в земледелии Западной Сибири составляла 82-120 % [4]. Однако уже к 1996–1998 гг. использование удобрений резко снизилось; при этом из общего количества внесенных в начале 2000-х годов минеральных удобрений на долю фосфорных приходилось в среднем 7-10 %, а на азотные – до 90 % [5]. И хотя последствие фосфорных удобрений, особенно при их активном балансе, может значимо проявляться

в течение нескольких десятилетий [6-8], очевидно, что фосфорный фонд пахотных почв за последние годы мог заметно истощиться. Отметим, что рациональное регулирование режима фосфора в агроценозах в не-малой степени зависит от адекватности диагностики фосфатного состояния почв, на которую сильно влияет региональная специфика фосфатного почвенного фонда – минералогический и гранулометрический состав, валовые запасы фосфора и др. [9, 10].

В этой связи, принимая во внимание многолетний сильнодефицитный баланс фосфора в земледелии, изучение фосфатного состояния пахотных почв с учетом региональной специфики почвенно-климатических условий, представляется весьма актуальным.

Цель наших исследований – в стационарных полевых опытах оценить изменение фосфатного фонда почв при их длительном сельскохозяйственном использовании.

Методика. Объектами исследования послужили почвы лесостепной зоны Западной Сибири – серая лесная (северная лесостепь) и лугово-черноземная (южная лесостепь).

Полевой опыт на исходно целинной серой лесной среднесуглинистой почве был заложен в 1988 г. на научно-исследовательском стационаре ИПА СО РАН (Новосибирская обл., Искитимский р-н). До 2000 г. выращивали овощные культуры в севообороте, а затем картофель в монокультуре; удобрения вносили в форме Naa, Pcd и Kx, ежегодно, с учетом потребности конкретной возделываемой культуры [5, 11]. В представленном сообщении рассматриваются наиболее контрастные варианты: без удобрений, NP и NPK. В эксперименте учитывали и отчуждали с делянок как основную, так и побочную продукцию выращиваемых культур.

Полевой опыт на лугово-черноземной тяжелосуглинистой почве был заложен в 1978 г. на научно-исследовательском стационаре СибНИИСХ (Омская обл., Омский р-н). На одном участке в севообороте выращивали, преимущественно, многолетние и однолетние травы и травосмеси (далее – кормовой севооборот), параллельно на другом – зерновые культуры и травосмеси (зернотравяной севооборот) [12]. В связи с очень высоким содержанием калия в исследуемой почве (обменного – 60 мг/100 г) калийные удобрения не применяли. В этом сообщении рассмотрены два наиболее контрастных варианта опытов – без удобрений и NP. Побочную продукцию зерновых и зернобобовых культур (солома) при уборке разбрасывали по полю.

Закладку и проведение опытов осуществляли по общепринятым методикам, повторность – 4-кратная. Почвенные образцы анализировали стандартными методами [13]: гумус определяли по Тюрину, рН – на потенциометре, подвижный фосфор – по Чирикову, легкоподвижный – по Францесону, степень подвижности фосфатов – по Карпинскому и Замятиной, фракционный состав минеральных фосфатов – по Гинзбург и Лебедевой, обменные катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) – в вытяжке 1 М раствора CH_3COONH_4 .

Результаты и обсуждение. Рациональное систематическое применение удобрений способствовало значительному росту продуктивности выращиваемых культур, по сравнению с неудобрявшимися участками (табл. 1). Так, на лугово-черноземной почве, исходно достаточно высокоплодородной, средняя урожайность культур за время проведения опытов в контрольных вариантах (без удобрений) кормового и зернотравяного севооборотов составила 3,4-3,7 тыс. корм.ед./га, тогда

Табл. 1. Общая урожайность культур и поступление макроэлементов с минеральными удобрениями в длительных полевых опытах

Вариант	Суммарный урожай, тыс. корм.ед./га	Внесено с удобрениями, кг д.в./га		
		азот	фосфор	калий
Серая лесная почва				
Овощные культуры и картофель (1988–2019 гг.)				
Без удобрений	199,0	-	-	-
NP	232,0	3820	2180	-
NPK	347,0	3820	2180	6060
Лугово-черноземная почва				
Кормовой севооборот (1978–2019 гг.)				
Без удобрений	158,3	-	-	-
NP	214,7	2739	3288	-
Зернотравяной севооборот (1978–2019 гг.)				
Без удобрений	138,9	-	-	-
NP	213,2	3138	2796	-

как при внесении оптимальных доз NP удобрений – 5,3-5,5 тыс. корм.ед./га. Одностороннее внесение NP удобрений на серой лесной почве было малоэффективным (среднегодовая урожайность в контроле и NP – соответственно – 6,5 и 7,6 тыс. корм.ед./га), очевидно, в связи с лимитированным калийным питанием растений. Сбалансированное внесение минеральных удобрений в варианте NPK способствовало значительному росту урожайности овощных культур и картофеля (среднегодовая – 11,4 тыс. корм.ед./га).

Различная интенсивность использования минеральных удобрений в вариантах проводимых опытов, специфика отдельных культур и технологий их выращивания соответствующим образом обуславливали изменения эффективного плодородия исследуемых почв (табл. 2). Содержание гумуса в лугово-черноземной почве в результате многолетнего возделывания изменилось мало, что связано, вероятно, со значительной долей орошаемых трав в структуре посевов и, соответственно, поступлением большого количества корневых и пожнивных остатков. Минерализация в верхнем почвенном слое растительной биомассы способствовала сохранению содержания катионов кальция и магния на уровне целинной почвы [12]. Величина рН исследуемой почвы за время проведения опыта несколько возросла – на 0,2-0,3 ед.

В опыте на серой лесной почве содержание гумуса резко снизилось, по сравнению с целиной (табл. 2), что, вероятно, обусловлено перманентной минерализацией почвенного органического вещества при небольшом поступлении растительного материала. Реакция среды почвы контрольного варианта за время проведения исследований мало изменилась, относительно целины, а при внесении азотных удобрений заметно снизилась. Дополнительное использование калийных удобрений не отразилось на кислотности почвы, по сравнению с внесением только NP. Сельскохозяйственное использование почвы и систематическое применение минеральных удобрений отразилось на содержании обменных катионов. Оптимизация калийного состояния почвы и сопутствующий ей рост урожайности растений привели к заметному уменьшению уровня обменного кальция и, особенно, магния. Следует отметить, что все изменения указанных почвенных агрохимических свойств во всех вариантах опытов произошли, главным образом, в слое почв 0-20 см. Выявленные в полевых

Табл. 2. Изменение свойств почв в опытах (слой 0-20 см)

Вариант	Гумус, %	рН _{водн.}	Обменные катионы, мг/100 г почвы		
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Серая лесная почва (1988–2019 гг.)					
Целина	4,9	7,3	405	15	12
Без удобрений	3,0	7,1	367	13	7
NP	3,1	6,7	336	10	7
NPK	3,4	6,8	301	8	19
<i>HCP₀₅</i>	0,3	0,3	28	3	3
Лугово-черноземная почва (1978–2019 гг.)					
Целина	6,5	6,8	644	58	60
Без удобрений	6,2	7,1	598	56	33
NP	6,6	7,0	630	53	32
<i>HCP₀₅</i>	0,3	0,2	68	5	5

опытах изменения почвенных свойств – содержания гумуса и обменных катионов, наряду с длительным возделыванием сельскохозяйственных культур, способны повлиять на трансформацию фосфатного фонда почв.

Почвы земледельческой зоны Западной Сибири отличаются, в целом, повышенным содержанием валового фосфора (в исследуемой серой лесной почве 0,15–0,21 %, в лугово-черноземной – 0,15–0,17 %). Однако их фосфатный фонд неоднороден; специфика содержания форм фосфорных соединений и их доступность растениям зависит от условий почвообразования. В целом для региона характерно богатство почвообразующих пород апатитами и фосфоритами и преобладание в фосфатном фонде почв высокоосновных фосфатов кальция и их оклюдированных форм; при повышенном содержании валового фосфора в почвах, доступность его запасов обычно низкая [9, 10]. В этой связи, адекватная оценка фосфатного фонда почв в незначительной степени зависит от используемых методов диагностики.

По действующим стандартным градациям содержание подвижного фосфора (по Чирикову) в исследуемых целинных почвах (табл. 3) соответствует повышенной и высокой обеспеченности этим элементом. Однако по данным ряда исследователей [9, 10], концентрация почвенного фосфора, определенная по методу Чирикова, на 74 % обусловлена содержанием в почве высокоосновных фосфатов кальция и слабо отражает обеспеченность выращиваемых культур этим минеральным элементом.

При длительном экстенсивном (без удобрений) сельскохозяйственном использовании серой лесной почвы содержание в ней подвижного фосфора заметно снизилось (табл. 3). Очевидно, это может быть связано как с его выносом урожаями культур, так и с изменением ряда почвенных характеристик (резкое уменьшение содержания гумуса и обменных катионов). Следует отметить, что указанное снижение произошло, главным образом, за первые примерно 10 лет проведения опыта; в дальнейшем уровень подвижного фосфора в почве контрольного варианта оставался довольно стабильным.

Уровень подвижного фосфора в контрольных вариантах опытов на лугово-черноземной почве изменился мало, несмотря на длительное отчуждение элемента из

Табл. 3. Изменение содержания фосфатов в почве длительных полевых опытов

Вариант	Слой почвы, см	Содержание фосфора, мг/кг почвы		
		по Чирикову	по Францесону	по Карпинскому
Серая лесная почва				
Целина (исходное)	0-20	183	7,4	2,6
	20-40	160	5,6	0,8
Овощные культуры и картофель (1988-2019)				
Без удобрений	0-20	96	1,8	0,2
	20-40	116	1,0	0,1
NP	0-20	476	14,6	6,3
	20-40	338	6,8	3,1
NPK	0-20	493	12,5	6,0
	20-40	292	3,8	3,2
<i>HCP₀₅</i>		24	3,7	1,9
Лугово-черноземная почва				
Целина (исходное)	0-20	143	9,5	2,2
	20-40	119	5,3	0,4
Многолетние и однолетние травы (1978-2019 г)				
Без удобрений	0-20	137	9,5	2,1
	20-40	114	6,1	0,7
NP	0-20	193	22,1	4,1
	20-40	129	8,6	1,6
Зерновые и кормовые культуры (1978-2019 г)				
Без удобрений	0-20	132	10,1	2,9
	20-40	127	6,5	1,4
NP	0-20	271	26,6	8,3
	20-40	225	13,9	5,5
<i>HCP₀₅</i>		20	2,8	1,6

почвы. В то же время при систематическом внесении фосфорных удобрений содержание подвижного фосфора существенно возросло в обеих почвах (см. табл. 3). Можно предположить, что величина этого показателя, как диагностический параметр при мониторинге фосфатного состояния почв агроценозов, довольно хорошо отражает режим накопления этого элемента и заметно хуже – масштабы его потребления (выноса) культурами. Это свидетельствует о целесообразности комплексного использования нескольких диагностических индексов для адекватной оценки фосфатного состояния пахотных почв.

По мнению А. Е. Кочергина [14], наиболее чувствительную оценку фосфатного состояния западносибирских почв обеспечивает метод Францесона. Содержание легкоподвижного фосфора в серой лесной почве в нашем опыте, рассчитанное с его использованием, отражало и длительный сильнодефицитный баланс элемента в агроценозе, и многолетнее систематическое внесение фосфорных удобрений, уменьшаясь или увеличиваясь соответствующим образом (см. табл. 3).

Обращает на себя внимание факт стабильного содержания легкообменного фосфора в верхнем слое контрольных вариантов лугово-черноземной почвы, по сравнению с целиной, и явная тенденция соответствующего его увеличения в нижележащих почвенных слоях (см. табл. 3). Причиной такого явления может быть как относительно низкая подвижность соединений фосфора в этой почве, так и их определенная биогенная аккумуляция в верхних почвенных горизонтах при многолетнем выращивании трав, сопровождавшемся, возможно, некоторым повышением степени подвижности имевшихся почвенных фракций фосфатов. При

Табл. 4. Изменение фракционного состава минеральных фосфатов в почвах длительных опытов (слой 0-20 см)

Вариант	Фракционный состав минеральных фосфатов, мг/кг				
	Ca-P _I	Ca-P _{II}	Al-P	Fe-P	Ca-P _{III}
Серая лесная почва					
Целина	12,5	6,3	4,6	5,5	47,2
Овощные культуры и картофель (1988-2019)					
Без удобрений	2,5	2,3	2,6	3,4	47,2
NP	32,9	7,4	6,8	8,2	46,9
НРК	26,6	7,3	5,8	7,2	46,8
<i>HCP₀₅</i>	5,4	2,6	2,2	1,3	6,1
Лугово-черноземная почва					
Целина	5,5	5,2	4,5	10,8	8,8
Многолетние и однолетние травы (1978-2019 г)					
Без удобрений	5,1	5,9	3,9	8,4	7,6
NP	6,6	7,8	7,1	15,6	8,2
<i>HCP₀₅</i>	1,4	1,3	1,1	2,3	1,6

систематическом применении фосфорных удобрений уровень легкоподвижного фосфора в лугово-черноземной почве достоверно возрастал, свидетельствуя о высокой обеспеченности культур доступными формами этого минерального элемента [14].

Важный показатель способности твердой фазы почвы отдавать в раствор ионы фосфора – степень их подвижности, определяемая по методу Карпинско-Замятиной. Величина этого показателя фосфатного состояния почвы, в отличие от других, была максимальной в верхнем почвенном горизонте и резко снижалась с глубиной (см. табл. 3), отражая как высокую обеспеченность растений доступным фосфором, так и доминирование в фосфатном фонде нижележащих почвенных слоев фракции трудно растворимых высокоосновных фосфатов кальция типа апатита. Резкое снижение степени подвижности почвенных фосфатов в контрольном варианте серой лесной почвы, по сравнению с целиной, очевидно, связано с отчуждением наиболее мобильной части фосфатного фонда почвы при многолетнем выносе урожая и свидетельствует о сильно лимитированном фосфорном питании растений. В вариантах с внесением фосфорных удобрений величина этого показателя демонстрировала высокую обеспеченность выращиваемых культур доступным фосфором.

Высокая буферность лугово-черноземной почвы и ее повышенное естественное плодородие способствовали сохранению определенного уровня ионов фосфора в почвенном растворе даже при длительном сельскохозяйственном использовании почвы. Однако значительное снижение продуктивности культур в экстенсивных агроценозах (см. табл. 1) свидетельствует, что почвенные возможности, в целом, неограниченны.

Фракционный состав минерального фосфора почвы – информативный показатель ее фосфатного состояния [15]. Изменение фосфатного фонда почвы агроценозов в наших опытах отразилось на составе минеральных форм фосфатов (табл. 4). Самой динамичной в серой лесной почве была фракция наиболее растворимых

форм фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов (Ca-P_I) – при дефицитном балансе фосфора ее содержание в почве снизилось в несколько раз, по сравнению с целиной, а при положительном балансе – значительно возросло.

Содержание фракций разноосновных фосфатов кальция (Ca-P_{II}) и фосфатов полуторных окислов (Al-P и Fe-P) варьировало существенно меньше, причем по мере снижения степени растворимости отдельных форм минерального фосфора, различия в их содержании между вариантами опыта сглаживались. Количество фракции высокоосновных фосфатов кальция типа апатита (Ca-P_{III}) в почве при различной агрогенной нагрузке на нее практически не изменилось, фиксации внесенного с удобрениями фосфора в труднодоступной форме не отмечали.

В лугово-черноземной почве первая группа фосфатов кальция, легкодоступных для питания растений, также изменилась в сторону увеличения при внесении удобрений, но при небольшой разнице с другими вариантами. Содержание второй группы в исходной почве находилось на уровне первой, но в удобренных вариантах оно увеличилось заметнее – до 7,8 мг/кг.

Фосфатов алюминия во всех вариантах было более чем вдвое меньше, по сравнению с фосфатами железа, однако закономерность была аналогичной – снижение в контроле и увеличение в удобренных вариантах в 1,6 раза. Наиболее выраженными были изменения содержания фосфатов железа, количество которых увеличилось при внесении удобрений, в сравнении с исходным состоянием, почти в 1,5 раза и снизилось в контроле на 2,4 мг/кг.

Количество инертной, малодоступной фракции изменилось незначительно, что подтвердило отмеченную ранее закономерность увеличения фосфатного статуса почвы благодаря наиболее доступным соединениям. Слабые количественные изменения этой фракции свидетельствовали об отсутствии ретроградации фосфора в длительном орошаемой лугово-черноземной почве.

Таким образом, компенсация выноса фосфора из интенсивно используемых лугово-черноземной и серой лесной почв надежно поддерживает созданный оптимальный уровень его содержания, не снижая ни урожайности культур, ни почвенного плодородия, что равноценно полному использованию фосфатов. Это положение служит теоретической основой управления фосфатным режимом почв, контроль за которым возможен путем определения содержания подвижного фосфора и в целом структуры фосфатного фонда почвы.

Анализ фракционного состава минеральных фосфатов в различных вариантах использования почв показал устойчивый рост запасов его соединений при длительном положительном балансе. Внесенный сверх выноса фосфор распределялся в первых четырех фракциях, из которых он был доступен для потребления растениям, как в действии, так и в последствии. Это подтверждено многолетними данными по урожайности кормовых, зерновых культур, овощей и картофеля. Очевидно, что трансформация фонда минеральных фосфатов исследуемых почв при их сельскохозяйственном использовании происходила, прежде всего, благодаря наиболее доступной растениям фракции Ca-P_I, вызывая соответствующие изменения эффективного почвенного плодородия. Внесение повышенных доз фосфорных удобрений способствовало росту запасов доступного растениям фосфора и, вероятно, увеличению степени мобильности имевшихся почвенных фосфатов.

Литература

1. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
2. Шафран С.А., Кирпичников Н.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // *Агрохимия*. 2019. № 4. С. 3–10.
3. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // *Почвоведение*. 2019. № 9. С. 1130–1139.
4. Жуков Г.А. Проблемы химизации земледелия Сибири. Новосибирск: Наука, 1989. 158 с.
5. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
6. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: Изд. РАН, 2019. 328 с.
7. Кудяров В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // *Почвоведение*. 2019. № 1. С. 109–121.
8. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. Динамика подвижных форм фосфора и калия в почвах длительных опытов // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2013. № 3. С. 30–33.
9. Антипина Л.П., Малыгина Л.П., Попцов С.П. Оценка фосфатного состояния и оптимальные параметры его в почвах Западной Сибири // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 1992. № 2. С. 12–15.
10. Аверкина С.С., Синецких В.Е., Ткаченко Г.И. Оценка методов определения фосфатов в черноземах Новосибирской области // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2011. № 11–12. С. 5–10.
11. Бойко В.С., Якименко В.Н., Тимохин А.Ю. Изменение калийного состояния почв лесостепи Западной Сибири при длительном сельскохозяйственном использовании // *Экология и промышленность России*. 2019. Т. 23. № 11. С. 66–71.
12. Бойко В.С. Полевое кормопроизводство на орошаемых черноземах в лесостепи Западной Сибири. Омск: Изд. ИП Макшеевой Е.А., 2019. 312 с.
13. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
14. Кочергин А.Е. Эффективность удобрений на черноземах Западной Сибири // *Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Западной Сибири*. М.: Наука, 1968. С. 316–336.
15. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 242 с.

Поступила в редакцию 25.08.2020
После доработки 02.10.2020
Принята к публикации 25.12.2020