

Формы фосфора в почвах Новосибирского Приобья

© 2026 Л. П. Галеева

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, 160,
Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: liub.galeeva@yandex.ru

Цель исследования. Изучить изменение степени подвижности фосфора и фосфатной ёмкости в серых лесных почвах и чернозёме выщелоченном в различных агроценозах в сравнении с целинными аналогами этих почв.

Место проведения. Исследования проведены в северной лесостепи Новосибирского Приобья.

Методы. Использовали метод почвенных разрезов, полевые и лабораторные опыты, агрохимические методы анализа почвенных образцов по общепринятым методикам. Статистическую обработку данных проводили методом корреляционного анализа.

Основные результаты. Определены величины поглощения и вытеснения легкодоступного и подвижного фосфора и их связь с другими показателями в серых лесных почвах и чернозёме выщелоченном в различных агроценозах в сравнении с целинными аналогами этих почв. Установлено, что наибольшее количество фосфора, определяемого данными методами, поглощала серая целинная почва – 200 и 600 кг $P_2O_5/га$, соответственно. При использовании почвы в течение 15 лет в овощном агроценозе без применения удобрений степень подвижности фосфора не изменилась, а фосфатная ёмкость уменьшилась в 3 раза. Тёмно-серая почва, используемая 30 лет в зерновом агроценозе, поглощала в среднем 300 и 400 кг $P_2O_5/га$. В чернозёме выщелоченном при выращивании картофеля наибольшее количество фосфора определялось в варианте с внесением NPK-удобрений – около 60 и 1100 кг $P_2O_5/га$, соответственно, что может компенсировать вынос фосфора картофелем и обладать последствием.

Заключение. Усиление минерализации органического вещества в серой лесной почве при её использовании в овощном севообороте в два раза уменьшало запас подвижного фосфора и не влияло на степень его подвижности, величина которой прямо зависела от содержания гумуса, обменных оснований и кальция. В тёмно-серой почве зернового агроценоза количество и скорость поглощения фосфора были прямо связаны с содержанием гумуса. Существенное влияние на ёмкость поглощения фосфора данными почвами оказывали величина pH, содержание обменных оснований и кальция.

Ключевые слова: степень подвижности фосфора; фосфатная ёмкость почвы; серая лесная почва; чернозём выщелоченный; агроценоз.

Цитирование: Галеева Л.П. Формы фосфора в почвах Новосибирского Приобья // Почвы и окружающая среда. 2026. Том 9. № 1. е311. DOI: [10.31251/pos.v9i1.311](https://doi.org/10.31251/pos.v9i1.311).

ВВЕДЕНИЕ

Фосфор, поступающий в почву, взаимодействует с её частями и образует различные по растворимости соли, которые по степени их участия в фосфорном питании растений представлены тремя большими группами, находящимися между собой в постоянном обмене и динамическом равновесии. Первая группа – фосфаты почвенного раствора, которые полностью доступны растениям. Предполагают, что они интенсивно используются растениями в начальный период их роста и развития (Соколов, 1950; Славнина, 1954; Карпинский, Замятина, 1958; Адерихин, 1970; Гинзбург, 1981; Карпинский, Глазунова, 1983, 1993; Антонова, 1983; Кочергин, 1984; Антипина, 1991; Ермолаев, 2007; Галеева, 2013; Аверкина, Якутина, 2013; Аверкина, 2018; и др.). Важный показатель этой фракции фосфора – **фактор «интенсивности» (I)**, который характеризует степень подвижности запаса растворимых фосфатов почвы и выражается величиной активной концентрации фосфат-ионов, извлекаемых слабо-солевыми и водными вытяжками из твёрдой фазы почвы, или показателем энергии, необходимой для перехода фосфатов из твёрдой фазы почвы в раствор (фосфатный потенциал). Вторая группа – фосфаты (осаждённые или адсорбированные на поверхности твёрдой фазы почвы), способные в определённых условиях (в основном, при нарушении фосфатного равновесия между твёрдой и жидкой фазами почвы – при выносе фосфора растениями, внесении фосфорных удобрений) переходить путём самодиффузии в почвенный раствор. Они характеризуют общее «количество», «запас» подвижных фосфатов почвы, её **фосфатную ёмкость (Q)**. Этот запас почвенных фосфатов длительное время снабжает растения фосфором и определяется экстракцией разведёнными кислотами и щелочами, хроматографическим и другими методами. Величина фосфатного потенциала может служить одной из характеристик фосфатного режима почв (методы Кирсанова; Чирикова; Мачигина; и др.). Третья группа – труднорастворимые фосфаты минерального скелета почвы, которые входят в структуру первичных и вторичных минералов. Они не участвуют в кинетическом

обмене между твёрдой и жидкой фазами почвы. Это нерастворимый или фиксированный почвенными коллоидами фосфор, как правило, окклюдированный гидратами полутораоксидов, карбонатами, гипсом. Он находится не на поверхности, а во внутренних частях кристаллитов почвенных минералов. В большинстве случаев эта фиксация обратима, и в определённых почвенных условиях фосфор может снова перейти в обменную форму, например, при чередовании увлажнения и иссушения коллоидов, растворяющего действия гумусовых соединений и т.п. Данная фракция фосфора является резервом, пополняющим запасы фосфатов поверхности твёрдой фазы почвы.

В условиях интенсивного земледелия идёт постоянное отчуждение сельскохозяйственными культурами большого количества фосфора из почвы, что требует обязательного внесения фосфорных удобрений. Фосфор удобрений усиливает подвижность почвенных фосфатов, особенно ощутимо растёт 1-я фракция (Ca-P_1), которая содержит наиболее доступные растениям фосфорные соединения (Антипина, 1991; Макарикова, Барсуков, 1998; Наумова, Макарикова, 2002; Аверкина 2019; Воронкова и др., 2023; Галеева, 2024; и др.). В то же время, при длительном взаимодействии фосфорных удобрений с почвой происходит обогащение фракции фосфатов полуторных оксидов, в которые переходит водорастворимый фосфат кальция суперфосфата. Установлено, что фосфор водорастворимых форм удобрений закрепляется почвами и имеет коэффициент использования растениями в год внесения в среднем 15–20%.

Поглотительная способность почв в отношении фосфора обусловлена многообразием взаимосвязанных процессов, из которых большое значение имеют хемосорбции и адсорбции, а также частично биологическое поглощение (Антипина, 1991; Сушеница, 2007; Макаров, 2009; Сосорова, 2022; Акимова, 2023; Галеева, 2018, 2023). Ранее установлено (Адерихин, 1949, 1970), что фосфаты поглощаются всеми почвами и всеми их горизонтами, а его количество может достигать 500–1800 мг $\text{P}_2\text{O}_5/\text{кг}$ почвы. Так, водорастворимый фосфор удобрений активно поглощается почвой за счёт образования менее растворимых минеральных и органо-минеральных соединений, которые адсорбируются на поверхности глинистых минералов и органо-минеральных гелей. Количество поглощённого почвой фосфора зависит от содержания в ней катионов Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} и Mg^{2+} , коллоидов, глинистых минералов, микроорганизмов, влажности, реакции среды, гранулометрического состава и др.

Установлено, что при применении минеральных удобрений наиболее активно поглощаются фосфаты, внесённые в дозах 60–90 кг д.в./га (Кушниренко, Брагин, 2005). Ежегодно растущие потребности в применении фосфорных удобрений и их стоимость, требуют правильного расчёта вносимых доз под различные культуры на разных почвах. При этом важное значение имеет изучение поведения фосфора почвы и удобрений, связанное с явлениями сорбции и десорбции пахотными почвами (Груздева, Ерёмин, 2017; Рогова и др., 2018; Шеуджен, 2018; Галеева, 2018; Бойко и др., 2021; и др.).

В этой связи, целью нашего исследования было изучить изменение степени подвижности фосфора (I) и фосфатной ёмкости (Q) в серых лесных почвах и чернозёме выщелоченном в различных агроценозах в сравнении с целинными аналогами этих почв.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение поглощения фосфора серыми лесными почвами проведено в лабораторном опыте; использовали почвенные образцы серой лесной оподзоленной почвы, отобранные из разрезов на целине и 15-ти летней пашне овощного севооборота (п. Краснообск, северная лесостепь Приобья, Новосибирская область), находящихся друг от друга в пределах 30 м, а также разрезов тёмно-серой лесной почвы на целине и 30-ти летней пашне зернового агроценоза (ОПХ «Элитное»), расположенных на таком же расстоянии друг от друга. Удобрения в обоих агроценозах не применяли последние 10 лет

Изучение влияния фосфора минеральных удобрений, вносимых на чернозёме выщелоченном при возделывании картофеля, на фракционный состав минеральных фосфатов, содержание легкодоступного и подвижного фосфора изучали в течение 3-х лет в полевом опыте (п. Краснообск). Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднесуглинистый, в пахотном слое содержит гумуса 4,6%, $\text{N}_{\text{общ}}$ – 0,23%, $\text{P}_{\text{общ}}$ – 0,17%; pH водной – 7,14; сумма поглощённых оснований – 36,2 мг-экв/100 г, из которых 82% приходится на кальций; содержание нитратного азота и легкодоступного фосфора – 6,1 и 0,44 мг/кг, соответственно, подвижного фосфора и обменного калия – 147,5 и 91,7 мг/кг. Варианты опыта: 1. Контроль (без удобрений). 2. N80K160. 3. N80P80K160. Повторность – 3–4-х кратная. Схема посадки картофеля 40×70 см на глубину 6–8 см в борозды. Азотные удобрения в виде аммонийной селитры (34% д.в.), фосфорные – суперфосфата двойного гранулированного (43% д.в.) и калийные – калия хлористого (50% д.в.) вносили ежегодно локально

перед посадкой картофеля на глубину 6–8 см в борозды. Площадь делянки 28 м² (4×7), технология возделывания – общепринятая для данной зоны. Изучали среднеранние сорта картофеля сибирской селекции Лина и Белла.

Содержание гумуса в почве и его фракционно-групповой состав определяли по Тюрину и в модификации Пономаревой, Плотниковой, соответственно; гранулометрический состав – по Качинскому; величину обменной рН – потенциометрически; гидролитическую кислотность – по Каппену; обменные основания и обменный кальций – трилонометрическим методом (Практикум ..., 1986); общий азот – по Къельдалю, Иодльбауэру (Аринюшкина, 1970); общий фосфор – по Гинзбург (1981), фракционный состав минеральных фосфатов – по Гинзбург, Лебедевой (1971); содержание активных фосфатов – сумма фракций (Ca-P₁ + Ca-P₂ + Al-P), легкодоступный фосфор (степень подвижности I) – по Карпинскому, Замятиной (1958); подвижный фосфор (фосфатная ёмкость Q) – по Чирикову (Практикум ..., 1986). Ёмкость поглощения фосфора серыми лесными почвами изучали в лабораторном опыте (Адерихин, 1970): сначала почву насыщали фосфором, пропуская через неё последовательно 11 раз по 100 мл 0,004 М раствора КН₂РO₄, затем определяли содержание Р₂O₅ в каждой порции фильтрата и в исходном растворе колориметрически, по разности между ними находили степень подвижности фосфора (I) (Карпинский, Замятина, 1958), фосфатную ёмкость (Q) по Чирикову (Пискунов, 2004) и их общую сумму. Ёмкость поглощения фосфора чернозёмом выщелоченным, на котором применяли NK- и NPK-удобрения, определяли извлечением Р₂O₅ из почвы 10-ю последовательными вытяжками 0,03 н раствором К₂SO₄ (степень подвижности, I по Карпинскому, Замятиной, 1957) и 0,5 н раствором СН₃COOH (фосфатная ёмкость Q, по Чирикову). **Показатель окультуренности (ПО)** почвы в отношении фосфора рассчитывали как отношение степени подвижности фосфора (I, в мг/л) к фосфатной ёмкости (Q, в мг/100 г), умноженное на 100.

Статистическая обработка данных выполнена методом парной корреляции по Пирсону пакета программ «Снедекор» (Сорокин, 2009).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Длительность и характер использования почв в различных агроценозах по-разному повлияли на их физико-химические свойства. Так, в серой лесной почве, используемой в течение 15-ти лет в овощном агроценозе, содержание гумуса в слое 0–20 см, практически не изменялось по сравнению с целиной, оставаясь низким – 3,6 и 3,63%, соответственно, и уменьшалось в подпахотном слое (таблица). В 30-ти летнем зерновом агроценозе на тёмно-серой лесной почве происходило заметное уменьшение содержания гумуса в пахотном и увеличение в подпахотном слое, что обусловлено ежегодным оборачиванием и перемешиванием этих слоёв при механической обработке. При вовлечении почв в пашню улучшалось качество гумуса за счёт увеличения в его составе гуминовых кислот; при этом тип гумуса оставался гуматным (Галеева, 2010).

В серой лесной почве овощного агроценоза происходило заметное подкисление пахотного и подпахотного слоёв, о чём свидетельствует повышение обменной и гидролитической кислотности (см. табл.). Эти показатели были прямо связаны с содержанием обменных оснований и кальция, в том числе. За счёт постоянного оборачивания и перемешивания слоёв почвы и выноса овощными культурами обменных оснований, их количество уменьшалось в 1,4 раза в пахотном и на столько же увеличивалось в подпахотном слое, в целом оставаясь повышенным. Содержание обменного кальция при этом снижалось в 2,3 раза, а обменного магния на столько же повышалось, что сказалось на уменьшении в 2–2,5 раза соотношения Са:Мg. С глубиной по профилю содержание кальция практически не изменялось, а его доля в составе обменных оснований, за счёт перекачки кальция овощными культурами из нижних горизонтов почвы в верхние, уменьшалась на 22,4%.

В тёмно-серой лесной почве 30-ти летнего зернового агроценоза, наоборот, наблюдалось уменьшение обменной кислотности в пахотном слое. При этом содержание обменных оснований возрастало от высокого до очень высокого по всему профилю почвы; большая часть их состава в пахотном и подпахотном слоях – 86,9 и 88,9% от суммы, приходилась на кальций. Соотношение Са:Мg при этом увеличивалось в 2 раза в пахотном слое и в 5–10 раз по профилю. Все эти изменения свидетельствуют об усилении интенсивности дернового процесса за счёт большего возврата кальция в почву с корневыми и пожнивными остатками зерновых культур, а также подтверждают большую природную буферность тёмно-серой почвы, которая поддерживала и улучшала её физико-химические свойства при антропогенном воздействии.

Таблица

Изменение физико-химических показателей серых лесных почв

Показатели	Почва, угодье и слой (см)							
	Серая лесная				Тёмно-серая лесная			
	целина		пашня, овощные		целина		пашня, зерновые	
	0–22	22–42	0–22	22–42	0–18	18–39	0–18	18–39
Гумус, %	3,60	2,33	3,63	1,93	6,56	5,57	6,03	5,76
Количество частиц диаметром <0,01 мм, %	36,5	32,8	29,4	37,0	44,2	44,1	45,1	43,5
pH _{KCl}	5,8	5,7	5,6	5,0	5,7	6,1	6,5	6,3
Hг, мг-экв/100 г	4,9	4,6	4,2	3,9	4,8	4,9	4,2	3,7
Сумма обменных оснований (Ca ²⁺ +Mg ²⁺), мг-экв/100 г	27,6	15,0	20,0	20,6	27,5	9,4	34,3	33,2
Ca ²⁺ , мг-экв/100 г (над чертой) и % от суммы обменных оснований (под чертой)	<u>22,9</u> 83,5	<u>11,6</u> 77,3	<u>9,7</u> 48,5	<u>11,3</u> 54,9	<u>21,3</u> 77,4	<u>4,0</u> 42,6	<u>29,8</u> 86,9	<u>29,5</u> 88,9
Mg ²⁺ , мг-экв/100 г	4,7	3,4	10,3	9,3	6,3	5,3	4,5	3,7
Соотношение Са:Mg	4,9	3,4	2,0	1,8	3,4	0,8	6,6	8,0
С общий, % к почве	2,08	1,35	2,10	1,12	3,80	3,23	3,49	3,34
N общий, %	0,16	0,07	0,15	0,05	0,32	0,40	0,19	0,19
Соотношение С:N	13	20	14	21	12	8	18	17
P общий, %	0,13	0,12	0,19	0,19	0,19	0,17	0,24	0,28
Соотношение С:P	16	12	11	3	20	19	14	12
Степень подвижности фосфора, мг P ₂ O ₅ /л (над чертой) и легкодоступный фосфор (I), мг P ₂ O ₅ /кг (под чертой)	<u>0,04</u> 0,20	<u>0,04</u> 0,20	<u>0,28</u> 1,40	<u>0,07</u> 0,35	<u>0,08</u> 0,40	<u>0,06</u> 0,30	<u>0,17</u> 0,85	<u>0,04</u> 0,20
Фосфатная ёмкость, подвижный фосфор (Q), мг P ₂ O ₅ /кг	85,2	107,2	90,0	90,7	140,0	120,5	114,2	119,5
Сумма минеральных фосфатов, мг P ₂ O ₅ /100 г	76,6	-	106,7	-	74,3	-	105,5	-
Сумма фосфатов активных фракций, мг P ₂ O ₅ /100 г (над чертой) и % от суммы минеральных фосфатов (под чертой)	<u>14,4</u> 18,8	-	<u>26,2</u> 25,0	-	<u>13,3</u> 17,9	-	<u>26,2</u> 24,8	-
Показатель окультуренности	0,5	-	3,1	-	0,6	-	1,5	-

Такая же закономерность поведения была характерна для углерода и азота в этих слоях почвы, что, в свою очередь, отразилось на насыщенности их органического вещества азотом (C:N), которая не изменялась в серой лесной почве и возрастала в тёмно-серой. При этом, содержание валового фосфора (P, %) увеличивалось в обеих почвах, а насыщенность им органического вещества (C:P) уменьшалась, что сказалось на заметном увеличении содержания легкодоступного фосфора – P₂O₅ (I) в пахотном слое. В то же время, содержание подвижного фосфора (по Чирикову) незначительно возрастало в пахотном слое почвы в овощном агроценозе и заметно уменьшалось в зерновом, что обусловлено биологическими особенностями его потребления культурами. В пахотном слое почвы обоих агроценозов, согласно фракционному анализу, в среднем в 1,5 раза увеличилось содержание минеральных фосфатов; при этом доля фосфатов активных фракций (первых трёх фракций) возрастала в 1,8–2 раза, свидетельствуя об улучшении фосфатного режима почв. Показатель окультуренности (ПО) почвы в отношении фосфора, характеризующий долю легкодоступного фосфора (I) от фосфатной

ёмкости (Q), в серой почве овощного агроценоза возрастал более, чем в 6 раз (с 0,5 до 3,1), в тёмно-серой зернового севооборота – в 2,5 раза (с 0,6 до 1,5).

После 15-ти и 30-ти летнего использования серых лесных почв в разных агроценозах, были отобраны почвенные образцы, в которых исследовали процессы трансформации форм фосфора. Наибольшее суммарное содержание легкодоступных (I) и подвижных фосфатов (Q) было отмечено в слое 0–22 см серой лесной целинной почвы – 112 и 282 мг P_2O_5 /кг, соответственно (рис. 1). Установлено, что содержание гумуса в этой почве оказывало прямое влияние на величину степени подвижности фосфора (I) ($r = 0,78$) и не влияло на фосфатную ёмкость (Q). С глубиной их количество и подвижность в почве варьировали. Степень подвижности фосфора (I) в верхнем слое серой лесной почвы овощного агроценоза была такой же, как на целине, а фосфатная ёмкость (Q) – в 3 раза меньше, что, возможно, обусловлено облегчением гранулометрического состава со среднесуглинистого до легкосуглинистого с преобладанием ила и крупной пыли в процессе ежегодного перемешивания слоёв почвы при обработке. Корреляционный анализ показал, что высокое содержание крупной пыли оказывало прямое влияние на поглощение как легкодоступного ($r = 0,68$), так и подвижного ($r = 0,76$) фосфора. Содержание ила также прямо влияло на величину и скорость поглощения легкодоступного ($r = 0,56$ и $r = 0,78$) и подвижного ($r = 0,56$) фосфора. Существенное прямое действие на величину поглощения легкодоступного фосфора оказывали обменные основания и кальций ($r = 0,85$ и $r = 0,79$, соответственно), для подвижного фосфора оно было незначительным.

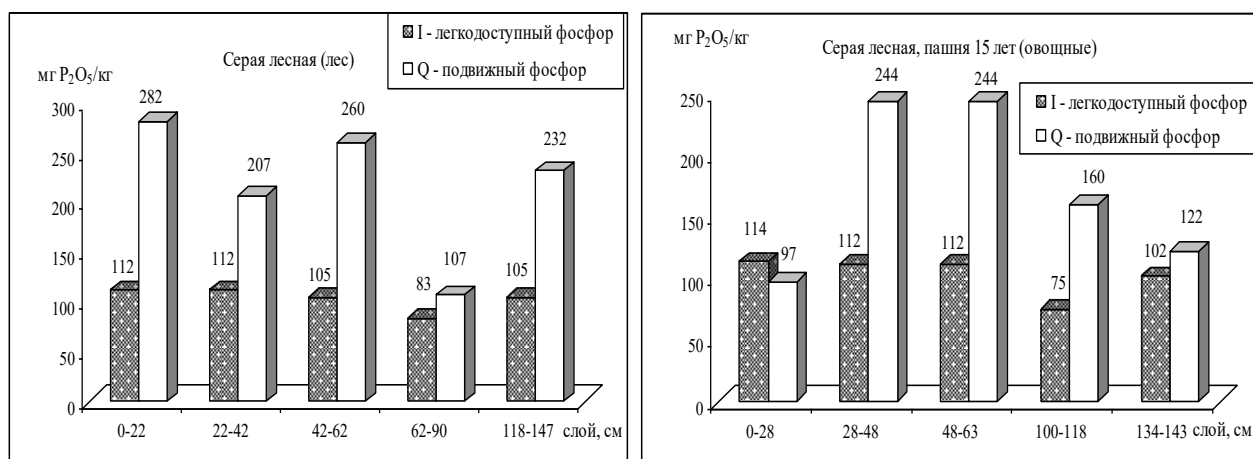


Рисунок 1. Поглощение фосфора серыми лесными почвами.

Известно, что ежегодная механическая обработка почвы, применение минеральных удобрений, орошение и другие приёмы, усиливают минерализацию органического вещества почвы, что способствует усилению подвижности почвенного фосфора. Поэтому, в серой лесной почве овощного севооборота уменьшалась фосфатная ёмкость (Q) и не изменялась степень подвижности фосфора (I), которые прямо зависели от содержания гумуса ($r = 0,53$), обменных оснований ($r = 0,93$ и $r = 0,51$) и кальция ($r = 0,80$ и $r = 0,90$).

В тёмно-серой почве 30-ти летнего зернового агроценоза количество легкодоступного и подвижного фосфора, поглощённое пахотным слоем, составляло 145 и 201 мг/кг почвы, соответственно, что в 1,3 и 2 раза больше, чем в 15-ти летней пашне и обусловлено её более тяжелосуглинистым гранулометрическим составом (рис. 2). Установлена прямая зависимость между гумусом и количеством поглощённого легкодоступного и подвижного фосфора ($r = 0,98$ и $r = 0,74$, соответственно), а также содержанием подвижного фосфора и скоростью его поглощения ($r = 0,81$). Прямое влияние на ёмкость поглощения форм фосфора почвой оказывала величина pH ($r = 0,83$ и $r = 0,57$, соответственно), что, вероятно, обусловлено усилением закрепления фосфора в менее доступные для растений формы. Существенное влияние на количество обеих форм фосфора, поглощённого тёмно-серой лесной почвой, оказывали обменные основания ($r = 1,00$ и $r = 0,60$) и кальций ($r = 0,99$ и $r = 0,71$), так как большая часть минеральных фосфатов почвы обычно представлена фосфатами кальция разной степени подвижности.

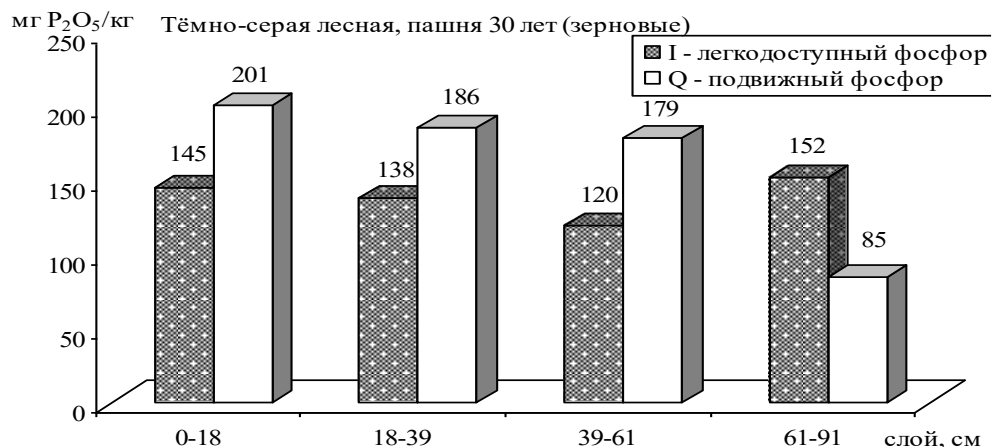


Рисунок 2. Поглощение фосфора тёмно-серой лесной почвой (пашня 30 лет, зерновые).

Скорость поглощения легкодоступного фосфора (по Карпинскому, Замятиной) серой лесной почвой овощного агроценоза практически не изменялась и заметно увеличивалась в тёмно-серой лесной почве 30-ти летней пашни (рис. 3). Фосфор в подвижной форме (по Чирикову) более интенсивно поглощался целинной почвой, где его скорость была в 3 и 1,5 раза выше, чем в пашне овощного и зернового агроценозов, соответственно.

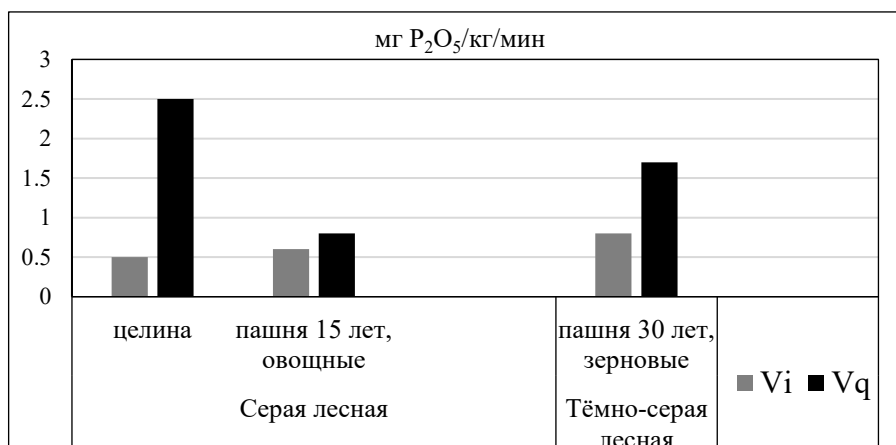


Рисунок 3. Скорость поглощения легкодоступного (Vi) и подвижного (Vq) фосфора серыми лесными почвами в агроценозах, мг P₂O₅/кг/мин.

Содержание легкодоступного фосфора в пахотном слое серой лесной почвы овощного агроценоза при насыщении её фосфором возрастало в 3 раза по сравнению с целиной и было в 1,6 раза меньше, чем в тёмно-серой почве 30-ти летней пашни зернового агроценоза. При этом величина и скорость поглощения фосфора почвой возрастала за счёт ускорения физико-химических процессов и перехода некоторого количества фосфора в менее доступные для растений формы. Продолжительность поглощения фосфора верхним слоем была примерно одинаковой у всех почв и составила в среднем 105 минут. Можно предположить, что серые лесные почвы обладают большой сорбционной способностью в отношении фосфора, за счёт чего способны поглотить в пахотном слое от 200 до 600 кг P₂O₅/га.

Показателем фосфатного состояния почвы является равновесная концентрация фосфора, когда почва не сорбирует его и не десорбирует в почвенный раствор. Кроме того, при низких концентрациях фосфора в растворе, он быстро поглощается твёрдой фазой почвы и сорбционное равновесие устанавливается в течение первого часа их взаимодействия (Шеуджен, 2018).

Изучение подвижности фосфора в чернозёме выщелоченном проводили в образцах почвы, отобранных после 3-х лет выращивания картофеля на фоне ежегодного применения NK- и NPK-удобрений. Установлено, что наибольшее извлечение фосфора из почвы происходило в варианте N80P80K160 и из исходного образца, включительно по 5-ю вытяжку (рис. 4). Начиная с 6-й вытяжки,

его количество уменьшалось в 1,9 и 1,6 раза в контроле и варианте N80K160 соответственно, а затем стабилизировалось. В варианте N80P80K160 и исходном образце содержание фосфора изменялось незначительно. Содержание легкодоступного фосфора, извлечённое 10-ю последовательными вытяжками, в контроле и варианте N80K160 было одинаковым – 0,8 и 0,9 мг P_2O_5 /л, что, в среднем, в 2 раза меньше, чем в исходном образце. В пересчёте на P_2O_5 кг/га пахотного слоя это соответствует 8–9 кг, а в исходном образце – 18 кг. При внесении NPK-удобрений количество извлечённого из почвы фосфора составило около 60 кг P_2O_5 /га, что в 3 и 6 раз больше, чем в исходном образце и варианте N80K160, соответственно. Следовательно, ежегодное внесение NPK-удобрений под картофель в течение 3-х лет может компенсировать вынос им фосфора и обладать некоторым последствием (Галеева, 2023).

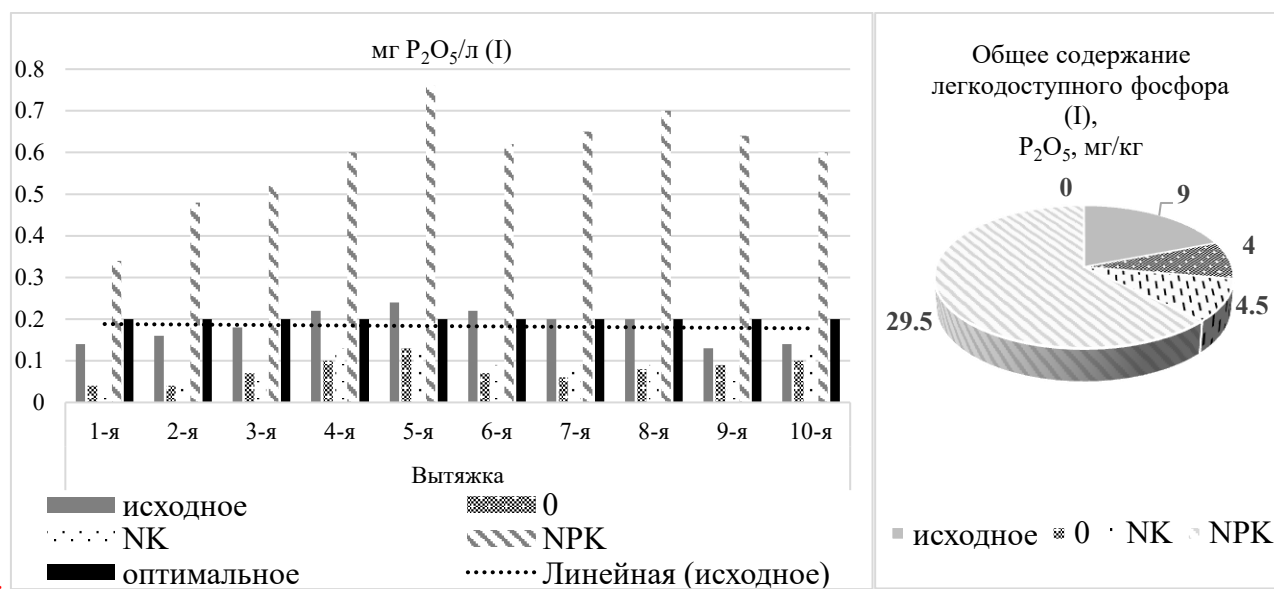


Рисунок 4. Влияние минеральных удобрений на изменение степени подвижности (I) фосфора в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного при выращивании картофеля.

Больше всего подвижного фосфора (по Чирикову) также извлекалось из почвы варианта N80P80K160 и исходного образца – 548 и 432 мг P_2O_5 /кг. Начиная с 3-й вытяжки, количество фосфора уменьшалось в среднем в 2–3 раза в почве всех вариантов и не превышало оптимальный уровень – 15 мг P_2O_5 /100 г. (рис. 5).

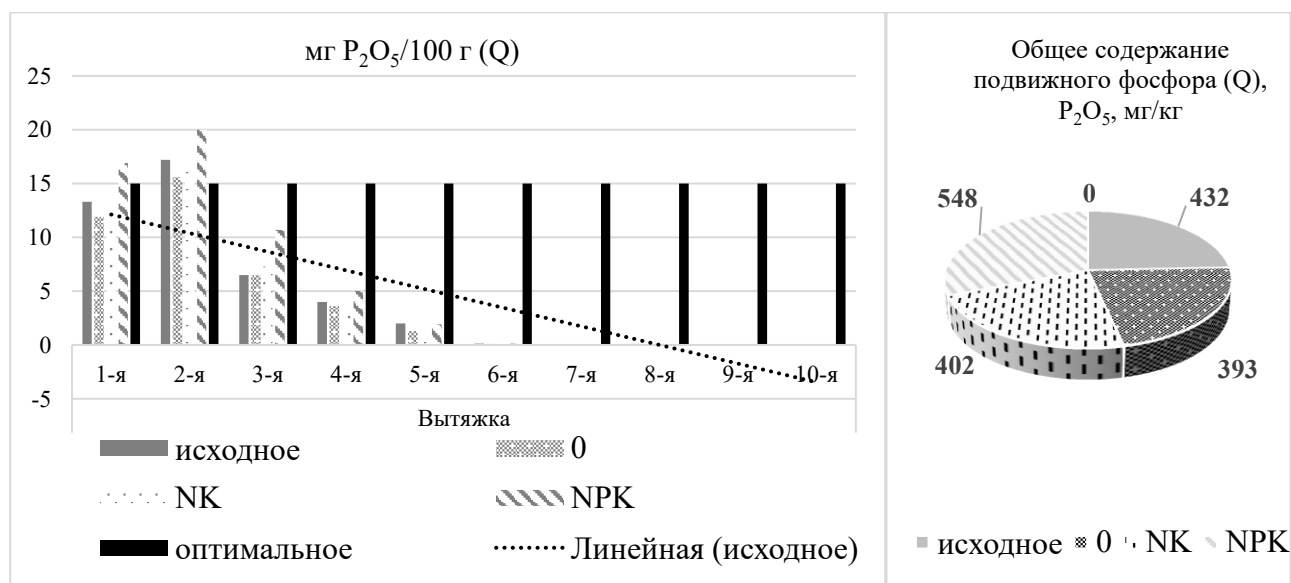


Рисунок 5. Влияние минеральных удобрений на изменение фосфатной ёмкости (Q) почвы в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного при выращивании картофеля.

Наибольшее количество подвижного фосфора, извлечённого 10-ю последовательными вытяжками, в пересчёте на 1 га получено в варианте N80P80K160 – около 1100 кг. В остальных вариантах оно было примерно одинаковым, уменьшаясь в ряду: исходное – N80160 – контроль и составляло в среднем примерно 800 кг P_2O_5 /га. Показатели подвижности фосфора в чернозёме выщелоченным после ежегодного применения удобрений в течение 3-х лет в вариантах NK и NPK были примерно одинаковыми. В контроле вытеснение фосфора в 1,7 раза превышало его поглощение и свидетельствовало о высокой доступности фосфора растениям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что наибольшая степень подвижности фосфора и фосфатная ёмкость характерны для целинной серой лесной почвы, в которой эти показатели составляли 200 и 600 кг P_2O_5 /га, соответственно. При использовании этой почвы в овощном агроценозе без применения удобрений степень подвижности фосфора не изменялась, а фосфатная ёмкость уменьшалась в 3 раза, составляя в среднем 200 кг P_2O_5 /га. Тёмно-серая лесная почва в зерновом агроценозе поглощала в пахотном слое 300 и 400 кг P_2O_5 /га, что в среднем в 1,5 и 2 раза больше, чем серая лесная почва. Скорость поглощения фосфора заметно увеличивалась в тёмно-серой лесной почве зернового агроценоза и в целинной серой лесной почве. Содержание легкодоступного фосфора (I), извлечённого из пахотного слоя серой лесной почвы, зависело от гумуса ($r = 0,53$), обменных оснований ($r = 0,93$) и кальция ($r = 0,80$). В тёмно-серой почве зернового агроценоза количество поглощённого фосфора и скорость его поглощения были прямо связаны с содержанием гумуса ($r = 0,98$ и $r = 0,74$, соответственно). Существенное прямое влияние на величину поглощения форм фосфора оказывали величина pH (соответственно, $r = 0,83$ и $r = 0,57$), содержание обменных оснований ($r = 1,00$ и $r = 0,60$) и кальция ($r = 0,99$ и $r = 0,71$).

В чернозёме выщелоченном при выращивании картофеля в течение 3-х лет с ежегодным применением минеральных удобрений наибольшее суммарное количество обеих форм фосфора в последовательных вытяжках извлекалось в варианте с внесением NPK-удобрений – около 60 и 1100 кг P_2O_5 /га, соответственно, которое может компенсировать вынос фосфора картофелем и обладать определенным последствием.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверкина С.С. Структура фосфатного фонда почв Сибири по качественному составу // Инновации и продовольственная безопасность. 2018. № 2(20). С. 80–86.
- Аверкина С.С. Региональные особенности и оценка методов определения подвижных фосфатов в почвах Новосибирской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2019. № 3(52). С. 7–16. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-52-3-7-16>
- Аверкина С.С., Якутина О.П. Методы определения подвижных фосфатов в почвах Западной Сибири и их диагностическая ценность // Проблемы агрохимии и экологии. 2013. № 2. С. 53–60.
- Адерихин П.Г. Роль обменных катионов в поглощении фосфорной кислоты чернозёмами // Почвоведение. 1949. № 5. С. 302–305.
- Адерихин П.Г. Фосфор в почвах и земледелии центрально-чернозёмной полосы. Воронеж: Издательство ВГУ, 1970. 248 с.
- Акимов А.С. Круговорот соединений фосфора в почве // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 8(134). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.38>
- Антипина Л.П. Фосфор в почвах Сибири. Автореферат диссертации ... д-ра с.-х. наук. Омск, 1991. 32 с.
- Антонова О.И. Формы фосфора в почвах Алтайского края // Фосфор в почвах Сибири: Сборник научных трудов. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1983. С. 21–31.
- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: Издательство МГУ, 1970. 487 с.
- Бойко В.С., Тимохин А.Ю., Якименко В.Н. Изменение фосфатного состояния почв лесостепи Западной Сибири // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 1. С. 29–33. <https://doi.org/10.31857/S2500262721010075>
- Воронкова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А., Цыганова Н.А. Агрохимическая оценка фосфатного режима лугово-чернозёмной почвы в агроценозе // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 6–15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8272626>

- Галеева Л.П. Физико-химические свойства и фосфатный режим серых лесных почв в агроценозах // *Агрохимия*. 2010. № 11. С. 13–20.
- Галеева Л.П. Влияние удобрений на плодородие почв северной лесостепи Западной Сибири. Диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук. Новосибирск, 2013. 340 с.
- Галеева Л.П. Поглощение фосфора серыми лесными почвами агроценозов северной лесостепи Приобья // Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, приуроченной к 65-летию кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского государственного аграрного университета (Ставрополь, 4-5 октября 2018 г.). Ставрополь: СЕКВОЙЯ, 2018. С. 155–157.
- Галеева Л.П. Сорбция и десорбция фосфора чернозёмом выщелоченным Новосибирского Приобья при внесении минеральных удобрений под картофель // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 238–242. <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Галеева Л.П. Влияние минеральных удобрений на фосфатный фонд чернозёма выщелоченного и продуктивность зерновых культур // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2024. № 2(71). С. 25–36. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-71-2-25-36>
- Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. Москва: Наука, 1981. 244 с.
- Гинзбург К.Е., Лебедева Л.С. Методика определения минеральных форм фосфора в почвах // *Агрохимия*. 1971. № 1. С. 125–135.
- Груздева Н.А., Ерёмин Д.И. Фосфатный режим пахотных серых лесных почв Северного Зауралья // *Агрохимический вестник*. 2017. № 5. С. 12–15.
- Ермолаев О.Т. Фосфор: трансформация в почве, поглощение растениями. Тюмень, 2007. 352 с.
- Карпинский Н.П., Замятина В.Б. Фосфатный уровень почвы // *Почвоведение*. 1958. № 11. С. 27.
- Карпинский Н.П., Глазунова Н.М. Подвижные фосфаты, их доступность растениям и действие удобрений // Основные условия эффективного применения удобрений. Москва: Наука, 1983. С. 191–205.
- Карпинский Н.П., Глазунова Н.М. Изменение степени подвижности почвенных фосфатов в длительных микрополевых опытах при внесении фосфорных удобрений // *Агрохимия*. 1993. № 9. С. 3–13.
- Кочергин А.Е. Фосфатный фонд почв и его доступность растениям // Почвы Западной Сибири и повышение их плодородия. Омск: Омский СХИ, 1984. С. 12–19.
- Кушниренко Ю.Д., Брагин В.Н. Фосфатный режим выщелоченного чернозёма и продуктивность севооборота при длительном применении удобрений // *Агрохимический вестник*. 2005. № 2. С. 16–18.
- Макарикова Р.П., Барсуков П.А. Изменение фракционного состава фосфора почв Сибири при систематическом применении удобрений // *Сибирский экологический журнал*. 1998. № 6. С. 525–529.
- Макаров М.И. Фосфор органического вещества почв. Москва: ГЕОС, 2009. 396 с.
- Наумова Н.Б., Макарикова Р.П. Динамика содержания различных форм фосфора в тёмно-серой лесной почве под влиянием внесения фосфорных удобрений и глюкозы // *Агрохимия*. 2002. № 12. С. 12–20.
- Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований. Москва: КолосС, 2004. 312 с.
- Практикум по почвоведению / под ред. И.С. Кауричева. Москва: Агропромиздат, 1986. 336 с.
- Рогова О.Б., Колобова Н.А., Иванов А.Л. Сорбционная способность серой лесной почвы в отношении фосфора в зависимости от системы удобрения // *Почвоведение*. 2018. № 5. С. 573–579. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18050064>
- Славнина Т.П. Запасы и формы фосфора в почвах Томской области // *Труды Томского гос. ун-та*. Томск, 1954. Том 130. С. 57–68.
- Соколов А.В. Агрохимия фосфора. Москва-Ленинград: Издательство АН СССР, 1950. 152 с.
- Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. 2-е издание. Новосибирск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. 222 с.
- Сосорова С.Б. Сорбция фосфора почвами Западного Забайкалья // *Агрохимия*. 2022. № 3. С. 3–11. <https://doi.org/10.31857/S0002188122030115>
- Сушеница Б.А. Фосфатный уровень почв и его регулирование. Москва Колос, 2007. 376 с.

Шеуджен А.Х. Агробιοхимия чернозёма. 2-е изд. доп. и перераб. Майкоп: ОАО «Полиграф – ЮГ», 2018. С. 92–110.

Поступила в редакцию 22.04.2025

Принята 05.12.2025

Опубликована 12.01.2026

Сведения об авторе:

Галеева Любовь Павловна – доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, доцент, профессор кафедры почвоведения, агрохимии и земледелия ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» (г. Новосибирск, Россия); liub.galeeva@yandex.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Phosphorus forms in the soils of the Novosibirsk Near-Ob region

© 2026 L. P. Galeeva

Novosibirsk State Agrarian University, 160 Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: liub.galeeva@yandex.ru

The aim of the study was to study changes in mobility (*I*) and phosphate capacity (*Q*) in gray forest soils and leached chernozems in various agrocenoses with and without mineral fertilizers application in comparison with the similar undisturbed soils.

Location of the study. The research was conducted in the northern forest-steppe of the Novosibirsk region.

Methods. The method of soil pits digging, field and laboratory experiments, and agrochemical methods for analyzing soil samples by using generally accepted methods were used. Correlation analysis was performed.

Results. The absorption and displacement of readily available and mobile phosphorus and their relationship with other soil properties in the gray forest soils and leached chernozems from various agrocenose were compared with the ones for their undisturbed counterparts. The undisturbed gray forest soil was found to absorb the largest amount of phosphorus, i.e. 200 and 600 kg of P_2O_5 /ha, respectively. When the soil was used for 15 years in a vegetable agrocenosis without fertilizers, phosphorus mobility did not change, but the phosphate capacity decreased by 3 times. The dark gray soil, used for 30 years in a grain agrocenosis, absorbed on average 300 and 400 kg of P_2O_5 /ha. In the leached chernozem, cropped for potatoes, the highest amount of phosphorus was in the NPK-fertilized soil, i.e. about 60 and 1100 kg of P_2O_5 /ha, respectively, which can compensate for the removal of phosphorus by potatoes and have a lasting effect.

Conclusions. Increased mineralization of organic matter in the gray forest soil in the vegetable crop rotation reduced the mobile phosphate content by two times and did not affect the degree of phosphorus mobility, the value of which directly depended on the content of humus and calcium. In the dark gray arable soil of the grain agrocenosis, the amount and rate of phosphorus absorption were directly related to the humus content. pH value and the exchangeable bases and calcium content had significant impact on soil phosphorus absorption capacity.

Keywords: degree of phosphorus mobility; phosphate capacity of soil; gray soil; leached chernozem; agrocenosis.

How to cite: Galeeva L.P. Phosphorus forms in the soils of the Novosibirsk Near-Ob region. The Journal of Soils and Environment. 2026. 9(1). e331. DOI: [10.31251/pos.v9i1.311](https://doi.org/10.31251/pos.v9i1.311) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Averkina S.S. The structure of the phosphate fund of Siberian soils by qualitative composition. Innovations and Food Safety. 2018. No. 2(20). P. 80–86. (in Russian).
- Averkina S.S. Regional features and evaluation of the methods aimed at labile phosphates determination in the soil of Novosibirsk region. Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2019. No. 3(52). P. 7–16. (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-52-3-7-16>
- Averkina S.S., Yakutina O.P. Determination of available phosphorus in soils of Western Siberia. Diagnostic value of different soil tests. Agrochemistry and Ecology Problems. 2013. No. 2. P. 53–60. (in Russian).
- Aderikhin P.G. The role of exchange cations in the absorption of phosphoric acid by chernozems. Pochvovedenie. 1949. No. 5. P. 302–305. (in Russian).
- Aderikhin P.G. Phosphorus in soils and agriculture of the central chernozem zone. Voronezh: VSU Publishing House, 1970. 248 p. (in Russian).

- Akimova A.S. Phosphorus cycle in the soil. International Research Journal. 2023. No. 8(134). (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.38>
- Antipina L.P. Phosphorus in the soils of Siberia. Abstract of Dissertation. ... Dr. of Agricultural Sci. Omsk, 1991. 32 p. (in Russian).
- Antonova O.I. Forms of Phosphorus in the Soils of the Altai Territory. In book: Phosphorus in the Soils of Siberia. Collection of Scientific Papers. Novosibirsk: SB VASKhNIL, 1983. P. 21–31. (in Russian).
- Arinushkina E.V. Manual on Chemical Analysis of Soils. Moscow: Moscow State University Press, 1970. 487 p. (in Russian).
- Boyko V.S., Timokhin A.Yu., Yakimenko V.N. Change in the phosphate state of soils of the forest steppe of Western Siberia at the systematic application of fertilizers. Russian Agricultural Sciences. 2021. No. 1. P. 29–33. (in Russian).
- Voronkova N.A., Balabanova N.F., Volkova V.A., Tsyganova N.A. Agrochemical assessment of the phosphate regime of meadow-chnozem soil in agrocenosis. Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 6–15. (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.8272626>
- Galeva L.P. Properties and phosphate status of gray forest soils in agrocenoses. Agrokhimia. 2010. No. 11. C. 13–20. (in Russian).
- Galeeva L.P. The Effect of Fertilizers on Soil Fertility in the Northern Forest-Steppe of Western Siberia. Dissertation ... Doctor of Agricultural Sciences. Novosibirsk, 2013. 340 p. (in Russian).
- Galeeva L.P. Phosphorus absorption by gray forest soils of agrocenoses of the northern forest steppe of the Ob region. In book: Theoretical and technological foundations of biogeochemical flows of substances in agrolandscapes. A collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of the Department of Agrochemistry and Plant Physiology of Stavropol State Agrarian University (Stavropol, 4–5 October, 2018). Stavropol: SEQUOIA, 2018. P. 155–157. (in Russian).
- Galeeva L.P. Sorption and desorption of phosphorus by leached chernozem of the Novosibirsk Ob region when applying mineral fertilizers for potatoes. In book: Soils and the Environment [Electronic resource]. Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, 2–6 October, 2023). Novosibirsk: ISSA SB RAS, 2023. P. 238–242. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Galeeva L.P. The effect of mineral fertilizers on the phosphate stock of leached chernozem and the productivity of grain crops. Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024. No. 2(71). P. 25–36. (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-71-2-25-36>
- Ginzburg K.E. Phosphorus in the main types of soils in the USSR. Moscow: Nauka Publ., 1981. 244 p. (in Russian).
- Ginzburg K.E., Lebedeva L.S. Methodology for determining mineral forms of phosphorus in soils. Agrokhimia 1971. No. 1. P. 125–135. (in Russian).
- Gruzdeva N.A., Eremin D.I. Phosphate regime of arable gray forest soils of the Northern Trans-Ural. Agrochemical Herald. 2017. No. 5. P. 12–15. (in Russian).
- Ermolaev O.T. Phosphorus: transformation in soil, absorption by plants. Tyumen, 2007. 352 p. (in Russian).
- Karpinsky N.P., Zamyatina V.B. Phosphate level of soil. Pochvovedenie. 1958. No. 11. P. 27. (in Russian).
- Karpinsky, N.P., Glazunova N.M. Mobile phosphates, their availability to plants and the effect of fertilizers. In book: Basic conditions for the effective use of fertilizers. Moscow: Nauka Publ., 1983. P. 191–205. (in Russian).
- Karpinsky, N.P., Glazunova N.M. Change in the mobility of soil phosphates in long-term micro-field experiments with phosphorus fertilizers. Agrokhimia 1993. No. 9. P. 3–13. (in Russian).
- Kochergin A.E. Phosphate Fund of Soils and Its Availability to Plants. In book: Soils of Western Siberia and increasing their fertility. Omsk: Omsk Agricultural Institute, 1984. P. 12–19. (in Russian).
- Kushnirenko Yu.D., Bragin V.N. Phosphate regime of leached chernozem and crop rotation productivity with prolonged use of fertilizers. Agrochemical Herald. 2005. No. 2. P. 16–18. (in Russian).
- Makarikova R.P., Barsukov P.A. Changes in the fractional composition of phosphorus in Siberian soils under systematic application of fertilizers. Sibirskij Ekologicheskij Zhurnal. 1998. No. 6. P. 525–529. (in Russian).
- Makarov M.I. Phosphorus in soil organic matter. Moscow: GEOS, 2009. 396 p. (in Russian).
- Naumova N.B., Makarikova R.P. Dynamics of the content of various forms of phosphorus in dark gray forest soil under the influence of phosphorus fertilizers and glucose. Agrokhimia. 2002. No. 12. P. 12–20. (in Russian).
- Piskunov A.S. Methods of agrochemical research. Moscow: KolosS, 2004. 312 p. (in Russian).
- Soil science workshop / edited by I.S. Kaurichev. Moscow: Agropromizdat, 1986. 336 p. (in Russian).

- Rogova O.B., Kolobova N.A., Ivanov A.L. Phosphorus sorption capacity of gray forest soil as dependent on fertilization system. Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. No. 5. P. 536–541. <https://doi.org/10.1134/S1064229318050101>
- Slavnina T.P. Reserves and forms of phosphorus in the soils of the Tomsk region. In book: Proceedings of Tomsk State University. Tomsk, 1954. Vol. 130. P. 57–68. (in Russian).
- Sokolov A.V. Agrochemistry of phosphorus. Moscow-Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1950. 152 p. (in Russian).
- Sorokin O.D. Applied Statistics on a Computer. 2nd ed. Novosibirsk: GUP RPO SO RASHN, 2009. 222 p. (in Russian).
- Sosorova S.B. Phosphorus sorption by soils of Western Transbaikal. Agrokhimia. 2022. No. 3. P. 3–11. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188122030115>
- Sushenitsa B.A. Phosphate level in soils and its regulation. Moscow: Kolos, 2007. 376 p. (in Russian).
- Sheudzhen A.H. Agrobiogeochemistry of chernozem. 2nd ed. additional and revised Maikop: JSC "Polygraph – YUG", 2018. P. 92–110. (in Russian).

*Received 22 April 2025
Accepted 05 December 2025
Published 12 January 2026*

About the author:

Lyubov P. Galeeva – Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Associate Professor, Professor of the Department of Soil Science, Agrochemistry and Agriculture of the Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia); liub.galeeva@yandex.ru

The author read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)