

Влияние высоких доз суперфосфата на групповой и фракционный состав фосфатов темно-серой лесной почвы

Л. Б. Каренгина^{1✉}, Ю. Л. Байкин¹, Ю. Г. Байкенова¹

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: karengina.mila@yandex.ru

Аннотация. Целью работы являлось изучение влияния высоких доз суперфосфата на урожайность кормовых бобов и состав фосфатов в темно-серой лесной почве. **Методы исследований.** Исследования проведены в микрополевым опыте. Дозы суперфосфата рассчитаны с учетом повышения содержания фосфора от средней степени до очень высокой. Общее содержание фосфора определяли после прокалывания почвы, а минеральную группу – в естественном состоянии почвы в вытяжке 0,2н серной кислоты, фракционный состав – по методу С. Чанга и М. Джексона. **Результаты.** Высокие дозы суперфосфата (степень обеспеченности фосфором высокая и очень высокая) без внесения азотных и калийных удобрений значительно снижают продуктивность бобов. Оптимальным содержанием подвижного фосфора является повышенная степень обеспеченности (101–150 мг/кг по Кирсанову). Высокие дозы суперфосфата увеличивают общее содержание фосфатов в два раза по отношению к исходной почве, минеральные фосфаты составляют 77 %, органофосфаты – 22,8–23,3 %. Анализ фракционного состава минеральных фосфатов показал, что применение водорастворимых фосфорных удобрений увеличивает количество фосфатов всех фракций. Фракция рыхлосвязанных фосфатов возрастает с 5 мг/кг почвы при средней степени обеспеченности до 14 мг/кг при очень высокой. От общего количества минеральных фосфатов фосфаты кальция занимают 20–23 %, фосфаты алюминия – 12,5–14,9 %. Доля феррофосфатов практически не меняется от дозы суперфосфата и составляет 25,3–25,7 %. Фракция труднорастворимых фосфатов наиболее значительна: при повышенной степени обеспеченности содержание фосфатов равняется 438 мг/кг и увеличивается при очень высокой степени обеспеченности до 529 мг/кг почвы, это 37,1–38,8 % от общего количества минеральной группы фосфатов. **Научная новизна** заключается в расчете дозы фосфорного удобрения с учетом ступенчатого перехода от одной степени обеспеченности в другую, от средней до повышенной, высокой и очень высокой. Такой подход к расчету доз удобрений позволяет дифференцировать и дозы азотно-калийных удобрений.

Ключевые слова: темно-серая лесная почва, дозы суперфосфата, степень обеспеченности, кормовые бобы, групповой, фракционный состав.

Для цитирования: Каренгина Л. Б., Байкин Ю. Л., Байкенова Ю. Г. Влияние высоких доз суперфосфата на групповой и фракционный состав фосфатов темно-серой лесной почвы // Аграрный вестник Урала. 2020. Специальный выпуск «Биология и биотехнологии». С. 19–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-14-119-27.

Дата поступления статьи: 30.10.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Фосфор является одним из ключевых элементов питания, влияющих на энергетические процессы (сохранение и передача энергии) в клетках растения. Это важный показатель плодородия и окультуренности почвы [1]. Вопрос о формах фосфорных соединений в почве, их растворимости и доступности растениям является весьма сложным. Сложность его обусловлена тем, что трехосновная ортофосфорная кислота может образовывать соли с катионами щелочноземельных оснований и полуторными окислами с разной степенью основности и растворимости.

Растворимость солей зависит от соотношения катионов и полуторных окислов к P_2O_5 . При соотношении 1:1 соли водорастворимы, при 2:1 не растворяются в воде, но переходят в раствор слабых кислот, при 3:1 растворяются только в сильных кислотах.

Оптимизация фосфорного режима является важной частью разработки оптимальных параметров свойств почвы. Отсутствие должного финансирования и снижение тем-

пов химизации ведет к падению почвенного плодородия и постепенной деградации почв. Увеличение площади пашни с низким содержанием фосфора в почве наблюдается практически по всем регионам России [2–4]. В Уральском федеральном округе 48,1 % пахотных земель с низким содержанием подвижного фосфора [5]. Но одновременно фиксируется очень высокое содержание почвенных фосфатов вследствие техногенной фосфатизации почв около промышленных и больших животноводческих предприятий, а также в некоторых регионах: Калининградской, Мурманской, Ленинградской областях, в республиках Карелия, Коми [6–8].

Избыток фосфора в почве нарушает ионный баланс, что негативно сказывается на питании растений, повышает экологическое неблагополучие, ведет к образованию нетипичных для естественных почв соединений, увеличивает эвтрофикацию водных источников, резко снижает рост биомассы растений, создает дисбаланс питательных элементов в почве.

Избыток фосфора в почве нарушает ионный баланс, что негативно сказывается на питании растений, повышает экологическое неблагополучие, ведет к образованию нетипичных для естественных почв соединений, увеличивает эвтрофикацию водных источников, резко снижает рост биомассы растений, создает дисбаланс питательных элементов в почве [9], [10].

В настоящее время много внимания уделяется изучению возможности и целесообразности внесения фосфора и калия в дозах, рассчитанных на ряд лет [11], [12].

При таком способе внесения в первые годы содержание фосфора в почве превышает очень высокую степень обеспеченности почвы этим элементом.

Пока не существует универсального метода определения доступных растению фосфатов, а стандартные методы не всегда объективно характеризуют фосфатный режим почв [13]. Поэтому многие исследователи считают, что наряду с определением подвижных форм фосфатов следует изучать их фракционный состав [14–17].

В Уральском федеральном округе публикаций о фракционном составе почвенных фосфатов практически нет. Исследователи в основном изучают содержание и динамику подвижного фосфора в почве [18–20]. Исключением является статья А. Н. Исупова [21], в которой приведены

данные по изменению фракционного состава фосфатов при мелиорации дерново-подзолистой почвы.

Целью исследования является изучение влияния высоких доз суперфосфата на урожайность кормовых бобов и на содержание валового, минерального и органического фосфора в темно-серой лесной почве и определение фракционного состава минеральной группы.

Методология и методы исследования (Methods)

Изучение влияния возрастающих доз суперфосфата на содержание фосфорных соединений в почве проводили микрополевым методом с темно-серой лесной среднесуглинистой почвой: реакция среды – близкая к нейтральной, насыщенность основаниями – высокая, степень обеспеченности азотом (щелочерастворимым) – низкая, подвижными формами фосфора и калия (по Кирсанову) – средняя. Почва по степени окультуренности относится к группе освоенных. Опытная культура – кормовые бобы. В качестве фосфорного удобрения использовали двойной суперфосфат (43 % P₂O₅). Азотно-калийные удобрения не вносили. Дозы суперфосфата рассчитаны с учетом увеличения содержания подвижного фосфора от среднего (51–100) до повышенного (101–150), высокого (151–250) и очень высокого (более 250 мг/кг почвы) [22]. Рассчитанные дозы фосфора приведены в таблице 1.

Таблица 1
Расчетные дозы фосфора

Степень обеспеченности фосфором	Дозы фосфора, кг/га действующего вещества	Удобрения	
		ц/га	На 5 кг почвы, г
Средняя	0	0	0
Повышенная	270	5,8	1,25
Высокая	720	15,6	2,34
Очень высокая	1170	25,4	5,44

Table 1
Estimated doses of phosphorus

Degree of phosphorus availability	Doses of phosphorus, kg/ha of active substance	Fertilizers	
		c/ga	For 5 kg of soil, g
Average	0	0	0
Increased	270	5.8	1.25
High	720	15.6	2.34
Very high	1170	25.4	5.44

Таблица 2
Биомасса кормовых бобов, г/с сухого вещества

Степень обеспеченности фосфором	Зерно	Солома	Корни	Общая
Средняя	40,0	45,2	18,4	103,6
Повышенная	48,0	46,5	20,2	114,7
Высокая	43,0	45,6	21,0	109,6
Очень высокая	34,0	39,2	19,0	92,2

Table 2
Feed bean biomass, g/s of dry matter

Degree of phosphorus availability	Grain	Straw	Roots	Common
Average	40.0	45.2	18.4	103.6
Increased	48.0	46.5	20.2	114.7
High	43.0	45.6	21.0	109.6
Very high	34.0	39.2	19.0	92.2

Общее содержание фосфора определяли в почве после прокалывания, минеральные формы в естественной почве – путем экстрагирования 0,2н серной кислотой. Фракционный состав фосфатов определяли по методу С. Чанга и М. Джексона [23], [24].

В состав фракции рыхлосвязанных фосфатов входят фосфаты натрия, калия, аммония, двузамещенные фосфаты кальция и магния, а также свежесаждаемые трехзамещенные соли этих металлов. Во вторую фракцию входят фосфаты кальция разной степени замещения и небольшая часть свежесаждаемых фосфатов алюминия. Однозамещенные фосфаты алюминия и железа, а также часть фосфорных эфиров образуют третью фракцию. Фракция железосоединений в основном состоит из высокоосновных соединений этого катиона, поэтому в воде эти соединения нерастворимы и для питания растениям недоступны. Последняя фракция состоит из труднорастворимых, трудноизвлекаемых соединений типа апатита. Метод фракционирования не является строго селективным и характеризует не столько связи фосфатов, сколько их растворимость.

Наиболее динамичны фосфаты первых трех фракций, для них характерен переход из одной группы в другую, четвертая и пятая фракции изменяются незначительно.

Результаты (Results)

Результаты исследования показали, что дозы фосфора оказывали различное влияние на рост биологической массы растений бобов (таблица 2).

Под действием удобрений изменяются все элементы биомассы, но более значительные изменения претерпевает основная продукция – зерно. При достижении повышенной степени обеспеченности фосфором урожайность зерна увеличивается на 20 % по сравнению со средней, а при высокой обеспеченности – только на 7 %. Доза суперфосфата, внесенная для повышения содержания фосфора до очень высокой обеспеченности, снижает урожайность зерна бобов на 15 % по отношению к среднему уровню. Побочная продукция и пожнивно-корневые остатки от доз суперфосфата изменяются в меньшей степени.

Тем не менее при внесении агротука в дозе 25,4 ц/га масса соломы и корней уменьшается как по отношению к исходной почве, так и по сравнению с дозами суперфос-

фата 5,8 и 15,6 ц/га. Самая большая биомасса кормовых бобов получена при повышенной степени обеспеченности фосфором. В этом варианте доля зерна в общей биомассе составляет 41,8 %, при высокой – 39,2 %, при очень высокой – 36,8 %.

Анализ структуры урожая кормовых бобов (таблица 3) показывает, что одностороннее удобрение фосфором негативно сказывается на высоте растений, количестве бобов и числе зерен в них и как следствие на массе зерна с одного растения.

Лучшим вариантом оказывается внесение суперфосфата в дозе позволяющей переход из средней степени обеспеченности в группу повышенной.

Здесь наибольшее количество спелых бобов, зерен в бобе и масса зерна с одного растения. Худшие результаты по всем элементам структуры урожая получены при внесении самой высокой из изучаемых дозы суперфосфата.

Меньшее число бобов и более мелкие зерна приводят к уменьшению на 15 % массы зерна с одного растения по отношению к неудобренной почве и на 20 % по сравнению с другими дозами фосфора.

Внесение фосфорных удобрений оказывает влияние не только на продуктивность культуры, но и на содержание элементов питания в биомассе бобов.

Химический состав биомассы кормовых бобов представлен в таблице 4.

Анализ данных таблицы 4 показывает, что внесение суперфосфата изменяет содержание азота, фосфора и калия как в основной, так и в побочной продукции. Содержание азота в зерне при повышенной степени обеспеченности фосфором увеличивается на 4 %, фосфора и калия – на 17 и 9 % соответственно по сравнению с исходной почвой. Снижение содержания азота в зерне наблюдается при внесении возрастающих доз суперфосфата: при высоком уровне – на 6 %, при очень высоком – на 9 % по сравнению со средним уровнем. Количество фосфора в зерне бобов этих вариантов увеличивается на 9 %, калий остается на уровне средней обеспеченности. В соломе внесение суперфосфата повышает содержание азота и фосфора в удобренных вариантах по сравнению с неудобренным на 0,1–0,3 % в абсолютных цифрах.

Таблица 3
Некоторые элементы структуры урожая кормовых бобов

Степень обеспеченности фосфором	Высота растений, см	Число бобов на 1 растении, шт.	Число зерен в бобе, шт.	Масса зерна с 1 растения, г
Средняя	77,0	4,75	2,1	10,0
Повышенная	70,0	5,10	2,4	12,0
Высокая	60,0	5,00	2,0	10,6
Очень высокая	59,0	4,50	2,1	8,5

Table 3
Some elements of the structure of the feed bean crop

Degree of phosphorus availability	Plant height, cm	Number of beans per 1 plant, pcs.	Number of grains in a bean, pcs.	Grain weight per 1 plant, g
Average	77.0	4.75	2.1	10.0
Increased	70.0	5.10	2.4	12.0
High	60.0	5.00	2.0	10.6
Very high	59.0	4.50	2.1	8.5

Таблица 4

Содержание элементов питания в биомассе бобов, % на сухое вещество

Степень обеспеченности фосфором	Зерно	Солома	Корни
Средняя	4,6 – 1,2 – 1,1*	0,5 – 0,3 – 1,3	1,40 – 0,50 – 1,0
Повышенная	4,8 – 1,4 – 1,2	0,8 – 0,4 – 1,5	1,45 – 0,52 – 1,1
Высокая	4,4 – 1,3 – 1,1	0,7 – 0,5 – 1,1	1,42 – 0,58 – 1,1
Очень высокая	4,2 – 1,3 – 1,1	0,6 – 0,5 – 1,4	1,30 – 0,60 – 1,0

* Здесь и далее: первая цифра – азот (N), вторая – фосфор (P₂O₃), третья – калий (K₂O).

Table 4

The content of nutrients in the biomass of beans, % on dry matter

Degree of phosphorus availability	Grain	Straw	Roots
Average	4.6 – 1.2 – 1.1*	0.5 – 0.3 – 1.3	1.40 – 0.50 – 1.0
Increased	4.8 – 1.4 – 1.2	0.8 – 0.4 – 1.5	1.45 – 0.52 – 1.1
High	4.4 – 1.3 – 1.1	0.7 – 0.5 – 1.1	1.42 – 0.58 – 1.1
Very high	4.2 – 1.3 – 1.1	0.6 – 0.5 – 1.4	1.30 – 0.60 – 1.0

* Hereinafter: the first digit is nitrogen (N), the second is phosphorus (P₂O₃), and the third is potassium (K₂O).

Таблица 5

Биологический вынос элементов питания бобами, г/сосуд

Степень обеспеченности фосфором	Зерно	Солома	Корни	Общий
Средняя	1,84 – 0,48 – 0,44	0,23 – 0,14 – 0,59	0,26 – 0,09 – 0,18	2,33 – 0,71 – 1,16
Повышенная	2,30 – 0,67 – 0,58	0,37 – 0,19 – 0,70	0,29 – 0,10 – 0,22	2,96 – 0,96 – 1,50
Высокая	1,89 – 0,56 – 0,47	0,32 – 0,23 – 0,64	0,30 – 0,12 – 0,23	2,51 – 0,91 – 1,34
Очень высокая	1,43 – 0,44 – 0,37	0,23 – 0,20 – 0,55	0,25 – 0,11 – 0,19	1,91 – 0,75 – 1,11

Table 5

Biological removal of food elements by beans, g/vessel

Degree of phosphorus availability	Grain	Straw	Roots	Common
Average	1.84 – 0.48 – 0.44	0.23 – 0.14 – 0.59	0.26 – 0.09 – 0.18	2.33 – 0.71 – 1.16
Increased	2.30 – 0.67 – 0.58	0.37 – 0.19 – 0.70	0.29 – 0.10 – 0.22	2.96 – 0.96 – 1.50
High	1.89 – 0.56 – 0.47	0.32 – 0.23 – 0.64	0.30 – 0.12 – 0.23	2.51 – 0.91 – 1.34
Very high	1.43 – 0.44 – 0.37	0.23 – 0.20 – 0.55	0.25 – 0.11 – 0.19	1.91 – 0.75 – 1.11

Под действием фосфорных удобрений в корнях количество азота возрастает только при повышенной обеспеченности и уменьшается при очень высокой, фосфор увеличивается от 4 до 20 % по сравнению со средней обеспеченностью.

Прирост биомассы и изменение ее химического состава при внесении суперфосфата влияют на биологический вынос элементов питания кормовыми бобами (таблица 5).

Данные таблицы 5 свидетельствуют о том, что увеличение доз фосфора сверх повышенной степени обеспеченности неблагоприятно сказывается на выносе элементов питания кормовыми бобами: снижается вынос азота, фосфора и калия, особенно при очень высокой степени обеспеченности.

Одной из составляющих мониторинга почвенного плодородия является изучение фосфатного режима почв, так как все процессы обмена веществ в растении связаны с образованием фосфорной кислоты. Оптимальный уровень фосфорного питания не только обеспечивает увеличение урожая, но и значительно влияет на его качество. Оптимальное содержание подвижного фосфора в зависимости от типа почв в условиях Свердловской области составляет 120–200 мг/кг почвы. Более полное представление о фосфорных соединениях в почве и их доступности для питания растений можно получить, если знать содержание не только подвижных, но и других форм фосфатов почвы.

Интенсивность накопления валового фосфора и других групп фосфатов почвы зависит от многих факторов, в том числе от доз и форм фосфорных удобрений и продолжительности их применения [25–27].

Групповой состав фосфорных соединений темно-серой лесной почвы представлен в таблице 6.

Внесение суперфосфата увеличивает содержание всех групп почвенных фосфатов. При достижении повышенной степени обеспеченности фосфором содержание его увеличивается на 67 %, а при высокой – на 94 % по отношению к средней степени обеспеченности. Наибольший прирост общего фосфора отмечен при достижении очень высокой степени обеспеченности. По сравнению с исходной почвой содержание общего фосфора возросло в два раза.

Группа минеральных фосфатов в зависимости от доз суперфосфата возрастает в абсолютных значениях на 400–675 мг/кг почвы и составляет 77 % от общего содержания.

Органические соединения фосфора в почве представлены продуктами биологического синтеза (неспецифические органофосфаты) и продуктами гумусообразования. Это фосфогумусовые специфические вещества: фосфорные эфиры, относящиеся к соединениям нуклеиновых кислот, фосфолипидам и инозитфосфатам, сахарофосфаты, нуклеопротеиды, гумусовые вещества, нуклеиновые кислоты и т. д. [17].

Таблица 6

Групповой состав почвенных фосфатов в зависимости от доз суперфосфата, мг/кг почвы

Степень обеспеченности фосфором	Общий (валовый)	Минеральный	Органический
Средняя	900	750	150
Повышенная	1500	1150	350
Высокая	1750	1350	400
Очень высокая	1850	1425	425

Table 6

Group content of soil phosphates depending on doses of superphosphate, mg/kg of soil

Degree of phosphorus availability	Gross	Mineral	Organic
Average	900	750	150
Increased	1500	1150	350
High	1750	1350	400
Very high	1850	1425	425

Таблица 7

Фракционный состав почвенных фосфатов в зависимости от доз суперфосфата, мг/кг почвы

Степень обеспеченности фосфором	Рыхло-связанные	Фосфаты кальция	Алюмофосфаты	Феррофосфаты	Труднорастворимые
Средняя	5,0	135,0	112,0	210,0	288,0
Повышенная	10,0	230,0	160,0	312,0	438,0
Высокая	12,0	297,0	170,0	347,0	524,0
Очень высокая	14,0	335,0	187,0	360,0	529,0

Table 7

Fractional content of soil phosphates depending on doses of superphosphate, mg/kg

Degree of phosphorus availability	Friable phosphates	Calcium phosphates	Alumino-phosphates	Ferrophosphates	Sparingly soluble phosphates
Average	5.0	135.0	112.0	210.0	288.0
Increased	10.0	230.0	160.0	312.0	438.0
High	12.0	297.0	170.0	347.0	524.0
Very high	14.0	335.0	187.0	360.0	529.0

Количество фосфатов органической природы меньше минеральных: в исходной почве в пять раз, в вариантах с внесением суперфосфата – в 2,3–3,3 раза. Содержание органофосфатов практически не меняется от доз суперфосфата по отношению к валовому содержанию (22,8–23,3 %), но увеличивается по сравнению с исходной почвой в абсолютных цифрах на 6,1–6,6 %.

Наиболее полную характеристику фосфатного состояния почвы дает учет запасов подвижных форм фосфатов, их растворимость и фракционный состав минеральной группы. Внесение фосфорных удобрений увеличивает содержание фосфора во всех фракциях (таблица 7). Это отмечено во всех публикациях по изменению фракционного состава почвенных фосфатов при внесении фосфорных удобрений [7], [15], [17], [21].

Фракция рыхлосвязанных фосфатов составляет очень незначительную часть минеральных фосфатов и варьирует в пределах 0,6–1,0 %. Содержание фосфора в этой фракции подвержено резким колебаниям: максимальное количество его наблюдается в начале вегетации и уменьшается к концу вегетационного периода. Фракция рыхлосвязанных фосфатов является самой доступной для питания растений и значительно увеличивается от доз суперфосфата: при очень высокой степени обеспеченности содержание фосфора достигает 14,0 мг/кг почвы против 5,0 при средней степени обеспеченности, т. е. увеличивается в 2,8 раза.

Фосфаты кальция составляют 20–23 % от общего содержания минеральных соединений фосфора. По сравнению с исходной почвой количество их возрастает в зависимости от доз суперфосфата: при достижении повышенной степени обеспеченности на 95, высокой – на 162, очень высокой – на 200 мг/кг почвы. Для фракции фосфатов кальция характерна довольно длительная доступность для растений, снижение их содержания в начале вегетации, затем увеличение в конце вегетационного периода.

Доля фосфатов алюминия от общего количества минеральных фосфатов колеблется от 12,5 до 14,9 %. Возрастающие дозы суперфосфата оказывают на содержание фосфора этой фракции незначительное влияние. Фосфаты алюминия являются своеобразным резервом для пополнения в почве доступных для питания растений форм фосфорных соединений. Свежесаженные алюмофосфаты являются хорошо растворимыми и доступными растениям.

Необходимо знать содержание фосфора именно в этих трех фракциях, держать его на оптимальном уровне, не допуская критического падения. Оптимальный уровень легко растворимых фосфатов позволяет получать высокие и устойчивые урожаи полевых культур. Содержание фосфатов выше оптимального уровня делает нецелесообразным внесение фосфорных удобрений.

Больше половины (65,9–66,5 %) минеральных соединений фосфора занимают фосфаты железа и труднорастворимая (неизвлекаемая) форма фосфатов. Эти фракции недоступны для растений, фосфор может перейти в подвижные формы только после их трансформации в результате выветривания, микробиологической деятельности и т. д. Высокие дозы суперфосфата в процентном выражении несколько снижают долю феррофосфатов – 25,3–25,7 против 28,0 % в исходной почве. Труднорастворимая часть фосфатов практически не претерпевает изменений, оставаясь в пределах 37,1–38,8 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, оптимальным содержанием фосфора в темно-серой лесной почве для кормовых бобов является повышенная степень обеспеченности почвы подвижным фосфором (101–150 мг/кг), при которой отмечается самая высокая урожайность зерна бобов с лучшими показателями качества. Дальнейшее увеличение содержания подвижного фосфора нерационально без дополнительного внесения азотно-калийных удобрений, так как приводит к падению урожайности до 15 % по сравнению со средним уровнем обеспеченности и снижению доли зерна в общей биомассе.

Внесение высоких доз суперфосфата увеличивает валовые и минеральные группы почвенных соединений почвы.

Содержание органофосфатов практически не меняется от доз суперфосфата по отношению к валовому содержанию (22,8–23,3 %), но увеличивается по сравнению с исходной почвой в абсолютных цифрах на 6,1–6,6 %.

Внесение фосфорных удобрений увеличивает содержание фосфора во всех фракциях почвенных фосфатов. Фракция рыхлосвязанных фосфатов составляет очень незначительную часть минеральных фосфатов (0,6–1,0 %) и увеличивается от доз суперфосфата: при очень высокой степени обеспеченности содержание фосфора достигает 14,0 мг/кг почвы против 5,0 мг/кг при средней степени обеспеченности, что составляет прирост в 2,8 раза.

Фосфаты кальция составляют 20–23 % от общего содержания минеральных соединений фосфора, доля фосфатов алюминия колеблется от 12,5 до 14,9 %. Возрастающие дозы суперфосфата оказывают на содержание фосфора этой фракции незначительное влияние.

Высокие дозы суперфосфата в процентном выражении несколько уменьшают долю феррофосфатов – 25,3–25,7 против 28,0 % в исходной почве.

Труднорастворимая часть фосфатов практически не претерпевает изменений и составляет 37,1–38,8 %.

Библиографический список

1. Чекмарев П., Лукин С. Динамика плодородия пахотных почв, использования удобрений и урожайности сельскохозяйственных культур в Центрально-Черноземных областях России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. № 6. С. 11–18.
2. Шафран С. А. Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и ее резервы // Агрехимия. 2016. № 8. С. 3–9.
3. Авдюкова Т. В., Хруцкий С. А. Состояние плодородия почв пашни Восточной зоны Красноярского края // Земледелие. 2017. № 1. С. 25–29.
4. Klij F. Environmental susceptibility to chemicals from processes to patterns, with special reference to main characteristics and special scales // Mapping of Soil and Terrain Vulnerability to Specified Chemical Compounds in Europe, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen. Pp. 9–22.
5. Миненко А. К., Безуглов В. Г. Обеспеченность почв России основными элементами плодородия // АгроЭкоИнфо. 2007. № 1 (1). С. 3.
6. Титова В. И. К вопросу о рациональном использовании почв с очень высоким содержанием фосфора в интенсивном земледелии // Агрехимический вестник. 2017. № 1. С. 1–6.
7. Михайлюк Е. А. Проблемы антропогенного зафосфачивания почвы и возможность их микробиологической ремедиации: магистерская диссертация. Тольяттинский гос. ун-т. Институт химии и инженерной экологии. Тольятти, 2017. 92 с.
8. Нестеркин М. Г., Хлуднева Н. Н. Состояние почв Мурманской области // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 6. С. 10–14.
9. Gourley C. J. P., Aarons S. R., Hannah M. C., Awty I. M., Dougherty W. J., Burkitt L. L. Soil phosphorus, potassium and sulphur excesses, regularities and heterogeneity in grazing-based dairy farms // Agricultural ecosystems environment. 2015. No. 201. Pp. 70–82. DOI: 10.1016/j.agee.2014.12.010.
10. Soltangheisi A., Teles A. P. B., Sartor L. R., Pavinato P. S. Cover Cropping May Alter Legacy Phosphorus Dynamics Under Long-Term Fertilizer Addition // Frontiers in environmental science. 2020. No. 8. P. 13. DOI: 10.3389/fenvs.2020.00013.
11. Nunes R. S., de Sousa D. M. G., Goedert W. J., de Oliveira L. E. Z., Pavinato P. S., Pinheiro T. D. Distribution of Soil Phosphorus Fractions as a Function of Long-Term Soil Tillage and Phosphate Fertilization Management // Frontier Earth Science. 2020. No. 8. P. 350. DOI: 10.3389/feart.2020.00350.
12. Sheil T., Wall D., Culleton N., Murphy J., Grant J., Lalor S. Long-term effects of phosphorus fertilizer on soil test phosphorus, phosphorus uptake and yield of perennial ryegrass // The Journal of Agricultural Science. 2016. Vol. 154. No. 6. Pp. 1068–1081. DOI: 10.1017/S0021859615001100.
13. Аверкиева С. С., Науменко И. В. Изучение агрохимии фосфора на почвах Западной Сибири // Инновации и продовольственная безопасность. 2017. №2 (16). С. 49–70.
14. Онищенко Л. М. Агрехимические основы воспроизводства плодородия чернозема выщелоченного Западного Предкавказья и повышение продуктивности сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Краснодар, 2016. 48 с.

15. Серкова В. В. Влияние длительного применения удобрений на фосфатное состояние светло-серых почв и продуктивность зерновых культур: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саранск, 2015. 19 с.
16. Варламова Л. Д., Серкова В. В., Горячкина К. А. Влияние разных форм и доз фосфорсодержащих удобрений на урожайность кукурузы и фракционный состав фосфатов почвы // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 2 (6). С. 4–9.
17. Tiecher T., Gomes M. V., Ambrosini V. G., Amorim M. B., Bayer C. Assessing linkage between soil phosphorus forms in contrasting tillage systems by path analysis // Soil and Tillage Research. 2018. No. 175. Pp. 276–228.
18. Захарова И. А. Изменение плодородия черноземных почв лесостепной и степной зоны Челябинской области: дис. ... канд. биол. наук. Челябинск, 2016. 192 с.
19. Волынкина О. В. [и др.] Системы удобрения в агротехнологиях Зауралья: монография. Куртамыш, 2017. 284 с.
20. Чикищев Д. В. Динамика содержания подвижного фосфора в серых лесных почвах Тюменской области // Молодой ученый. 2015. № 5-6 (86). С. 62–65.
21. Исупов А. Н. Влияние известковых мелиорантов на фракционный состав минеральных фосфатов в дерново-подзолистой почве // Научное и кадровое обеспечение АПК для продовольственного импортозамещения: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ижевск, 2016. Т. 1. С. 19–22.
22. Каренгина Л. Б., Байкенова Ю. Г. К методике расчета комплексного агрохимического окультуривания полей // Аграрный вестник Урала. 2016. № 08 (15). С. 31–37.
23. Минеев В. Г. [и др.] Практикум по агрохимии: учебное пособие. 2-е изд. Москва: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
24. Воробьева Л. А. Теория и практика химического анализа почв. Москва: ГЕОС, 2006. 400 с.
25. Трофимов С. Н., Коваленко А. А. Фосфатное состояние и изменение плодородия дерново-подзолистой почвы в длительных опытах // Агрохимия. 2017. № 8. С. 3–16.
26. Никитин С. Н., Завалин А. А. Влияние удобрений и биопрепаратов на продуктивность зернопарового севооборота, потоки элементов питания и свойства чернозема выщелоченного в лесостепи Среднего Поволжья // Агрохимия. 2017. № 6. С. 12–30.
27. Кирпичников Н. А. Технологические приемы повышения эффективности фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья (данные длительных опытов) // Агрохимия. 2018. № 1. С. 61–72.

Об авторах:

Людмила Борисовна Каренгина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии, почвоведения и агроэкологии, ORCID 0000-0001-9399-9666, AuthorID 668459; +7 961 778-90-86, karengina.mila@yandex.ru

Юрий Леонидович Байкин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии, почвоведения и агроэкологии, ORCID 0000-0001-7044-5863, AuthorID 609727; +7 922 142-92-78, ubaikin@rambler.ru

Юлия Геннадьевна Байкенова¹, старший преподаватель кафедры химии, почвоведения и агроэкологии, ORCID 0000-0003-0740-1651, AuthorID 658235; baykenova.yuliya@yandex.ru

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

Effect of high doses of superphosphate on the group and fractional composition of phosphates containing in dark gray forest soil

L. B. Karengina¹✉, Yu. L. Baykin¹, Yu. G. Baykenova¹

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: karengina.mila@yandex.ru

Abstract. The purpose of the work was to study the effect of high doses of superphosphate on the yield of forage beans and the composition of phosphates in dark gray forest soil. **Research methods.** The studies were carried out in a microfield experiment. Doses of superphosphate are calculated taking into account the increase in the phosphorus content from medium to very high. The total phosphorus content was determined after calcining the soil, and the mineral group was determined in the natural state of the soil in an extract of 0.2n sulfuric acid, the fractional composition was determined by the method of S. Chang and M. Jackson. **Results.** High doses of superphosphate (the degree of phosphorus supply is high and very high) without the introduction of nitrogen and potassium fertilizers significantly reduce the productivity of beans. The optimal content of mobile phosphorus is an increased degree of supply (101–150 mg/kg according to Kirsanov). High doses of superphosphate double the total phosphate content in relation to the original soil, mineral phosphates make up 77 %, organophosphates – 22.8–23.3 %. Analysis of the fractional composition of mineral phosphates showed that the use of water-soluble phosphorus fertilizers increases the amount of phosphates of all fractions. The fraction of loosely bound phosphates increases from 5 mg/kg of soil (medium supply) to 14 mg/kg at a very high level. From the total amount of mineral phosphates, calcium phosphates occupy

20–23 %, aluminum phosphates – 12.5–14.9 %. The share of ferrophosphates practically does not change with the dose of superphosphate and is 25.3–25.7 %. The fraction of poorly soluble phosphates is the most significant: with an increased degree of supply, the content of phosphates is equal to 438 mg / kg and increases with a very high degree of supply up to 529 mg/kg of soil, this is 37.1–38.8 % of the total amount of the mineral group of phosphates. **The scientific novelty** lies in the calculation of the dose of phosphorus fertilizer, taking into account the stepwise transition from one degree of provision to another, from medium to high, high and very high. This approach to calculating the doses of fertilizers makes it possible to differentiate the doses of nitrogen-potassium fertilizers.

Keywords: dark-gray forest, doses of superphosphate, availability index, forage beans, group content, fractional content.

For citation: Karengina L. B., Baykin Yu. L., Baykenova Yu. G. Vliyanie vysokikh doz superfosfata na gruppovoy i fraktsionnyy sostav fosfatov temno-seroy lesnoy pochvy [Effect of high doses of superphosphate on the group and fractional composition of phosphates containing in dark gray forest soil] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. Special issue “Biology and biotechnologies”. Pp. 19–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-14-19-27. (In Russian.)

Paper submitted: 30.10.2020.

References

1. Chekmarev P., Lukin S. Dinamika plodorodiya pakhotnykh pochv, ispol'zovaniya udobreniy i urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v Tsentral'no-Chernozemnykh oblastiakh Rossii [Dynamics of fertility of arable soils, use of fertilizers and crop yields in the Central Black Earth regions of Russia] // International Agricultural Journal. 2017. No. 6. Pp. 11–18. (In Russian.)
2. Shafran S. A. Dinamika plodorodiya pochv Nechernozemnoy zony i ee rezervy [Dynamics of soil fertility in the Non-Chernozem zone and its reserves] // Agrokhimiya. 2016. No. 8. Pp. 3–9. (In Russian.)
3. Avdyukova T. V., Khrutskiy S. A. Sostoyanie plodorodiya pochv pashni Vostochnoy zony Krasnoyarskogo kraya [The state of soil fertility of arable land in the Eastern zone of the Krasnoyarsk Territory] // Zemledelie. 2017. No 1. Pp. 25–29. (In Russian.)
4. Klij F. Environmental susceptibility to chemicals from processes to patterns, with special reference to main characteristics and special scales // Mapping of Soil and Terrain Vulnerability to Specified Chemical Compounds in Europe, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen. Pp. 9–22
5. Minenko A. K., Bezuglov V. G., Gogmachadze G. D. Obespechennost' pochv Rossii osnovnymi elementami plodorodiya [The provision of Russian soils with the main elements of fertility] // AgroEcoInfo. 2007. No. 1 (1). P. 3. (In Russian.)
6. Titova V. I. K voprosu o ratsional'nom ispol'zovanii pochv s ochen' vysokim soderzhaniem fosfora v intensivnom zemledelii [To the question of the rational use of soils with a very high phosphorus content in intensive agriculture] // Agrochemical Herald. 2017. No. 1. Pp. 1–6. (In Russian.)
7. Mikhaylyuk E. A. Problemy antropogennogo zafosfachivaniya pochvy i vozmozhnost' ikh mikrobiologicheskoy remediatsii: masterskaya dissertatsiya [Problems of anthropogenic soil phosphating and the possibility of their microbiological remediation: master dissertation] // Tol'yatty State university. Institute of Chemistry and Environmental Engineering. Tol'yatti, 2017. 92 p. (In Russian.)
8. Nesterkin M. G., Khludneva N. N. Sostoyanie pochv Murmanskoy oblasti [Soil condition of the Murmansk region] // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. T. 32. No. 6. Pp. 10–14. (In Russian.)
9. Gourley C. J. P., Aarons S. R., Hannah M. C., Awty I. M., Dougherty W. J., Burkitt L. L. Soil phosphorus, potassium and sulphur excesses, regularities and heterogeneity in grazing-based dairy farms // Agricultural ecosystems environment. 2015. No. 201. Pp. 70–82. DOI: 10.1016/j.agee.2014.12.010.
10. Soltangheisi A., Teles A. P. B., Sartor L. R., Pavinato P. S. Cover Cropping May Alter Legacy Phosphorus Dynamics Under Long-Term Fertilizer Addition // Frontiers in environmental science. 2020. No. 8. P. 13. DOI: 10.3389/fenvs.2020.00013.
11. Nunes R. S., de Sousa D. M. G., Goedert W. J., de Oliveira L. E. Z., Pavinato P. S., Pinheiro T. D. Distribution of Soil Phosphorus Fractions as a Function of Long-Term Soil Tillage and Phosphate Fertilization Management // Frontier Earth Science. 2020. No. 8. P. 350. DOI: 10.3389/feart.2020.00350.
12. Sheil T., Wall D., Culleton N., Murphy J., Grant J., Lalor S. Long-term effects of phosphorus fertilizer on soil test phosphorus, phosphorus uptake and yield of perennial ryegrass // The Journal of Agricultural Science. 2016. Vol. 154. No. 6. Pp. 1068–1081. DOI: 10.1017/S0021859615001100.
13. Averkieva S. S., Naumenko I. V. Izuchenie agrokhimii fosfora na pochvakh Zapadnoy Sibiri [Studying the agrochemistry of phosphorus on the soils of Western Siberia] // Innovations and Food Safety. 2017. No. 2 (16). Pp. 49–70. (In Russian.)
14. Onishchenko L. M. Agrokhimicheskie osnovy vosproizvodstva plodorodiya chernozema vyshchelochennogo Zapadnogo Predkavkaz'ya i povyshenie produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Agrochemical foundations of fertility reproduction of leached chernozem in Western Ciscaucasia and increasing the productivity of agricultural crops: abstract of dissertation ... doctor of agricultural sciences] // Krasnodar, 2016. 48 p. (In Russian.)

15. Serkova V. V. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobreniy na fosfatnoe sostoyanie svetlo-serykh pochv i produktivnost' zernovykh kul'tur: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [The influence of long-term use of fertilizers on the phosphate state of light gray soils and the productivity of grain crops: abstract of dissertation ... candidate of agricultural sciences]. Saransk, 2015. 19 p. (In Russian.)
16. Varlamova L. D., Serkova V. V., Goryachkina K. A. Vliyanie raznykh form i doz fosforsoderzhashchikh udobreniy na urozhaynost' kukuruzy i fraktsionnyy sostav fosfatov pochvy [Influence of different forms and doses of phosphorus-containing fertilizers on corn productivity and fractional composition of soil phosphates] // Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2015. No. 2 (6). Pp. 4–9. (In Russian.)
17. Tiecher T., Gomes M. V., Ambrosini V. G., Amorim M. B., Bayer C. Assessing linkage between soil phosphorus forms in contrasting tillage systems by path analysis // Soil and Tillage Research. 2018. No. 175. Pp. 276–228.
18. Zakharova I. A. Izmenenie plodorodiya chernozemnykh pochv lesostepnoy i stepnoy zony Chelyabinskoy oblasti: dis. ... kand. biol. nauk [Changes in the fertility of chernozem soils in the forest-steppe and steppe zones of the Chelyabinsk region: dissertation ... candidate of agricultural sciences] // Chelyabinsk, 2016. 192 p. (In Russian.)
19. Volynkina O. V., et al. Sistemy udobreniya v agrotekhnologiyakh Zaural'ya: monografiya [Fertilization systems in agricultural technologies of the Trans-Urals: monograph]. Kurtamysh, 2017. 284 p. (In Russian.)
20. Chikishchev D. V. Dinamika sodержaniya podvizhnogo fosfora v serykh lesnykh pochvakh Tyumenskoy oblasti [Dynamics of the content of mobile phosphorus in gray forest soils of the Tyumen region] // Molodoy uchenyy. 2015. No. 5-6. (86). Pp. 62–65. (In Russian.)
21. Isupov A. N. Vliyanie izvestkovykh meliorantov na fraktsionnyy sostav mineral'nykh fosfatov v dernovo-podzolistoy pochve [Influence of lime ameliorants on the fractional composition of mineral phosphates in sod-podzolic soil] // Nauchnoe i kadrovoe obespechenie APK dlya prodovol'stvennogo importozameshcheniya: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Izhevsk, 2016. T. 1. Pp. 19–22. (In Russian.)
22. Karengina L. B., Baykenova Yu. G. K metodike rascheta kompleksnogo agrokhimicheskogo okul'turivaniya poley [To the methodology for calculating the complex agrochemical cultivation of fields] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. No. 08 (15). Pp. 31–37. (In Russian.)
23. Mineev V. G., et al. Praktikum po agrokhimii: uchebnoe posobie [Workshop on agrochemistry: a tutorial]. 2nd edition. Moscow: Izd-vo MGU, 2001. 689 p. (In Russian.)
24. Vorob'eva L. A. Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv [Theory and practice of chemical analysis of soils]. Moscow: GEOS, 2006. 400 p. (In Russian.)
25. Trofimov S. N., Kovalenko A. A. Fosfatnoe sostoyanie i izmenenie plodorodiya dernovo-podzolistoy pochvy v dlitel'nykh opytakh [Phosphate state and change in fertility of sod-podzolic soil in long-term experiments] // Agrokhimiya. 2017. No. 8. Pp. 3–16. (In Russian.)
26. Nikitin S. N., Zavalin A. A. Vliyanie udobreniy i biopreparatov na produktivnost' zernoparovogo sevooborota, potoki elementov pitaniya i svoystva chernozema vyshchelochennogo v lesostepi Srednego Povolzh'ya [Influence of fertilizers and biological products on the productivity of grain-fallow crop rotation, flows of nutrients and properties of leached chernozem in the forest-steppe of the Middle Volga region] // Agrokhimiya. 2017. No. 6. Pp. 12–30. (In Russian.)
27. Kirpichnikov N. A. Tekhnologicheskie priemy povysheniya effektivnosti fosfornykh udobreniy na dernovo-podzolistykh pochvakh Tsentral'nogo Nechernozem'ya (dannye dlitel'nykh opytov) [Technological methods for increasing the efficiency of phosphorus fertilizers on sod-podzolic soils of the Central Non-Black Earth Region (data of long-term experiments)] // Agrokhimiya. 2018. No. 1. Pp. 61–72. (In Russian.)

Authors' information:

Lyudmila B. Karengina¹, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of chemistry, soil science and agroecology, ORCID 0000-0001-9399-9666, AuthorID 668459; +7 961 778-90-86, karengina.mila@yandex.ru

Yuriy L. Baykin¹, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of chemistry, soil science and agroecology, ORCID 0000-0001-7044-5863, AuthorID 609727; +7 922 142-92-78, ubaikin@rambler.ru

Yuliya G. Baykenova¹, senior lecturer of the department of chemistry, soil science and agroecology, ORCID 0000-0003-0740-1651, AuthorID 658235; baykenova.yuliya@yandex.ru

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia