

АГРОНОМИЯ AGRONOMY

Научная статья

УДК 624.131.4

doi: 10.34655/bgsha.2023.72.3.001

НАУЧНОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗЕРНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Д.И. Жилияков¹, Н.В. Долгополова¹, Е.В. Малышева¹, В.Н. Недбаев¹,
М.Ж. Аширбеков²

¹Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, Курск, Россия

²Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, Северо-Петропавловск, Казахская область, Казахстан

Автор, ответственный за переписку: Наталья Валерьевна Долгополова,
dunaj-natalya@yandex.ru

Аннотация. На основании исследований установлено, что кислотность серых лесных оподзоленных почв Центрального Черноземья обусловлена высокой концентрацией ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе. Величина обменной кислотности составляет 4,2 единицы, а гидролитической кислотности – 4,8 мг/100 г почвы. Для повышения плодородия исследуемой почвы необходим комплекс окультуривающих мероприятий для снижения почвенной кислотности, устранения агрофизической деградации, улучшения водно-воздушного и пищевого режимов, повышения в почвах органического вещества. Установлено, что дефекат мелиоративной смеси устраняет почвенную кислотность, обусловленную ионами водорода, а фосфоритная мука образует с алюминием комплексные соединения (хелаты), устраняя отрицательное действие его на растения. Сульфат аммония мелиоративной смеси способствует наибольшей мобилизации фосфат-ионов и улучшению фосфатной функции почвы. Комплексное влияние окультуривающих мероприятий позволило существенно повысить урожайность сельскохозяйственных культур звена севооборота озимой пшеницы, сахарной свеклы и ячменя, соответственно, на 32,6, 24,3 и 27,1 ц/га и плодородие серой лесной оподзоленной почвы Центрального Черноземья. Серые лесные среднесуглинистые слабооподзоленные почвы Центрального Черноземья составляют основу пахотных земель региона. Эти почвы характеризуются невысоким естественным плодородием, так как они генетически кислые и имеют дефицит азота и фосфора. Понимание природы почвенной кислотности этих почв имеет важный смысл для научного обоснования процессов почвообразования и для решения практических задач химической мелиорации (известкования и фосфоритования), внесения минеральных удобрений и других агромероприятий, направленных на улучшение их агрогенетических свойств.

Ключевые слова: почва, окультуривание, химическая мелиорация, урожайность, сельскохозяйственные культуры.

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JUSTIFICATION OF THE CULTIVATION OF GRAY FOREST SOILS FOR THE PLACEMENT OF GRAIN PRODUCTION

Dmitry I. Zhilyakov¹, Natalia V. Dolgopolova¹, Ekaterina V. Malysheva¹, Viktor N. Nedbaev¹, Mukhtar Zh. Ashirbekov²

¹Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia

²North Kazakhstan University named after M. Kozybayev, Petropavlovsk, North Kazakhstan region, Kazakhstan

Corresponding author: Natalia V. Dolgopolova, dunaj-natalya@yandex.ru

Abstract. Based on the research, it was found that the acidity of gray forest podzol soils of the Central Chernozem region is due to the high concentration of hydrogen and aluminum ions in the soil absorbing complex. The value of the exchange acidity is 4.2 units, and the hydrolytic acidity is 4.8 mg /100 g of soil. To increase the fertility of the studied soil, a complex of cultivating measures is needed to reduce soil acidity, eliminate agrophysical degradation, improve water-air and food regimes, increase organic matter in soils. It was found that the defecate of the reclamation mixture eliminates the soil acidity caused by hydrogen ions, and phosphorous flour forms complex compounds (chelates) with aluminum, eliminating its negative effect on plants. Ammonium sulfate of the reclamation mixture contributes to the greatest mobilization of phosphate ions and improves the phosphate function of the soil. The complex influence of cultivating measures made it possible to significantly increase the yield of crops of the crop rotation link winter wheat, sugar beet and barley, respectively, on 32,6 ц/га, 24,3 ц/га и 27,1 ц/га and the fertility of the gray forest podzol soil of the Central Chernozem region. Gray forest medium loamy slightly saline soils of the Central Chernozem region form the basis of the arable lands of the region. These soils are characterized by low natural fertility, as they are genetically acidic and have a deficiency of nitrogen and phosphorus. Understanding the nature of the soil acidity of these soils is important for the scientific substantiation of soil formation processes and for solving practical problems of chemical reclamation (liming and phosphorization), mineral fertilizers and other agro-measures aimed at improving their agrogenetic properties.

Keywords: soil, soil improvement, chemical reclamation, yield, agricultural crops.

Введение. Серые лесные среднесуглинистые слабоподзоленные почвы Центрального Черноземья составляют основу пахотных земель региона. Эти почвы характеризуются невысоким естественным плодородием, так как они генетически кислые и имеют дефицит азота [1]. При внесении в почву нейтральных солей происходит обмен катионов водорода на катион нейтральной соли. При взаимодействии с такими почвами растворов нейтральных солей происходит замещение водородного иона поглощающего комплекса на катион нейтральной соли, в результате чего в растворе появляются Н-ионы, которые и подкисляют почвенный раствор. Алюминий, по мнению ученого, образуется в результате вторичной реакции – растворением его в кислоте, которая образуется в процессе обмена меж-

ду поглощенным водородом в почве и катионами солей в растворе.

Научные публикации отечественных и зарубежных ученых [2, 3], а также наши многолетние исследования, раскрывающие причины низкого плодородия изучаемых зональных почв [4, 5, 6, 7], дают основание для разработки метода их окультуривания.

Цель исследований – постижение особенностей природы почвенной кислотности и разработки путей её снижения.

Методика исследований. Комплекс окультуривающих мероприятий должен включать: 1. снижение почвенной кислотности; 2. замедление агрофизической деградации и улучшение водно-воздушного режима; 3. уменьшение подвижного алюминия и улучшение пищевого режима; 4. повышение эффективности использо-

вания минеральных удобрений; 5. накопление в почвах органического вещества.

Для снижения уровня почвенной кислотности применяется известь. При известковании происходит замещение водорода почвенного коллоидного комплекса кальцием внесенной извести. Повышение степени насыщения почв кальцием способствует оптимизации водного и воздушного режимов почв, улучшаются условия жизнедеятельности полезных микроорганизмов, снижается отрицательное действие кислой реакции среды на биохимические процессы в растениях. Анализ научной литературы [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17] позволяет сделать заключение о том, что исследуемые нами почвы генетически кислые от высокой концентрации ионов водорода и алюминия. Последний в результате гидролиза и его солей также подкисляет почвенный раствор. Поэтому в задачу наших исследований входило изучение особенностей природы почвенной кислотности и разработки путей её снижения. Нами изучалась мелиоративная смесь, в состав которой входит известь, фосфоритная мука и сульфат магния. Фосфоритная мука, вносимая в почву большими дозами, рассматривалась как химический мелиорант, способный образовывать с алюминием комплексные соединения (хелаты). Поскольку алюминий, входя в подобные соединения, утрачивает способность гидролизироваться, значит, фосфоритная мука в виде трехзамещенного фосфата кальция может снижать почвенную кислотность.

Схема опыта. Осенью 2019 года в ООО «КурскАгро» Кореневского района Курской области на серой лесной среднегумусной слабоподзоленной почве на карбонатном лессовидном суглинке был заложен полевой опыт.

В полевом опыте изучались варианты, в которые вносили большие дозы извести, фосфоритной муки и сульфата магния. Дефекат вносился в дозах по гидролитической кислотности для нейтрализации кислотности в водной и солевой вытяжке в результате физико-химического (обменного) вытеснения ионов водо-

рода ионами кальция. Фосфоритная мука рассматривалась нами как вещество, способное образовывать с алюминием комплексные соединения (хелаты), благодаря которым произойдет снижение почвенной кислотности. *Схема опыта включает 5 вариантов:* 1. контроль (без удобрений); 2. дефекат 5 т/га + фосфоритная мука 2т/га + MgSO₄ 0,1 т/га-фон; 3. фон + навоз 60 т/га; 4. фон + N40-120P40-120K40-120; 5. фон+ навоз 30 т/га N20-60P20-60K20-60.

Оценка эффективности мелиоративной смеси и удобрений проводилась в звене зернопропашного севооборота озимая пшеница - сахарная свекла - ячмень.

Результаты исследований и их обсуждение. Известно, что во всех материнских породах и почвах всегда присутствуют значительные количества алюминия. Он входит в состав широко распространенной группы алюмосиликатов. Поэтому его содержание в исследуемой почве достигает до 10% от общего веса минералов и появляется он в почвах с малой емкостью поглощения и низким содержанием кальция при pH (KCl) 4,5-5,0 и ниже. Для полного связывания подвижного алюминия необходимо вносить большие дозы фосфоритной муки, что сказывается на экономической эффективности вложений. По нашим расчетам для связывания 1 мг алюминия на 100 г почвы необходимо 1,5 ц/га фосфоритной муки, содержащей 12 % P₂O₅, 32 % извести и некоторые микроэлементы. В исследуемой серой лесной почве, где в течение последних 30 лет не вносятся химические мелиоранты, pH (KCl) составляет 4,2 единицы, а преобладающей формой алюминия является самая реактивная форма – ион Al³⁺, содержание которого составляет 0,82-1,88 мг/100 г почвы (табл. 1). При наличии в почве до 2,0 мг Al³⁺ на 100 г почвы эта норма составляет 0,5 т/га. Гидролитическая кислотность почвы составляет 4,5 мг-экв/100 г почвы (ГОСТ 26212); содержание гумуса – 3,4 % (по Тюрину, ГОСТ 4289); содержание подвижных форм (по Чирикову): P₂O₅ – 10,6; K₂O – 9,2 мг/100 г почвы. Содержание физической глины – 23,3%.

Таблица 1 – Агрехимическая характеристика почвенного профиля почвы полевого опыта

Горизонт	Глубина	Гумус	pH KCl	Hг	Ca	Mg	N /г мг/кг	P ₂ O ₅	K ₂ O	Al ³⁺
				мг-экв/100 г почвы				мг/100 г почвы		
A ₁ (H)	0-23	4,3	4,2	4,5	13,0	4,3	126,0	10,7	9,2	1,88
A ₁ A ₂ (HE)	23-39	2,8	4,4	4,05	15,0	4,0	128,8	11,0	8,2	0,96
A ₂ B (EI)	39-86	1,7	4,6	2,46	18,5	6,5	67,2	11,5	11,5	0,82
B (I)	86-130	1,0	4,5	2,07	20,3	6,3	30,8	12,8	11,8	-
BC (Pi)	130-185	1,1	4,6	1,82	22,0	6,3	39,2	12,0	11,8	-
Ск (P _к)	185-205	0,84	7,1	0,23	18,0	4,3	28,0	8,8	9,8	-

Наряду с известкованием мы изучали и другие пути снижения количества подвижного алюминия. Внесение навоза на фоне мелиоративной смеси, по нашему мнению, способствует образованию довольно прочных и вместе с тем малоподвижных внутрикомплексных соединений алюминия с органическим веществом.

Для выяснения влияния дефеката, фосфоритной муки и навоза на величину pH водной и солевой вытяжек после трехлетнего взаимодействия почвы и удобрений отбирали образцы из делянок полевого опыта. Результаты анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние мелиоративной смеси и удобрений на агрохимические показатели темно-серой оподзоленной, 2022 г.

Варианты опыта	pH (KCl)	Hг, мг- экв/100 г почвы	S, мг-экв /100г почвы	мг /100 г почвы			
				Nш/г	P ₂ O ₅	K ₂ O	Al ³⁺
1. Контроль (без удобрений)	4,2	4,5	27,5	8,9	9,0	10,0	1,90
2. Дефекат 5 т/га + фос. мука 2т/га + MgSO ₄ 0,1 т/га-фон	5,8	3,2	28,4	10,8	10,7	9,8	0,96
3. фон + навоз 60 т/га (последствие)	5,8	3,0	28,7	12,8	14,8	15,0	0,90
4. фон + N90P90K90	5,5	3,6	27,2	10,8	15,7	16,4	1,14
5. фон + навоз 30 т/га N45P45K45	5,5	3,2	28,0	12,0	14,5	15,2	1,10

Определение pH (KCl) указывает на значительный сдвиг реакции в сторону подщелачивания в вариантах, где вносили дефекат в составе мелиоративной смеси. Фосфоритная мука в составе мелиоративной смеси также смещает pH (KCl) в сторону подщелачивания. Это обусловлено тем, что фосфоритная мука связывает обменный алюминий, количество которого при этом уменьшается до 50 % по сравнению с контролем. Вносимая в почву фосфоритная мука способствует образованию комплексных соединений алюминия, в составе которых он не оказывает токсического действия на ра-

стения. Дефекат и фосфоритная мука в составе мелиоративной смеси повышают содержание поглощенного кальция: полная норма извести, рассчитанная эквивалентно по гидролитической кислотности, изменяет величину обменной кислотности с 4,2 до 5,8, а гидролитическая кислотность снизилась с 4,5 до 3,0 мг-экв /100 г почвы, т.е. в полтора раза. Навоз практически не влияет на снижение величины обменной и гидролитической кислотности. Фосфор в серых лесных пахотных почвах является одним из основных элементов в жизни растений. Он участвует в синтезе органического вещества и, кроме того,

играет важную роль в усвоении растениями азота. Поэтому для поддержания оптимального равновесия между органическими и минеральными формами фосфора в серой лесной почве необходимо комплексное окультуривание, основу которого составляют органические и минеральные фосфорные удобрения и химические мелиоранты [16,17]. Вопрос о формах фосфорных соединений в почве, их растворимости и доступности растениями является весьма сложным. Сложность его обусловлена тем, что трехосновная ортофосфорная кислота может образовывать соли с катионами щелочно-земельных 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. Почвенные коллоиды,

содержащие катионы Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} и др. [18, 19], способны активно поглощать огромное количество фосфора и образовывать разной степени растворимости и доступности для растений органоминеральные соединения. Для оптимизации фосфорного питания растений и сохранения плодородия серых лесных почв необходимо понимать, как изменяются их свойства и сорбционная способность в отношении фосфора. Оптимизация фосфорного режима является важной частью разработки оптимальных параметров свойств почвы [19, 20]. Поэтому многие исследователи считают, что наряду с определением подвижных форм фосфатов следует изучать их фракционный состав [22, 21]. Имеющаяся информация по групповому и фракционному составу фосфатов имеет достаточно противоречивый характер, что предопределяет интерес к проведению исследований в данном направлении [23, 24]. Групповой состав фосфорных соединений темно-серой лесной почвы представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние окультуривания на изменение группового состава почвенных фосфатов, мг/кг почвы

Варианты опыта	Общий фосфор (валовый)	Минеральный	Органический
1. Контроль (без удобрений)	1020	750	270
2. Дефекат 5 т/га + фос. мука 2т/га + $MgSO_4$ 0,1 т/га – фон	1350	870	480
3. Фон + навоз 60 т/га	1520	930	590
4. Фон + N90P90K90	1430	970	460
5. Фон + навоз 30 т/га N45P45K45	1480	940	540

В исследуемой серой лесной почве общее (валовое) содержание фосфора не превышает 0,13 %.

Внесение мелиоративной смеси увеличивает содержание всех групп почвенных фосфатов. При внесении 2 т/га фосфоритной муки в составе мелиоративной смеси содержание валового фосфора увеличилось на 32,6% по отношению к контролю. Наибольший прирост общего фосфора отмечен на удобренных вариантах навозом и минеральными удобрениями на фоне мелиоративной смеси. По

сравнению с контролем содержание общего фосфора возросло на 43,5-49,0%.

Группа минеральных фосфатов в зависимости от доз вносимых фосфорных удобрений возрастает в абсолютных значениях на 220 – 320 мг/кг почвы и составляет 62-63% от общего содержания.

Органические соединения фосфора в почве представлены продуктами биологического синтеза (неспецифичные оргонофосфаты) 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. Количество фосфатов органической природы меньше минеральных: в исходной почве – в 2 раза, в вариантах с внесением мелиоративной смеси – в 1,8 раза. Содержание органофосфатов практически не меняется от доз фосфора по отношению к валовому содержанию (18,1-25,6 %), но увеличивается по сравнению с исходной почвой в абсолютных цифрах на 64–130 %.

В.Д. Муха (2004) установил, что в результате различных химических и биологических процессов в почве происходит переход труднорастворимых и малодоступных для растений фосфатов в более усвояемые формы, а часть легко раство-

римых форм превращается в менее растворимые (ретроградация фосфора). Чанг и Джексон (*Chang, Jackson, 1957*) разработали методику более полного фракционирования почвенных фосфатов, основанную на использовании свойств их разного растворения в отдельных растворителях. В ней представлены подвижные фосфаты одновалентных катионов, фосфаты кальция, алюминия, железа и их органических форм. Органические фосфаты включают нуклеопротеиды, фитин, углеводородфосфаты и их производные. До минерализации они недоступны растениям. Чтобы более полно определить, какими соединениями представлен фосфор в исследуемых почвах, мы воспользовались этим методом. Результаты опыта приведены в таблице 4

Таблица 4 – Фракционный состав фосфора, мг /кг почвы

Варианты опыта	Валовый фосфор	Минеральный фосфор	Рыхлосвязанные фосфаты	Алюмофосфаты (Al-P)	Железофосфаты (Fe-P)	Кальцийфосфаты (Ca-P)	Труднорастворимые
1. Контроль (без удобрений)	1020	750	4,7	63	256	136	290,3
2. Дефекат 5 т/га + фос. мука 2т/га + MgSO ₄ 0,1 т/га – фон	1350	870	6,9	84	268	178	233,1
3. Фон + навоз 60 т/га	1520	930	8,5	120	347	280	214,5
4. Фон + N90P90K90	1430	1120	12,0	144	428	320	216,0
5. Фон + навоз 30 т/га N45P45K45	1480	1200	10,2	140	420	382	227,8

Внесение фосфорных удобрений увеличивает содержание фосфора во всех фракциях почвенных фосфатов. Фракция рыхлосвязанных фосфатов, которая является источником для питания растений, составляет очень незначительную часть минеральных фосфатов (0,6–1,0 %) и увеличивается от доз фосфора: при высокой степени обеспеченности содержание фосфора достигает 10,2 мг/кг почвы, а 4,7 мг/кг при средней степени обеспеченности, что составляет прирост в 2,2 раза. На вариантах с мелиоративной смесью проявляется стабильность и равно-

мерность показателей в отличие от контрольных (неизвесткованных) вариантов.

Фракция алюмофосфатов Al-P на контрольном варианте почвы, находящейся в сельскохозяйственном использовании, составила 63 мг/кг почвы. Известкование и фосфоритование мелиоративной смесью повышает содержание данной фракции фосфатов по сравнению с контролем на 21мг/кг почвы и 33%. Возрастающие дозы фосфора оказывают на содержание фосфора этой фракции незначительное влияние. Совместное использование органических и минеральных удобрений

на фоне мелиоративной смеси повысило содержание алюмофосфатов более чем в 2 раза и составило 120-144 мг/кг почвы. Фосфаты, связанные с железом – железозосфаты ($Fe-P$), на удобренных вариантах за 3 года достигли уровня 347-428 мг/кг почвы, что на 36-67 мг/кг выше контрольного варианта. Высокие дозы фосфора в процентном выражении несколько уменьшают долю феррофосфатов – 25,3–25,7 против 28,0% в исходной почве. В структуре всех фракций фосфатов железозосфаты составляют 30-34%, они менее доступны для питания растений и характеризуются наибольшей стабильностью.

Фосфоритная мука в составе мелиоративной смеси увеличила содержание фракции кальцийфосфатов ($Ca-P$) на 31,0%, а органоминеральная система на фоне мелиоративной смеси – на 74% и составила 280-380 мг/кг почвы. Труднорастворимая фракция фосфатов, к которым отнесены труднорастворимые фосфаты железа, алюминия, алюможелезофосфаты, фосфаты неветрившихся минералов материнской породы, практически не претерпевает изменений и составляет 37,1–38,8%. Эффективность фосфоритной муки в составе мелиоративной смеси равна 70-80% от равноценной дозы (по содержанию P_2O_5) суперфосфата. Использование фосфоритной муки в мелиоративной смеси в дозе 2 т/га позволяет за ротацию севооборота повысить в почве содержание подвижного фосфора в пахотном слое на 40–50 мг/кг и довести его до оптимального уровня, т.е. фосфоритная мука служит надежным средством формирования целенаправленных фосфатных фонов почв. Фосфоритная мука в составе мелиоративной смеси снижает кислотность, при этом карбонат кальция $CaCO_3$ превращается в растворимую форму бикарбонат кальция $Ca(HCO_3)_2$, а трехзамещенный фосфат кальция переходит в растворимую форму $Ca(H_2PO_4)_2$. Химический состав фосфоритной муки позволяет с полным основанием считать её комплексным минеральным макро- и микроэлементным

удобрением длительного действия на питательный режим выращиваемых сельскохозяйственных культур. Серые лесные слабоподзоленные почвы Кореневского района Курской области характеризуются преимущественно слабокислой реакцией среды и средним содержанием гумуса. Внесение фосфоритной муки позволяет, с одной стороны, стабилизировать кислотно-основное состояние почвы, а с другой стороны – оптимизировать содержание подвижного фосфора. Это обусловлено генетическими особенностями оподзоливания верхнего гумусово-элювиального горизонта и образования гумусово-иллювиального горизонта, т.е. почвенный профиль этой почвы дифференцирован по элювиально-иллювиальному типу. Установлено, что нейтрализующее действие мелиоративной смеси в пахотном горизонте оказалось более эффективным, нежели дефекаат. Агрохимический анализ почвы показал, что внесение фосфоритной муки 2 т/га в составе мелиоративной смеси повышало содержание доступного фосфора в пахотном слое до 86 мг/кг почвы.

Эффективность возделывания озимой пшеницы определяется ее урожайностью и качеством зерна. Биологическая урожайность, которая определялась взвешиванием зерна с пробных снопов, приведена в таблице 5.

На варианте за счет естественного плодородия почвы получена урожайность зерна озимой пшеницы 27,1 ц/га. Прибавка урожая зерна озимой пшеницы от химической мелиорации составила 6,5 ц/га. Высокая прибавка в 25,3-28,0 ц/га на вариантах с применением органических и минеральных удобрений в сочетании с мелиорантами однозначно говорит о равной эффективности этих вариантов. Урожайность корнеплодов сахарной свёклы по вариантам представлена в таблице 6.

Как видно из таблицы, на фоне естественного плодородия темно-серой лесной почвы урожайность сахарной свеклы составила 22,1 т/га. Применение мелиорантов позволило повысить урожайность на 6,4 т/га. Наибольшая урожайность со-

Таблица 5 – Урожайность озимой пшеницы, 2020-2022 гг.

Варианты опыта	Урожайность, ц/га			Средняя, ц/га	Прибавка, ц/га
	2020 г	2021 г.	2022 г.		
1. Контроль (без удобрений)	26,6	26,8	28,0	27,1	-
2. Дефекат 3 т/га + фос. мука 2 т/га + сульфат магния 0,1 т/га – фон	32,0	33,3	35,4	33,6	6,5
3. Фон + навоз 60 т/га	48,2	50,7	54,2	51,0	17,4
4. Фон + N90P90K90	52,9	55,6	56,9	55,1	28,0
5. Фон + N45P45K45 + навоз 30 т/га	50,7	52,5	54,0	52,4	25,3
НСР 05, ц/га					3,8

Таблица 6 – Влияние окультуривания на урожайность корнеплодов сахарной свеклы, т/га, 2020-2022 гг.

Вариант опыта	Урожайность, т/га			Средняя, ц/га	Прибавка, т/га
	2020	2021	2022		
1. Контроль (без удобрений)	23,6	22,0	20,8	22,1	-
2. Дефекат 3 т/га + фос. мука 2 т/га сульфат магния 0,1 т/га – фон	26,5	28,1	30,9	28,5	6,4
3. Фон + навоз 60 т/га	43,5	45,5	44,6	44,5	22,4
4. Фон + N120P120K120	48,4	47,0	50,2	48,5	26,4
5. Фон + N60P60K60 + навоз 30 т/га	44,8	48,6	45,7	46,4	24,3
НСР 05,ц/га					1,6

ставила 48,5 и 46,4 т/га, на вариантах с применением мелиорантов и минеральной и органоминеральной системой удобрения соответственно. Эффективность возделывания ячменя определяется ее

урожаем и качеством зерна. Биологическая урожайность, которая определялась взвешиванием зерна с пробных снопов, приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Влияние окультуривания темно-серой лесной почвы на продуктивность ячменя ярового, 2020-2022 гг.

Варианты опыта	Урожайность, ц/га			Средняя, ц/га	Прибавка, ц/га
	2020	2021	2022		
1. Контроль (без удобрений)	22,6	23,6	20,3	22,2	-
2. Дефекат 3 т/га + фос. мука 2 т/га + сульфат магния 0,1 т/га – фон	28,2	29,3	30,0	29,2	7,0
3. Фон + навоз 60 т/га	47,0	45,6	44,3	45,6	23,4
4. Фон + N40P40K40	49,2	48,3	46,2	47,9	25,7
5. Фон + N20P20K20 + навоз 30 т/га	50,0	49,2	48,7	49,3	27,1
НСР 05,ц/га					1,8

На контрольном варианте, т.е. за счет естественного плодородия почвы, полу-

чена урожайность зерна ячменя 22,2 ц/га. Прибавка урожая зерна ярового ячменя

от химической мелиорации составила 7,0 ц/га. Урожайность зерна от совместного действия навоза с мелиоративной смесью составила 23,4 ц/га. На варианте, где мелиоративная смесь внесена с минеральными и органическими удобрениями, урожайность равна 27,1 ц/га,

Применение удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур является неотъемлемой частью агротехники их выращивания [25, 26]. Поэтому для использования в технологии возделывания культур, рассмотренных нами систем удобрения, необходимо определить, насколько они экономически эффективны. Экономическую оценку характеризует ряд показателей, позволяющих оценить эффективность того или иного метода или приема в агротехнике. Одним из основных показателей является урожайность сельскохозяйственной культуры, так как это основная цель аграриев – получение высоких и качественных урожаев. Также большое значение имеют затраты на производство продукции (закупка семенного материала, удобрений, средств защиты

растений; расходы на зарплату рабочим, горючее для сельскохозяйственной техники и орудий, амортизацию и т.д.). Так как в опыте рассмотрению подлежали три культуры, технология выращивания которых значительно отличается, то экономическую эффективность рассчитывали по каждой культуре отдельно. В таблице 8 представлена экономическая эффективность применения разных систем удобрения в посевах озимой пшеницы. Расчеты экономической эффективности показывают, что при затратах на контрольном варианте 18,3 тыс. руб. уровень рентабельности составил 77,6 %. Затраты на проведение химической мелиорации разработанной мелиоративной смесью составляют 10 тыс. руб/га. Учитывая действие мелиоративной смеси 5 лет, затраты на 1 год составляют 2200 руб/га при уровне рентабельности 96,6 %. Рентабельность навоза на фоне мелиоративной смеси составляет 162,7 %, минеральных удобрений – 144,8 % и органоминеральных удобрений – 147,6 %.

Таблица 8 – Экономическая эффективность применения химической мелиорации и удобрений в посевах озимой пшеницы, 2020-2022 гг.

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Затраты, тыс. руб.	Стоимость продукции, тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.	Уровень рентабельности, %
1. Контроль (без удобрений)	27,1	18,3	32,5	14,2	77,6
2. Дефекат 3 т/га + фос. мука 2 т/га + сульфат магния 0,1 т/га – фон;	33,6	20,5	40,3	19,8	96,6
5. Фон + Навоз 60 т/га	51,0	23,3	61,2	37,9	162,7
6. Фон + N90P90K90	55,1	27,0	66,1	39,1	144,8
7. Фон + N45P45K45 + навоз 30 т/га	52,4	25,4	62,9	37,5	147,6

Рентабельность выращивания сахарной свеклы при данных системах удобрения представлена в таблице 9.

Как видно из таблицы, на контрольном варианте чистый доход составляет 40,4 тыс/га при уровне рентабельности 134,5%. Использование мелиоративной смеси без применения удобрений повы-

сило рентабельность на 13,3 %, а в вариантах с применением мелиоративной смеси и удобрений позволило повысить рентабельность на 37,8-57,6%. При возделывании по данным вариантам опыта рентабельность ячменя представлена в таблице 10.

Таблица 9 – Эффективность систем удобрения в посевах сахарной свеклы, ц/га, 2020-2022 гг.

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Затраты, тыс. руб.	Стоимость продукции, тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.	Уровень рентабельности, %
1. Контроль (без удобрений)	22,1	26,4	61,9	35,5	134,5
2. Дефекат 3 т/га + фос. мука 2 т/га + сульфат магния 0,1 т/га – фон	28,5	32,2	79,8	47,6	147,8
3. Фон + навоз 60 т/га	44,5	46,2	124,6	85,4	184,8
4. Фон + N120P120K120	48,5	50,8	135,8	85,0	172,3
5. Фон + N45P45K45 + навоз 30 т/га	46,4	44,5	130,0	85,5	192,1

Таблица 10 – Экономическая эффективность применения разных систем удобрений в посевах ячменя ярового пивоваренного, 2020-2022 гг.

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Затраты, тыс. руб.	Стоимость продукции, тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.	Уровень рентабельности, %
1. Контроль (без удобрений)	22,2	16,3	26,6	7,1	38,8
2. Дефекат 3 т/га + фос. мука 2 т/га + сульфат магния 0,1 т/га – фон	29,2	17,0	35,1	18,1	106,5
3. Фон + навоз 60 т/га	45,6	23,7	54,7	31,0	130,8
4. Фон + N40P40K40	47,9	24,2	57,5	33,3	137,6
5. Фон + N20P20K20 + навоз 30 т/га	49,3	25,5	59,2	33,7	132,2

Как показывает таблица, выращивание ячменя ярового без применения систем удобрения дает очень низкую рентабельность – 38,8%. Использование только мелиорантов повышает данный показатель до 130,8%. Наиболее рентабельными показали себя варианты выращивания с применением минеральной системы в сочетании с мелиорантами – 137,6%. Эффективность органоминеральной системы удобрения находится на уровне минеральной и составляет 132,2%.

Выводы. 1. Внесение мелиоративной смеси снизило показатели гидролитической кислотности до 3,2 мг-экв/100г почвы, а обменная кислотность увеличилась с 4,6 до 5,8.

2. Использование фосфоритной муки

в мелиоративной смеси в дозе 2 т/га способствует повышению доступного фосфора в почве с 9,0 до 10,7 мг на 100 почвы, т.е. фосфоритная мука служит надежным средством формирования целенаправленных фосфатных фонов почв.

3. Урожайность зерна озимой пшеницы за счет естественного плодородия почвы составила, в среднем за 3 года, 19,8 ц/га. При затратах на контрольном варианте 18,3 тыс. руб. уровень рентабельности составил 77,6 %. Затраты на проведение химической мелиорации составляют на 1 год 2200 руб/га при уровне рентабельности 96,6 %. Рентабельность навоза на фоне мелиоративной смеси составляет 162,7%, минеральных удобрений – 144,8% и органоминеральных удобрений – 147,6%.

4. Урожайность сахарной свеклы на контроле составила 22,1 т/га. Применение мелиорантов позволило повысить урожайность на 6,4 т/га. Наибольшая урожайность составила 48,5 и 46,4 т/га на вариантах с применением мелиорантов и минеральной, органоминеральной системой удобрения соответственно. Чистый доход без внесения удобрений составляет 40,4 тыс. руб/га при уровне рентабельности 134,5%. Использование мелиоративной смеси без применения удобрений повысило рентабельность на 13,3 %. А в вариантах с применением мелиоративной смеси и удобрений уровень рентабельности составил 37,8-57,6 %.

5. На контрольном варианте, т.е за счет естественного плодородия почвы, получена урожайность зерна ячменя 22,2 ц/га. Прибавка урожая зерна ярового ячменя от химической мелиорации составила 7,0 ц/га. Урожайность зерна от совместного действия навоза с мелиоративной смесью составила 23,4 ц/га. На варианте, где мелиоративная смесь внесена с минеральными и органическими удобрениями, урожайность равна 27,1 ц/га.

6. Возделывание ячменя ярового без применения систем удобрения дает очень низкую рентабельность – 38,8%. Использование только мелиорантов повышает данный показатель до 130,8%. Наиболее рентабельными показали себя варианты выращивания с применением минеральной системы в сочетании с мелиорантами – 137,6%. Эффективность органоминеральной системы удобрения находится на уровне минеральной и составляет 132,2 %.

Список источников

1. Балакина Т.Р., Недбаев В.Н. Влияние мелиоративной смеси на биологическую активность темно-серой лесной почвы Центрального Черноземья // Молодежная наука – развитию агропромышленного комплекса: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск, 2020. С. 174-178. EDN: MKTKOF
2. Никитина О.В., Стифеев А.И., Проскурин В.А. Проблемы биологизации земледелия в условиях Центрально-Черноземного региона // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 6-13. EDN: RWYEUG
3. Состояние почв Российской Федерации и основные направления стабилизации и повышения их плодородия / А.И. Стифеев, Е.А. Бессонова, О.В. Никитина, В.А. Лукьянов, Е.Н. Судженко // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. №1. С. 49-52. EDN: TPGECH
4. Стифеев А.И., Никитина О.В. Состояние пахотных земель Центрального Черноземья и основные направления воспроизводства их плодородия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2. С. 30-35. EDN: MSJYEV
5. Дудкин И.В., Дудкина Т.А. Биоэнергетическая оценка факторов биологизации земледелия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 2. С. 6-10. EDN: YPCKUN
6. Долгополова Н.В. Эффективность действия микроэлемента молибдена на продуктивность озимой пшеницы в структуре севооборота // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1. С. 48-52. EDN: YZPYDZ
7. Недбаев В.Н. Влияние окультуривания на фосфат-буферную способность темно-серой лесной оподзоленной почвы Центрального Черноземья // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 42-48. EDN: IJENVB
8. Никитина О.В., Нагорная О.В., Стифеев А.И. К вопросу производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции // Актуальные проблемы современных технологий производства, хранения и переработки : сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции. Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак., 2022. С. 85-87. EDN: HMEJPS
9. Методологические основы производства заданного количества продовольственного зерна в севооборотах центрального Черноземья / А.С. Акименко, Т.А. Дудкина, Н.В. Долгополова, В.Г. Вавин, Л.И. Садыкова // Земледелие. 2021. № 4. С. 10-14. EDN: TSEITM
10. Недбаев В.Н. Экологические и биохимические особенности окультуривания темно-серой лесной почвы Центрального Черноземья // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 6-13. EDN: RWYEUG

ственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3. С. 14-22. EDN: AQYDVB

11. Стифеев А.И., Никитина О.В., Бессонова Е.А., Кемов К.Н. Рекультивация нарушенных земель и технологии их реабилитации на территории Центрального Черноземья // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. № 6. С. 34–38. EDN: ZTUOKV

12. Долгополова Н.В., Широких Е.В. Изменение запаса органического вещества чернозема типичного в зависимости от вида, эродированности и местоположения угодий // Региональный вестник. 2015. № 1. С. 27-30. EDN: VPVELH

13. Недбаев В.Н., Малышева Е.В. Содержание гумуса в темно-серых лесных почвах и его трансформация в агроландшафтах Центрально-Черноземной зоны // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 8. С. 65-70. УДК 631.417 (470.323). EDN: YSQATB

14. Пигорев И.Я., Ишков И.В. Влияние паровых предшественников озимой пшеницы на плотность чернозема и серой лесной почвы в условиях лесостепи России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3. С. 6-12. EDN: MGQRGU

15. Пигорев И.Я., Ишков И.В. Улучшение агроэкологического состояния почв как способ повышения продуктивности полевых культур // Аграрная наука – сельскому хозяйству. Сборник статей: в 3 книгах. Алтайский государственный аграрный университет. 2017. С. 236-238. EDN: YSNQIP

16. Роль ландшафтного планирования в сохранении устойчивости экологического каркаса урбанизированной территории (на примере города Курска) / Е.А. Батраченко, И.А. Гонеев, О.П. Лукашова, И.Ю. Сошникова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1-3. С. 607-611. EDN: VSCHDI

17. Остапенко Е.А. Прогнозирование экологической устойчивости птк в районах сельскохозяйственного природопользования // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. 2005. № 1. С. 65. <http://www.legi.lipetsk.ru/rio.htm>

18. Батраченко Е.А. Исследование изменения свойств почв при сельскохозяйственном использовании ландшафтов // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам меж-

дународной научно-практической конференции, посвященной 155-летию со дня рождения Владимира Ивановича Вернадского; ответственные редакторы: В.П. Соломин, В.А. Румянцев, Д.А. Субетто, Н.В. Ловелиус. 2018. С. 33-37. EDN: VSCHDI

19. Батраченко Е.А. Особенности ландшафтного проектирования агроландшафтов // Научное обеспечение агропромышленного производства : материалы международной научно-практической конференции; ответственный за выпуск И.Я. Пигорев. 2010. С. 259-262. EDN: SVALGA

20. Привало К.И., Малышева Е.В., Костенко Н.А. Анализ эффективного ведения сельскохозяйственного предприятия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 5. С. 23-25. EDN: UBPMKV

21. Чертков Н.В. Комплексная оценка антропогенных воздействий на природную среду северо-западной части Курской области: дис... канд. географ. наук. Курск, 1999. EDN: NLPCGR

22. Долгополова Н.В., Балабанов С.С., Тимонов В.Ю. Влияние приемов биологизации на почвенные условия возделывания сельскохозяйственных культур // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2009. № 3 (16). С. 35-39. EDN: RMRLGV

23. Дудкина Т.А. Поступление в почву органического вещества в севооборотах с разным соотношением групп культур // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 8. С. 38-41. EDN: ILDCOE

24. Дудкина Т.А. Методологические основы проектирования структуры посевных площадей и систем севооборотов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 7. С. 50-55. EDN: VMCIPIR

25. Использование методов математической статистики для повышения информативности данных урожайности сельскохозяйственных культур в севооборотах многофакторного полевого опыта / Ю.П. Сухановский, А.С. Акименко, Т.А. Дудкина, А.В. Прущик // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 6 (378). С. 94-97. EDN: CJYAY

26. Зерновая продуктивность свекловичных севооборотов в зависимости от степени биологизации в условиях Центрально-

го Черноземья / А.С. Акименко, В.И. Свиридов, Т.А. Дудкина, В.Г. Вавин // Земледелие. 2022. № 3. С. 12-18. EDN: QNSJPB

References

1. Balakina T.R., Nedbaev V.N. Influence of reclamation mixture on biological activity of dark gray forest soil of the Central Chernozem region. *Youth science - development of agro-industrial complex. Proc. of the All-Russian (National) Sci. and Pract. Conf. of students, postgraduates and young scientists*. Kursk, 2020. Pp. 174-178 (In Russ.)
2. Nikitina O.V., Stifeev A.I., Proskurin V.A. Problems of agricultural biologization in the conditions of the Central Black Earth Region. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021;5:6-13 (In Russ.)
3. Stifeev A.I., Bessonova E.A., Nikitina O.V., Lukyanov V.A., Sudzhenko E.N. The state of the soils of the Russian Federation and the main directions of stabilization and improvement of their fertility. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2015;1:49-52.
4. Stifeev A.I., Nikitina O.V. The state of arable lands of the Central Chernozem region and the main directions of reproduction of their fertility. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022;2:30-35.
5. Dudkin I.V., Dudkina T.A. Bioenergetic assessment of factors of biologization of agriculture. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2017; 2: 6-10.
6. Dolgopolova N.V. The effectiveness of the action of the trace element molybdenum on the productivity of winter wheat in the structure of crop rotation. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2019;1:48-52.
7. Nedbaev V.N. The effect of cultivation on the phosphate buffering ability of dark gray forest podzol soil of the Central Chernozem region. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022;1:42-48.
8. Nikitina O.V., Nagornaya O.V., Stifeev A.I. On the issue of production of environmentally safe agricultural products. *Actual problems of modern technologies of production, storage and processing*. Coll. of Sci. articles of the All-Russian Sci. and Pract. Conf. Kursk. 2022. Pp. 85-87.
9. Akimenko A.S., Dudkina T.A., Dolgopolova N.V., Vavin V.G., Sadykova L.I. Methodological foundations of the production of a given amount of food grain in crop rotations of the central Chernozem region. *Zemledelie*. 2021;4:10-14.
10. Nedbaev V.N. Ecological and biogeochemical features of cultivation of dark gray forest soil of the Central Chernozem region. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022;3:14-22.
11. Stifeev A.I., Nikitina O.V., Bessonova E.A., Kemov K.N. Recultivation of disturbed lands and technologies of their rehabilitation in the Central Chernozem region. *International Agricultural Journal*. 2017;6:34-38.
12. Dolgopolova N.V., Shirokikh E.V. Change in the stock of organic matter of typical chernozem depending on the type, erosion and location of land. *Regional Bulletin*. 2015;1:27-30.
13. Nedbaev V.N., Malysheva E.V. Humus content in dark gray forest soils and its transformation in agricultural landscapes of the Central Chernozem zone. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2018;8:65-70.
14. Pigorev I.Ya., Ishkov I.V. The influence of fallow precursors of winter wheat on the density of chernozem and gray forest soil in the conditions of the forest-steppe of Russia // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2021. No. 3. Pp. 6-12.
15. Pigorev I.Ya., Ishkov I.V. Improving the agroecological state of soils as a way to increase productivity of field crops. *Agrarian science – agriculture*. Collection of articles: in 3 books. Altai State Agrarian University. 2017. Pp. 236-238.
16. Batrachenko E.A., Goneev I.A., Lukashova O.P., Soshnikova I.Yu. Landscape planning role in conservation ecological framework sustainability of urbanized territory (on the example of Kursk city). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra rossiyskoy akademii nauk*. 2014;16(1-3):607-611.
17. Ostapenko E.A. Forecasting of environmental sustainability of PTK in areas of agricultural nature management. *Ecology of the Central Chernozem region of the Russian Federation*. 2005;1: 65. <http://www.legi.lipetsk.ru/rio.htm>
18. Batrachenko E.A. Investigation of changes in soil properties during agricultural use of landscapes. *Geography: development of science and education*. Collective monograph. Responsible editors V.P. Solomin, V.A. Rummyantsev, D.A. Subetto, N.V. Lovelius. 2018. Pp. 33-37.

19. Batrachenko E.A. Features of landscape design of agricultural landscapes. *Scientific support of agro-industrial production. Proc. of the Int. Sci. and Pract. Conf.* 2010. Pp. 259-262.
20. Privalo K.I., Malysheva E.V., Kostenko N.A. Analysis of effective management of an agricultural enterprise. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii.* 2015;5:23-25.
21. Chertkov N.V. Comprehensive assessment of anthropogenic impacts on the natural environment of the north-western part of the Kursk region. Candidate's dissertation. Kursk, 1999.
22. Dolgopolova N.V., Balabanov S.S., Timonov V.Yu. The influence of biologization techniques on soil conditions of cultivation of agricultural crops. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov.* 2009;3(16):35-39.
23. Dudkina T.A. The entry of organic matter into the soil in crop rotations with different ratios of crop groups. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii.* 2019;8:38-41.
24. Dudkina T.A. Methodological foundations of designing the structure of sown areas and crop rotation systems. *Vesnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii.* 2018;7:50-55.
25. Sukhanovsky Yu.P., Akimenko A.S., Dudkina T.A., Pruschik A.V. Using mathematical statistics methods to increase the information content of crop yield data in crop rotations of multifactorial field experience. *International Agricultural Journal.* 2020;6(378):94-97.
26. Akimenko A.S., Sviridov V.I., Dudkina T.A., Vavin V.G. Grain productivity of beet crop rotations depending on the degree of biologization in the Central Chernozem region. *Zemledelie.* 2022;(3):12-6 (In Russ.)

Информация об авторах

- Дмитрий Иванович Жилыков** – доктор экономических наук, zhilyakov@yandex.ru;
Наталья Валерьевна Долгополова – доктор сельскохозяйственных наук; dunaj-natalya@yande.ru
Екатерина Владимировна Малышева – кандидат сельскохозяйственных наук, maleshevae1981@mail.ru;
Виктор Николаевич Недбаев – кандидат сельскохозяйственных наук, nedbaevviktor@mail.ru;
Мухтар Жолдыбаевич Аширбеков – доктор сельскохозяйственных наук, mukhtar_agro@mail.ru

Information about the authors

- Dmitry I. Zhilyakov** – Doctor of Science (Economics), zhilyakov@yandex.ru;
Natalia V. Dolgopolova – Doctor of Science (Agriculture), dunaj-natalya@yande.ru;
Ekaterina V. Malysheva – Candidate of Science (Agriculture), maleshevae1981@mail.ru;
Viktor N. Nedbaev – Candidate of Science (Agriculture), nedbaevviktor@mail.ru;
Mukhtar Zh. Ashirbekov – Doctor of Science (Agriculture), mukhtar_agro@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.04.2023; одобрена после рецензирования 23.06.2023; принята к публикации 27.06.2023.

The article was submitted 07.04.2023; approved after reviewing 23.06.2023; accepted for publication 27.06.2023.