



Научная статья

УДК 631.61+631.8

doi: 10.55186/25876740_2026_69_3_428

ВЛИЯНИЕ РАЗНОГЛУБИННЫХ СПОСОБОВ ЗАДЕЛКИ УДОБРЕНИЯ НА БАЛАНС ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА И ОБМЕННОГО КАЛИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО НА ОСВОЕННЫХ ПОЧВАХ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ

В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, Г.И. Бондарева, Н.П. Попова

Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, Москва, Россия

Аннотация. Изучена динамика подвижного фосфора и обменного калия в пахотном слое освоенной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с промывным типом водного режима в зависимости от систем удобрения и способов их заделки на посевах люпина узколистного в условиях Северо-Западного региона Нечерноземной зоны. Установлено, что в среднем за две ротации пятипольного плодосменного зернопропашного севооборота отрицательный баланс подвижного фосфора отмечен на контрольном варианте (-4,56 кг/га при обоих способах заделки), а также с внесением расчетных доз NPK на запланированную урожайность семян люпина 1,8 т/га (-0,89 кг/га по фону минимальной обработки и -2,85 кг/га с применением отвальной вспашки). Положительный баланс P_2O_5 установлен как при утилизации жидких стоков свинокомплекса (+12,01 кг/га на фоне минимальной обработки и +10,85 кг/га с применением отвальной вспашки), так и от внесения твердой фракции навоза (+33,70 и +32,10 кг/га соответственно). Дефицит обменного калия выявлен только на контрольном варианте (-7,59 и -7,65 кг/га по способам обработки), тогда как при внесении других систем удобрения обеспечивается расширенное воспроизводство K_2O на фоне всех приемов их заделки. Выявлена положительная тенденция по формированию запасов подвижного фосфора и обменного калия в пользу минимальной обработки, эффективность которой объясняется повышенной степенью их закрепления в почвах легкосуглинистого гранулометрического состава по сравнению с отвальной вспашкой. Для формирования расширенного воспроизводства P_2O_5 и K_2O на освоенных малопродуктивных дерново-подзолистых почвах следует ежегодно вносить 30...35 м³/га жидких стоков или 10...12 т/га твердой фракции навоза и заделывать их почву дисковыми орудиями на глубину 7–10 см.

Ключевые слова: система удобрения, минимальная обработка, отвальная вспашка, освоенные дерново-подзолистые почвы, промывной тип водного режима

Original article

EFFECT OF VARIOUS DEPTH METHODS OF FERTILIZER APPLICATION ON THE BALANCE OF MOBILE PHOSPHORUS AND EXCHANGEABLE KALIUM IN THE CULTIVATION OF LUPINUS ANGUSTIFOLIUM ON THE SOILS OF THE UPPER VOLGA REGION

V.A. Shevchenko, A.M. Solovyov, G.I. Bondareva, N.P. Popova

Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova, Moscow, Russia

Abstract. The dynamics of mobile phosphorus and exchangeable potassium in the arable layer of a developed sod-podzolic light loamy soil with a leaching type of water regime was studied, depending on the fertilizer systems and methods of their incorporation in narrow-leaved lupine crops in the conditions of the North-Western region of the Non-Chernozem zone. It was found that, on average, over two rotations of a 5-field fruit-and-grain crop rotation, a negative balance of mobile phosphorus was observed in the control variant (-4.56 kg/ha for both methods of incorporation), as well as with the application of calculated doses of NPK for a planned yield of lupine seeds of 1.8 t/ha (-0.89 kg/ha for the background of minimum tillage and -2.85 kg/ha for the background of ploughing). A positive balance of P_2O_5 was established both with the utilization of liquid wastewater from a pig complex (+12.01 kg/ha for the background of minimum tillage and +10.85 kg/ha for the background of ploughing), and with the application of solid manure (+33.70 and +32.10 kg/ha, respectively). A deficit of exchangeable potassium was detected only in the control variant (-7.59 and -7.65 kg/ha for the methods of tillage), while other fertilizer systems ensured expanded reproduction of K_2O for all methods of incorporation. A positive trend was observed in the formation of mobile phosphorus and exchangeable potassium reserves in favor of minimum tillage, which is explained by the increased degree of their fixation in soils with a light loamy granulometric composition compared to ploughing. To ensure expanded reproduction of P_2O_5 and K_2O in developed low-productive sod-podzolic soils, it is recommended to apply 30-35 m³/ha of liquid wastewater or 10-12 t/ha of solid manure annually and incorporate them into the soil using disc implements at a depth of 7–10 cm.

Keywords: fertilizer system, minimum tillage, ploughing, developed sod-podzolic soils, leaching type of water regime

Введение. В структуре корневого питания сельскохозяйственных растений важное значение имеет поглощение корневой системой посевов минеральных соединений фосфора и калия, которые наряду с азотом, кальцием, магнием, серой и железом представляют группу макроэлементов [1].

Фосфор является важнейшим биофильным элементом минерального питания посевов и крайне необходим в первые фазы роста и развития растений [2,3,4], поскольку способствует формированию мощной корневой системы, благодаря которой улучшаются водный и питательный режимы агрофитоценозов.

Значительная доля фосфора сосредоточена в интенсивно растущих молодых частях растений и репродуктивных органах, поэтому дефицит его в почве нарушает процесс созревания семян и плодов. К симптомам недостатка фосфора относится замедленное развитие корней, появление на поверхности темнозеленых



листьев, красных, бурых и фиолетовых пятен, которые быстро отмирают, образуя дыры в наиболее развитых листовых пластинках. Все это отчетливо проявляется при содержании подвижного фосфора в пахотном слое менее 50 мг/кг почвы. В интенсивном земледелии фосфорный баланс следует поддерживать на уровне 100 мг/кг почвы, для чего необходимо вносить как традиционные, так и новые виды удобрений. Особое внимание на концентрацию подвижного фосфора в корнеобитаемом горизонте следует обращать при освоении черноземных и серых лесных почвах, которые весьма отзывчивы на внесение фосфорных удобрений [5,6,7,8,9].

Калий, наряду с азотом и фосфором, играет важную роль в жизнедеятельности растений: он принимает активное участие в белковом и углеводном обмене, усиливает фотосинтетическую деятельность посевов, повышает стрессовую устойчивость агроценозов к весенним заморозкам, зимним холодам и заболеваниям [10,11,12]. Основным показателем обеспеченности растений калием принято считать содержание обменного калия в корнеобитаемом горизонте. При концентрации K_2O в пахотном слое всех типов почв менее 80 мг/кг почвы проявляются признаки калийного голодания, симптомами которого являются отмирания краев листьев или «краевой ожог листьев», что особенно часто наблюдается у калиелюбивых растений, к которым относятся картофель, морковь, свекла, гречиха и подсолнечник [13,14]. Оптимальным содержанием K_2O в пахотном слое почв Нечерноземной зоны считается 100...120 мг/кг (по Чирикову).

Целью наших исследований явилось изучение влияния различных систем удобрения и разноглубинных способов их заделки на баланс подвижного фосфора и обменного калия в процессе освоения малопродуктивных дерново-подзолистых легкосуглинистых почв Верхневолжья с промывным типом водного режима при возделывании люпина узколистного на семена.

Методика. Исследования проводили в ООО «Ручьевское-1» Ржевского района Тверской области в 2015-2024 гг. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, мощность пахотного горизонта 16...18 см, осушена открытым дренажем. Исходное содержание в почве (2012 г.): гумуса 1,69...1,83% — очень низкое; P_2O_5 106...109 мг/кг — повышенное; K_2O 90...100 мг/кг — среднее; pH_{KCl} 4,78...4,83 — реакция почвенного раствора среднекислая. Почва не использовалась в период с 1994 по 2010 гг.; в 2011 г. были проведены культуртехнические работы, а с 2012 г. начато возделывание сельскохозяйственных культур.

Опыты выполнены на освоенных дерново-подзолистых землях с промывным типом водного режима, осушенных открытым дренажом.

В пятипольном севообороте использовали люпин узколистный, кукурузу, озимую пшеницу, яровой рапс и ячмень, которые относятся к разным семействам, отличаются не только фитомелиоративными особенностями, но также биологическими требованиями и морфологическими различиями как надземных органов, так и корневой системы.

Жидкие стоки свиноводческих комплексов вносили с помощью технологии шланговых систем, которая позволяет не только равномерно распределять их по поверхности поля, но и одновременно заделывать в почву, что исключает потери газообразного азота. Для внесения твердой фракции навоза использовали ПРТ-10, с помощью которого удобрения разбрасывались по поверхности поля и заделывались в тот же день. Норма внесения жидких стоков — 80 м³/га; твердой фракции навоза — 40 т/га. Органические удобрения вносили ежегодно в качестве основного удобрения. Соломистые и растительные остатки заделывались в почву в измельченном виде.

Опыт заложен методом систематических повторений в 4-х кратной повторности. Общая площадь делянки 100 м², учетная 40 м².

Агрохимический анализ удобрений выполнен Федеральной службой по ветеринарному и фитосанитарному надзору ФГБУ «Тверская межобластная ветеринарная лаборатория». Исследования динамики содержания изучаемых элементов в почве проведены по общепринятым методикам в соответствии с Федеральным законом «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» сотрудниками ФГБНУ «Станция агрохимической службы Нелидовская».

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа [15].

Результаты исследования и их обсуждения. Анализ динамики подвижного фосфора в пахотном слое осваиваемой дерново-подзолистой почвы легкосуглинистого гранулометрического состава Верхневолжья позволяет заключить, что при возделывании люпина узколистного баланс P_2O_5 в меньшей мере зависит от способов обработки, нежели чем от системы удобрения. Так, на контрольном варианте, где заделывались только измельченные солоомисто-пашенные остатки, в среднем за две ротации пятипольного севооборота на обоих фонах обработки отмечен одинаковый дефицит подвижного фосфора, равный -4,56 кг/га по отношению к исходному значению (табл. 1).

Заделка расчетных доз минеральных удобрений под запланированную зерновую продуктивность люпина по фону измельченных остатков побочной продукции достоверно уменьшило дефицит P_2O_5 как с использованием минимальной обработки (+3,67 кг/га), так и с применением отвальной вспашки (+1,71 кг/га) при НСР₀₅ для АВ=1,27 кг. В данном случае различие между способами обработки по ликвидации дефицита баланса подвижного фосфора составило +1,96 кг/га в пользу дискования, что также явилось существенным различием как для факторов А и В, так и для АВ.

Таблица 1. Влияние систем удобрения и способов их заделки на баланс подвижного фосфора и обменного калия при освоении малопродуктивных почв
Table 1. Influence of fertilizer systems and their application methods on the balance of mobile phosphorus and exchangeable potassium during the development of low-productivity soils

NN п/п	Система удобрения (фактор А)	Ротация севооборота	Способы заделки (фактор В)			
			Минимальная обработка		Отвальная вспашка	
			P_2O_5 , кг/га	K_2O , кг/га	P_2O_5 , кг/га	K_2O , кг/га
1	Контроль (без удобрения)	1	-4,64	-7,64	-4,63	-7,64
		2	-4,48	-7,55	-4,49	-7,67
		В среднем	-4,56	-7,59	-4,56	-7,65
2	Расчетные дозы NPK на запланированную урожайность зерна	1	-0,77	+6,16	-2,78	+4,05
		2	-1,01	+5,57	-2,91	+3,09
		В среднем	-0,89	+5,58	-2,85	+3,57
3	Жидкие стоки, 80 м ³ /га	1	+12,36	+56,45	+11,41	+54,45
		2	+11,65	+55,42	+10,28	+53,09
		В среднем	+12,01	+55,93	+10,85	+53,77
4	Твердая фракция навоза, 40 т/га	1	+34,17	+68,30	+32,63	+65,69
		2	+33,23	+66,69	+31,57	+64,00
		В среднем	+33,70	+67,49	+32,10	+64,84
НСР ₀₅	для фактора А		0,79	2,05		
	для фактора В		0,75	1,95		
	для взаимодействия АВ		1,27	3,24		

*Исходное содержание: подвижного фосфора — 322 кг/га; обменного калия — 285 кг/га.





Регулярная утилизация жидких стоков свинок комплекса в экологически безопасной дозе 80 м³/га обеспечила в среднем за две ротации севооборота положительный баланс подвижного фосфора +12,01 кг/га при минимальной обработке и +10,85 кг/га на фоне отвальной вспашки. Разница между способами заделки жидких стоков составляет 1,16 кг/га, что достоверно для фактора В, однако находится в пределах ошибки опыта для комплексного взаимодействия факторов АВ.

Использование в качестве основного удобрения твердой фракции навоза в сочетании с измельченными солоомисто-пожнивными остатками выявило их наивысшую эффективность по стабилизации фосфатного режима в пахотном слое осваиваемых земель. Так, в среднем за две ротации севооборота поступление P₂O₅ превысило исходное значение по фону минимальной обработки на 33,70 кг/га, а с применением отвальной вспашки — на 32,10 кг/га. Разница между способами утилизации твердой фракции навоза в пользу минимальной обработки достигает +1,60 кг/га, что достоверно как для факторов А и В, так и для их взаимодействия.

Выявленные преимущества по концентрации и закреплению подвижного фосфора на фоне заделки разных видов удобрений в пахотный слой осваиваемой почвы при возделывании люпина узколистного дают основание предполагать, что фосфор даже на легкосуглинистых дерново-подзолистых землях является малоподвижным элементом и в значительной мере накапливается в посевном 0-10 см слое, поскольку он слабо вымывается атмосферными осадками в отличие от азота, который свободно мигрирует по всему корнеобитаемому горизонту. Интенсивность накопления запасов подвижного фосфора в первую очередь зависит от количества поступающего органического вещества в агроэкосистему и скорость его минерализации, поскольку как на контрольном варианте, так и при внесении расчетных доз минеральных удобрений на запланированную урожайность баланс P₂O₅ был отрицательным. Положительные значения данного показателя установлены только при заделке органических отходов свинок комплекса. В данном случае их утилизация дисковыми орудиями оказалась более эффективной по сравнению с отвальной вспашкой, так как минимальная обработка повышает степень закрепления P₂O₅ в пахотном слое легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы на 5,0...10,7%.

При изучении баланса обменного калия на освоенных почвах установлено, что на контрольном варианте, при заделке в пахотный слой только измельченных солоомисто-пожнивных и корневых остатков люпина дефицит обменного калия в среднем за две ротации севооборота составил — 7,59 кг/га при минимальной обработке и -7,65 кг/га с применением отвальной вспашки. Разница между способами заделки растительных остатков побочной продукции составила 0,06 кг/га в пользу дискования, что при НСР₀₅ для фактора В=1,95 кг соответствует ошибке опыта.

Применение в качестве основного удобрения расчетных доз промышленных туков способствовало ликвидации дефицита обменного калия на посевах люпина узколистного,

поскольку его поступление в среднем за период исследования превысило исходное значение на 5,87 кг/га по фону минимальной обработки и на 3,57 кг/га при отвальной вспашке. В данном случае различие увеличилось до 2,30 кг/га, что является существенно для факторов А и В, но укладывается в статистическую погрешность эксперимента для комплексного взаимодействия.

На основании анализа полученных данных можно заключить, что значимое увеличение K₂O относительно контрольного варианта при использовании минеральной системы удобрения на обоих способах обработки объясняется значительным увеличением растительных остатков, поступающих в пахотный слой осваиваемых земель, в составе 1 т которых содержится до 30 кг калия по сухому веществу, а также пролонгированным последствием промышленных калийных туков.

Наибольшее увеличение накопления обменного калия при возвращении в производственный цикл залежных земель установлено от применения в качестве основного удобрения органических отходов свинок комплекса в безопасных дозах. Так, при утилизации жидких стоков в норме 80 м³/га дисковыми орудиями на глубину 7-10 см перед посевом люпина узколистного масса обменного калия увеличилась по сравнению с первоначальным состоянием в среднем на 55,93 кг/га за две ротации севооборота, тогда как заделка жидких стоков отвальными плугами на 18-20 см повысила содержание K₂O в среднем за аналогичный период на 53,77 кг/га. Следовательно, применением данного органического удобрения в экологически допустимых нормах обеспечивает расширенное воспроизводство обменного калия уже в первой ротации севооборота, однако существенный эффект от утилизации жидких стоков прослеживается от их заделки дисковыми орудиями (+2,16 кг/га при НСР₀₅ для В=1,95 кг).

Максимальное накопление обменного калия в пахотном слое осваиваемых земель сельскохозяйственного назначения достигнуто от использования твердой фракции навоза. В среднем за две ротации прибавка K₂O относительно исходного значения составила +67,49 кг/га на фоне минимальной обработки и +64,84 кг/га с применением отвальной вспашки, что достоверно выше по сравнению с утилизацией жидких стоков аналогичными способами. Разница в пользу заделки фракции навоза дисковыми орудиями составляет 2,65 кг/га, что статистически доказуемо для факторов А и В, но является лишь положительной тенденцией для их взаимодействия при АВ=3,24 кг.

Согласно выполненным расчетам для поддержания расширенного воспроизводства обменного калия после нормализации калийного режима до уровня 90...100 мг/кг почвы на осваиваемых землях достаточно ежегодно вносить 30...35 м³/га жидких стоков или 10...12 т/га твердой фракции навоза. Учитывая тот факт, что наибольшее накопление K₂O достигнуто на фоне минимальной обработки, предпочтения для их утилизации на почвах с промывным типом водного режима следует отдать дисковым орудиям, как менее затратным и энергосберегающим. Однако, минимальная обработка почвы возможно только в тех хозяйствах, где для борьбы с сорным компонентом имеются

высокоэффективные гербициды и хорошо налажена служба по борьбе с вредителями и болезнями, поскольку при такой обработке все виды инфекции аккумулируются в посевном слое 0-10 см и без должной защиты наносят посевам ощутимый вред.

Заключение.

1. Баланс подвижного фосфора на посевах люпина узколистного в среднем за период исследования был ниже первоначального значения как на контроле (-4,56 кг/га при обоих способах обработки), так и с внесением расчетных доз NPK (-0,89 кг/га по фону дискования и -2,85 кг/га с применением отвальной вспашки). Однако, при систематической утилизации жидких стоков свинок комплекса он достиг положительных значений и в среднем за ротацию составил +12,01 кг/га при минимальной обработке и +10,85 кг/га с применением отвальной вспашки, а от заделки твердой фракции навоза +33,70 кг/га и +32,10 кг/га соответственно.

2. Разница между способами утилизации органических отходов свинок комплекса по накоплению подвижного фосфора в пахотном слое осваиваемых земель составляет +1,16...+1,60 кг/га в пользу минимальной обработки, что достоверно для фактора В при НСР₀₅=0,75 кг. Эффективность поверхностной заделки органических отходов в посевной слой почвы 0-10 см объясняется тем, что на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах с промывным типом водного режима степень закрепления P₂O₅ в пахотном слое на 5,0...10,7% выше по сравнению с заделкой их отвальными плугами.

3. Дефицит обменного калия установлен только на контрольном варианте (-7,59 и -7,65 кг/га по способам обработки), тогда как при внесении расчетных доз NPK на запланированную урожайность люпина его поступление превысило исходное значение на 5,87 кг/га по фону минимальной обработки и на 3,57 кг/га с применением отвальной вспашки, что в последнем случае является существенным преимуществом поверхностной заделки для фактора В.

4. Применение органических отходов свинок комплекса в безопасных дозах обеспечивает расширенное воспроизводство K₂O как при утилизации жидких стоков (+55,93 кг/га относительно исходного значения на фоне минимальной обработки и +53,77 кг/га с использованием отвальной вспашки), так и при заделке твердой фракции навоза (+67,49 и +64,84 кг/га соответственно), что достоверно выше по сравнению с заделкой жидких стоков.

5. Согласно выполненным расчетам для поддержания расширенного воспроизводства фосфатного калийного режимов на освоенных землях необходимо ежегодно вносить 30...35 м³/га жидких стоков или 10...12 т/га твердой фракции навоза и заделывать их в пахотный слой дерново-подзолистых легкосуглинистых почв с промывным типом водного режима дисковыми орудиями на глубину 7-10 см.

Список источников

1. Шевченко В.А. Современное состояние вывешивших из оборота мелиорированных земель и перспективы их освоения. Москва: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», 2021. 410 с.



2. Кидин В.В. Основы питания растений и применения удобрений: учебное пособие. Часть 4. I. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2008. 415 с.

3. Шевченко В.А., Соловьев А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Динамика содержания подвижного фосфора в зависимости от системы удобрения и предшественников при освоении залежных земель // *Плодородие*. 2020. № 5 (116). С. 3-7.

4. Трифонова М.Ф., Бляндур О.В., Соловьев А.М., Фирсов И.П., Сиротин А.А., Сиротина Л.В. Физические факторы в растениеводстве. Москва: Колос, 1998. 352 с.

5. Железяко В.И. Использование бесподстилочного навоза на мелиорируемых агроландшафтах Нечерноземья/ В.И. Железяко, П.Ф. Тиво, Ю.А. Мажайский. 2-е издание, переработанное и дополненное. Рязань: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2006. 303 с.

6. Мерзлая Г.Е. Биологические факторы в системах удобрения // *Агрохимия*, 2017, № 10. С. 24-26.

7. Шамрай Л.А. Влияние многолетнего применения удобрений в севообороте на фосфатный режим почвы // *Агрохимия*. 1991. № 2. С. 15-21.

8. Адрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрений. М.: ВНИИА, 2004. 296 с.

9. Сушеница Б.А. Фосфатный уровень почв и его регулирование. М.: КолосС, 2007. 376 с.

10. Петербургский А.В. Значение калия в повышении урожайности. М.: Просвещение, 1967. 477 с.

11. Усков И.Б., Державин Л.М. Эффективность удобрений и продуктивность земледелия при глобальном изменении климата// *Плодородие*, 2008 г., № 2. С. 7-9.

12. Носов В.В., Соколова Т.А., Прокошев В.В. Влияние калийных и магниевых удобрений и известкования на подвижность калия, кальция и магния в супесчаных дерново-подзолистых почвах // *Агрохимия*, 1995. № 10. С. 3-9.

13. Никитина Л.В. Влияние длительного применения удобрений в зернопропашном севообороте на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // *Агрохимия*, 2010. № 12. С. 15-23.

14. Бородычев В.В., Шевченко В.А., Соловьев А.М. Динамика содержания обменного калия при освоении

залежных земель в зависимости от системы удобрения и предшественников // *Плодородие*, 2021. № 3 (120). С. 84-88.

15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Shevchenko V.A. (2021). *Sovremennoe sostoyanie vybyvshikh iz oborota meliorirovannykh zemel' i perspektivy ikh osvoeniya* [The current state of reclaimed lands that have been withdrawn from circulation and the prospects for their development], Moscow, All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov.

2. Kidin V.V. (2008). *Osnovy pitaniya rastenii i primeneniya udobrenii: uchebnoe posobie. Chast' 4. I.* [Fundamentals of Plant Nutrition and Fertilizer Application: Textbook. Part 4. I.]. Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev.

3. Shevchenko V.A. & Solov'ev A.M. & Bondareva G.I. & Popova N.P. (2020). *Dinamika soderzhaniya podvizhnogo fosfora v zavisimosti ot sistemy udobreniya i predshestvennikov pri osvoenii zaleznykh zemel'* [Dynamics of Mobile Phosphorus Content Depending on Fertilizer System and Predecessors in the Development of Fallow Lands]. *Plodородie*, no. 5 (116), pp. 3-7.

4. Trifonova M.F. & Blyandur O.V. & Solov'ev A.M. & Firssov I.P. & Sirotnin A.A. & Sirotnina L.V. (1998). *Fizicheskie faktory v rastenievodstve* [Physical Factors in Crop Production]? Moscow, *Kolos*.

5. V.I. Zhelezayko, P.F. Tivo, YU.A. Mazhaiskii. (2006). *Ispol'zovanie bespodstilochnogo navoza na melioriruemykh agrolandshaftakh Nечernozem'ya* [Use of Bedstraw Manure in Reclaimed Agricultural Landscapes of the Non-Chernozem Region/ V.I. Zhelezaya, P.F. Tivo, Yu.A. Mazhaysky. — 2nd edition, revised and expanded], RYAZAN, All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov.

6. Merzlaya G.E. (2017). *Biologicheskie faktory v sistemakh udobreniya* [Biological Factors in Fertilizer Systems]. *Agrokhimiya*, no. 10, pp. 24-26.

7. Shamrai L.A. (1991). *Vliyanie mnogoletnego primeneniya udobrenii v sevooborote na fosfatnyi rezhim pochvy* [In-

fluence of Long-Term Fertilizer Application in Crop Rotation on the Phosphate Regime of the Soil]. *Agrokhimiya*, no. 2. pp. 15-21.

8. Adrianov S.N. (2004). *Formirovaniye fosfatnogo rezhima dervno-podzolistykh pochv v raznykh sistemakh udobrenii* [Formation of the Phosphate Regime of Sod-Podzolic Soils in Different Fertilizer Systems], Moscow, VNIIA.

9. Susheinita B.A. (2007). *Fosfatnyi uroven' pochv i ego regulirovaniye* [Phosphate Level of Soils and Its Regulation], Moscow, *Kolos*.

10. Peterburgskii A.V. (1967) *Znachenie kaliya v povyshenii urozhainosti* [The Role of Potassium in Increasing Crop Yield]. Moscow: Prosveshchenie.

11. Uskov I.B. & Derzhavin L.M. (2008). *Ehffektivnost' udobrenii i produktivnost' zemledeliya pri global'nom izmenenii klimata* [Fertilizer Efficiency and Agricultural Productivity in the Context of Global Climate Change]. *Plodородie*, no. 2, pp. 7-9.

12. Nosov V.V. & Sokolova T.A. & Prokoshev V.V. (1995). *Vliyanie kaliinykh i magnievyykh udobrenii i izvestkovaniya na podvizhnost' kaliya, kal'tsiya i magniya v supeschanykh dervno-podzolistykh pochvakh* [Influence of Potassium and Magnesium Fertilizers and Liming on the Mobility of Potassium, Calcium, and Magnesium in Sandy Loam Sod-Podzolic Soils]. *Agrokhimiya*, no.10, pp. 3-9.

13. Nikitina L.V. (2010). *Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobrenii v zernopropashnom sevooborote na kaliinyi rezhim dervno-podzolistoi tyazhelosuglinistoi pochvy* [Influence of Long-Term Application of Fertilizers in a Grain-Tillage Crop Rotation on the Potassium Regime of Sod-Podzolic Heavy Loamy Soil]. *Agrokhimiya*, no. 12, pp. 15-23.

14. Borodychev V.V. & Shevchenko V.A. & Solov'ev A.M. (2021). *Dinamika soderzhaniya obmennogo kaliya pri osvoenii zaleznykh zemel' v zavisimosti ot sistemy udobreniya i predshestvennikov* [Dynamics of Exchangeable Potassium Content during the Development of Fallow Lands, Depending on the Fertilization System and Predecessors]. *Plodородie*, no. 3 (120), pp. 84-88.

15. Dospekhov B.A. (1985). *Metodika polevnogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of Field Experiments (with the Basics of Statistical Analysis of Research Results)], Moscow, *Agropromizdat*.

Информация об авторах:

Шевченко Виктор Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, директор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5444-9693>, Scopus ID: 57209792752, SPIN-код: 8028-2743; ID РИНЦ 479685, shevchenko.v.a@yandex.ru

Соловьев Алексей Малахович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий отделом управления плодородием почв мелиорируемых земель, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8387-0989>, Scopus ID: 57219090365, SPIN-код: 6080-1245, ID РИНЦ 756344, solo-a45@mail.ru

Бондарева Галина Ивановна, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела управления плодородием почв мелиорируемых земель, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7816-7968>, Scopus ID: 57210220490, SPIN-код: 1626-3289, ID РИНЦ: 277984, boss2569@yandex.ru

Попова Наталья Павловна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела управления плодородием почв мелиорируемых земель, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9301-027X>, Scopus ID: 57219096264, SPIN-код: 1891-2369, ID РИНЦ 891027, lyn.popova@yandex.ru

Information about the authors:

Viktor A. Shevchenko, doctor of agricultural sciences, professor, academician of the Russian Academy of Sciences (RAS), director of the Federal scientific center for hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakova, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5444-9693>, Scopus Author ID: 57209792752, SPIN code: 8028-2743, RSCI ID: 479685, shevchenko.v.a@yandex.ru

Aleksey M. Solov'yev, doctor of agricultural sciences, professor, head of the department for management of soil fertility of reclaimed lands, Federal scientific center for hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakova, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8387-0989>, Scopus Author ID: 57219090365, SPIN code: 6080-1245, RSCI ID: 756344, solo-a45@mail.ru

Galina I. Bondareva, doctor of technical sciences, associate professor, chief researcher of the department for management of soil fertility of reclaimed lands, Federal scientific center for hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakova, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7816-7968>, Scopus Author ID: 57210220490, SPIN code: 1626-3289, RSCI ID: 277984, boss2569@yandex.ru

Natalya P. Popova, candidate of agricultural sciences, associate professor, leading researcher of the department for management of Soil Fertility of Reclaimed Lands, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9301-027X>, Scopus Author ID: 57219096264, SPIN code: 1891-2369, RSCI ID: 891027, lyn.popova@yandex.ru

