

питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. – М.: ЦИНАО, 2000. – 524 с. 10. Афанасьев Р.А. Магний в системе почва – растение – животное // Плодородие. – 2005. – № 5. – С. 19-21. 11. Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А. и др. Известкование как

фактор урожайности и почвенного плодородия. – М.: ВНИИА, 2008. – 340 с. 12. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 231 с. 13. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 304 с.

CONSUMPTION OF POTASSIUM AND MAGNESIUM BY POTATOES AND CHANGE THEIR CONTENT IN SOIL OF THE FIELD EXPERIMENT

V.N. Yakimenko

Institute of Soil Science and Agrochemistry Lavrentyeva pr. 8/2, 630090 Novosibirsk, Russia, E-mail: yakimenko@issa.nsc.ru

In the field experiment on the gray forest medium-loamy soil of the forest-steppe of Western Siberia the specificity of potassium and magnesium consumption by potatoes depending on the level of mineral nutrition is revealed. The influence of long-term agricultural use of soil at different intensity of mineral fertilizers application on the content of exchange potassium and magnesium in the soil profile is established. It is shown that the level of potassium in the soil varied depending on the potassium balance in agroecosystem, and the magnesium content was most dependent on the action of fertilizers, primarily ammonium

Key words: agroecosystem, potassium, magnesium, soil content, potato consumption.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИЕМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕЛИОРИРОВАННОЙ ПОЧВЫ В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ

**В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, д.с.-х.н., ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова
Н.С. Матюк, д.с.-х.н., РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева**

Изложено обоснование ресурсосберегающих приемов механической обработки мелиорированной почвы. Показано их влияние на урожайность и энергетическую эффективность полевых культур, а также на показатели почвенного плодородия.

Ключевые слова: ресурсосберегающая обработка почвы, принципы разноточной обработки, энергетическая эффективность, плодородие почв.

DOI: 10.25680/S19948603.2018.104.07

Обработка почвы – одна из самых энергоемких и дорогостоящих технологических операций в земледелии, так как на ее выполнение расходуется около 40% энергетических и 25% трудовых затрат при возделывании сельскохозяйственных культур. Она играет ведущую роль среди агротехнических приемов на мелиорированных землях, поскольку регулирует соотношение объемов жидкой, твердой и газообразной фаз почвы, придает определенную направленность химическим, физико-химическим и биологическим процессам, ускоряет или замедляет темпы синтеза и разрушения органического вещества. С её помощью можно повысить водопроницаемость мелиорированных почв, создать на полях водозадерживающий микрорельеф, придать поверхности пашни более устойчивое к эрозии состояние [2, 5, 8].

Хотя по площади пашни Россия занимает четвертое место в мире (122 млн га) после США (186 млн га), Индии (166 млн га) и Китая (143 млн га), однако только 35% пахотных земель в степной и лесостепной природно-климатических зонах находятся в относительно благоприятных условиях по обеспеченности их осадками [4]. Учитывая почвенно-климатические ресурсы отмечено [9], что в России основные площади земель находятся в зоне рискованного земледелия, где без мелиорации невозможно получить гарантированные урожаи сельскохозяйственных культур и обеспечить продовольственную безопасность страны.

В Нечерноземной зоне России более 3,5 млн га осушенных земель расположены в Северо-Западном, Центральном и Волго-Вятском регионах, в которых количество выпадающих осадков преобладает над испарением, а коэффициент увлажнения почти всегда больше единицы [1].

Разнообразие ландшафтных условий, разные требования сельскохозяйственных культур к свойствам мелиорированной почвы, строению пахотного слоя, развитие негативных эрозийных процессов – всё это обуславливает необходимость дифференциации систем обработки почвы в севооборотах различной специализации. Следует учитывать, что механическая нагрузка на почву при ее обработке имеет оптимальные параметры, превышение которых приводит к деградации почвы, проявляющейся в виде выщелачивания элементов питания из пахотного слоя, к потере структурности, нарушению энергетических потоков при возделывании полевых культур и другим негативным явлениям [7].

В связи с этим система обработки осушенных земель Нечерноземной зоны должна иметь агро-мелиоративную разноточную направленность, оптимизировать поверхностный сток и отвод избыточной влаги из корнеобитаемого слоя для улучшения аэрации почвы и активизации в ней биологических процессов. Кроме того, осуществлять перераспределение внутрипочвенного стока в подпахотных слоях с помощью различных по глубине и интенсивности приемов основной обработки почвы, что в итоге обеспечит существенный рост валовой продукции.

Цель исследований – совершенствовать приемы механической обработки мелиорированной почвы на основе принципов экологичности, адаптивности, разноточности и ресурсосбережения, а также установить их влияние на урожайность полевых культур и показатели почвенного плодородия.

Методика. Экспериментальные исследования выполнены на испытательном участке ОАО «Агрофирма Дмитрова гора» Конаковского района Тверской области в период с 2005 по 2016 гг. Почва участка – дерново-

подзолистая легкосуглинистая хорошо окультуренная, осушена закрытым дренажом. Мощность пахотного слоя – 20-22 см, содержание гумуса – 1,48-1,78%, P_2O_5 – 15,5-18,2 мг/100 г, K_2O – 9,3-10,4 мг/100 г почвы; $pH_{\text{сол.}}$ 5,8-5,9.

Опыт закладывали в 4-кратной повторности, расположение делянок рендомизированное. Учетная площадь делянки – 25 м², общая – 50 м².

В качестве основного удобрения использовали жидкие стоки животноводческих комплексов с помощью разработанного нами агрегата, прошедшего научно-техническую и производственную экспертизу и защищенного патентом. Жидкие животноводческие стоки вносили весной под яровые культуры перед посевом, под озимые – после уборки предшественника. Стоки равномерно распределяли по полю и быстро заделывали на глубину 10 см. Недостающее количество элементов минерального питания рассчитывали по методике [3].

Метеорологические условия в годы проведения опытов значительно различались по температурному режиму, количеству выпавших осадков и их распределению по декадам и месяцам. Это позволило объективно оценить влияние приемов механической обработки мелиорированной почвы на изучаемые параметры продуктивности посевов, энергетическую эффективность и показатели почвенного плодородия.

Исследования выполнены по методикам, применяемым в научно-исследовательских учреждениях и вузах сельскохозяйственного профиля.

Результаты и их обсуждение. Пригодность мелиорированной почвы для обработки её по принципу адаптивности определяется в соответствии с видом сельскохозяйственных посевов, возделываемых на ней, учетом водосборной площади и объема возможного стока воды. Разноглубинность обработки почвы и ресурсосбережение при минимальной и нулевой обработках применимы в первую очередь на окультуренных, с высоким уровнем плодородия и оптимальными агрофизическими свойствами (плотность сложения 1,25-1,30 г/см³, содержание водопрочной структуры более 35%, скорость фильтрации более 0,3 м/сут) агроландшафтах. Пригодность мелиорированной почвы для совершенствования приемов обработки определяется также высоким содержанием гумуса (более 2%), количеством водопрочных агрегатов размером 7-0,25 мм (более 30%) и отношением общей пористости к объему твердой фазы почвы в равновесном состоянии (более 0,9).

На хорошо окультуренных мелиорированных почвах с высоким уровнем плодородия при подготовке их под озимые после однолетних трав, раннего картофеля и силосных культур глубину основной обработки можно уменьшить с 20-22 до 10-12 см. Это сократит энергетические затраты на 25-30%, расход дизельного топлива – на 7-10 л/га. Применение гербицидов в послеуборочный период на однолетних и многолетних травах уничтожает дернину, вегетирующие сорняки и обеспечивает оптимальные условия для дальнейшего применения сеялок прямого посева.

Поверхностная обработка и разноглубинное чизелевание эффективны при возделывании пшеницы по занятым парам, овса после пропашных культур и ячменя после озимой пшеницы. Обработка почвы перед посевами предшественника – выполнялась дисковой бороной на глубину до 12 см. Использование прямого посе-

ва как элемента возделывания зерновых культур не привело к существенному снижению урожайности озимой пшеницы и ячменя, однако обеспечило достоверную прибавку овса (табл. 1).

1. Урожайность зерновых культур в зависимости от способов безотвальной обработки на мелиорированной почве (в среднем за 2005-2016 гг.)

Культура, предшественник	При вспашке (контроль), т/га	При безотвальной обработке, % к контролю		
		чизельной	поверхностной	прямым посевом
Озимая пшеница после: однолетних трав клевера, 1-го г.п. многолетних трав 1-го г.п.	5,45	106,8	97,9	93,6
	3,63	121,3	112,4	98,9
	6,54	88,6	84,4	71,3
Овес после: картофеля кукурузы на зеленый корм	4,36	108,5	103,4	104,9
	4,84	112,3	109,0	110,2
Яровой ячмень после: озимой пшеницы в среднем по зерновым	4,99	116,8	101,7	91,4
	4,97	109,1	101,5	95,1
НСР ₀₅	0,26	5,7	5,4	5,1

Для обеспечения нормального развития растений на осушенных землях грунтовые воды нужно поддерживать на определенном уровне, который зависит как от почвенно-климатических условий, так и от возделываемых культур. Как правило, чем суше климат, тем выше должны находиться почвенно-грунтовые воды после осушения, чтобы обеспечить в засушливые годы устойчивые урожаи сельскохозяйственных растений. В условиях южной части Центрального региона Нечерноземной зоны для большинства сельскохозяйственных культур уровень почвенно-грунтовых вод в течение вегетационного периода не должен опускаться ниже 70-80 см. При выращивании сахарной свеклы, картофеля и кукурузы этот уровень необходимо поддерживать в пределах 100-120 см.

Все это требует дифференцированного подхода к выбору системы механической обработки осушенных земель. Углубление пахотного слоя – эффективный прием окультуривания осушенных земель, который улучшает агрофизические свойства почвы, увеличивает аккумулялирующую способность пахотного слоя, позволяет более продуктивно использовать запасы воды и питательных веществ. При этом улучшается воздушный режим и активизируется деятельность почвенных микроорганизмов.

На хорошо гумусированных дерново-подзолистых и дерновых почвах со слабой степенью оглеения пахотный слой необходимо углублять до 30-32 см, постепенно припахивая 3-5 см почвы с одновременным внесением органических и минеральных удобрений, а также извести. На тяжелых почвах с сильной степенью оглеения эффективны вспашка плугами с вырезными отвалами, а также двухъярусная вспашка или безотвальное рыхление.

Глубина вспашки осушенных болотных торфяных почв определяется мощностью торфяного слоя. При толщине торфяного слоя до 30 см вспашку проводят на всю глубину его залегания с предварительным фрезированием верхнего слоя. Почву с глеевым горизонтом дополнительно рыхлят безотвальными чизельными орудиями на глубину 38-40 см, не извлекая его на поверхность из-за сильной токсичности для растений.

Последующее припахивание 3-5 см минеральной почвы нижележащих слоев к пахотному слою усиливает минерализацию торфа и закрепление гумусовых веществ. Такой способ углубления активизирует деятельность актиномицетов, целлюлозоразлагающих и аммонифицирующих бактерий и грибов, что улучшает питательный режим и окультуривание болотных почв.

На тяжелых почвах глубокие обработки в севообороте проводят через год, а на легких – периодичность их углубления увеличивают до 2-3-х лет. Наиболее рационально их проведение в системе зяблевой обработки или после рановубираемых культур. На сильно засоренных полях глубокие обработки дополняют предварительным лушением с учетом видового состава сорняков.

Оценка эффективности возделывания сельскохозяйственных культур при разных системах обработки в зернотравяном и зернопропашном севооборотах свидетельствует, что нулевая, поверхностная, чизельная, фрезерная, а также трехъярусная и отвальная с фрезированием обработки имеют лучшие энергетические показатели по сравнению с отвальной вспашкой. Это достигается за счет более высокого энергосодержания основной продукции при относительно одинаковых совокупных энергетических затратах. Системы минимальной обработки также обеспечивают снижение на 22,6-25,0% расхода топлива на производство 1 т к.е. основной продукции и на 3,3-8,8% их энергоёмкости (табл. 2).

2. Энергетическая эффективность возделывания культур в севооборотах при различных системах обработки на мелиорированной почве (в среднем за 2005-2016 гг.)

Показатель	Зернопропашной севооборот			Зернотравяной севооборот				НCR ₀₅
	отвальная обработка (контроль)	фрезерная минимальная	трехъярусная и отвальная с фрезированием	нулевая	поверхностная	чизельная	отвальная (контроль)	
Совокупные затраты, тыс. МДж/га	34,7	33,6	35,1	37,6	38,6	39,9	38,8	2,0
Энергосодержание основной продукции, тыс. МДж/га	46,5	49,4	51,2	58,9	62,1	63,2	59,3	2,9
Коэффициент энергетической эффективности	1,34	1,47	1,46	1,57	1,61	1,58	1,53	0,08
Выход основной продукции, ц к. е./га	39,1	41,5	42,8	54,1	56,7	58,0	54,3	2,7
Расход дизельного топлива, кг/ц к. е. основной продукции	31	24	29	18	21	22	24	1,3
Энергоёмкость 1 ц к. е. основной продукции, МДж	8875	8096	8201	6950	6808	6879	7145	396,4

Принцип разноглубинности обработки мелиорированной почвы в севообороте предусматривает рациональное чередование приемов по глубине в соответствии с биологическими особенностями возделываемых культур, их отзывчивостью на глубину обработки и мощность создаваемого пахотного слоя [6]. В исследованиях культуры с мочковатой корневой системой (озимая рожь, озимая пшеница, ячмень, овес, яровая пшеница и др.), с преимущественным расположением её в верхних частях почвенного профиля недостаточно

эффективно использовали питательные вещества и влагу из более глубоких горизонтов и слабо реагировали на глубину обработки. Поэтому, глубину основной обработки под эти культуры целесообразно уменьшить до 10-12 см, особенно на слабозасоренных многолетними сорняками посевах, а также при размещении их после пропашных, зернобобовых и однолетних трав.

Растения со стержневой, глубоко проникающей корневой системой (клевер, люпин, горох, картофель, подсолнечник и др.), хорошо отзываются на глубокую обработку. Они лучше используют питательные вещества и влагу из глубоко разрыхленных подпахотных слоев (табл. 3).

3. Влияние глубины обработки на урожайность полевых культур (в среднем за 2005-2016 гг.)

Глубина обработки, см	Урожайность, т/га					
	зерновые		пропашные		кормовые	
	озимые	яровые	кукуруза	картофель	клевер	вики-овес
4-6	4,9	4,6	58,6	30,8	10,3	8,7
8-10	5,3	5,1	63,9	31,3	10,8	9,1
16-18	5,4	5,1	65,8	35,9	10,9	9,3
20-22	5,4	5,1	67,9	36,5	11,5	9,3
38-40	5,8	5,3	80,3	38,0	11,9	9,4
НCR ₀₅	0,3	0,3	4,1	2,0	0,6	0,5

Принцип обоснованного чередования отвальных и безотвальных приемов обработки мелиорированной почвы базируется на их особенностях. Было установлено, что отвальные приемы ускоряют разложение органического вещества в среднем на 20-25% и приводят к снижению противоэрозионной устойчивости почвы. В тех же условиях безотвальные приемы замедляют процесс минерализации гумуса и в большей степени способствуют его накоплению. Минерализация органического вещества почвы при такой обработке снижается на 25-27%.

При вспашке основное количество растительных остатков (42-45%) разлагается в осенне-весенний период и часть продуктов распада вымывается из пахотного слоя в нижележащие горизонты. В вариантах с приемами безотвальных обработок (нулевая, поверхностная, плоскорезная, чизельная) за этот период разлагалось лишь 20-25% их общего количества, а основная масса минерализовалась в течение вегетационного периода и использовалась растениями или закреплялась в почве. Выявленные закономерности минерализации растительных остатков в полной мере согласуются с показателями плодородия отдельных слоев корнеобитаемой зоны мелиорированной дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы (табл. 4).

Анализ представленных данных позволяет заключить, что при отвальной обработке дифференциация слоя почвы 0-40 см по показателям плодородия практически не выражена. Системы минимальной обработки (нулевая, поверхностная, чизельная) привели к увеличению содержания подвижного фосфора (P₂O₅) в верхней части пахотного слоя в 1,48-1,60 раза по сравнению с вспашкой на 20 см. Внесенный с удобрениями и высвободившийся от минерализации органических остатков калий локализовался на делянках с мелкой обработкой также в слое 0-10 см, в то время как в вариантах с вспашкой его распределение в корнеобитаемом слое было относительно выровненным. Аналогичные закономерности отмечены и в распределении содержания гумуса по генетическим горизонтам.

4. Влияние различных систем обработки на показатели плодородия мелиорированной почвы (в среднем за 2005-2016 гг.)

Система обработки почвы	Слой почвы, см	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг/100 г почвы	
Отвальная (контроль)	0-10	2,12	17,0	10,9
	10-20	2,34	17,3	11,8
	20-30	1,07	7,0	8,9
	30-40	0,63	4,9	7,0
Нулевая	0-10	2,38	27,2	18,7
	10-20	1,71	10,9	9,0
	20-30	1,07	5,9	5,8
	30-40	0,52	3,7	5,3
Чизельная	0-10	2,08	25,2	17,3
	10-20	1,82	18,0	9,2
	20-30	1,32	7,4	8,0
	30-40	0,64	4,8	6,8
НСР ₀₅	0-10	0,12	1,3	0,8
	10-20	0,11	0,9	0,5
	20-30	0,07	0,4	0,4
	30-40	0,03	0,3	0,3

Таким образом, дифференциация слоя почвы 0-40 см по плодородию, сопровождающаяся увеличением засоренности посевов, ухудшением фитосанитарного состояния при ежегодных безотвальных приемах обработки вызывает необходимость периодического (1 раз в 2-3 года) применения отвальной обработки, прежде всего, под пропашные парозанимающие культуры, под которые, как правило, вносят органические удобрения и известь.

Необходимость разуплотнения сильно деформированных подпахотных горизонтов, предотвращение чрезмерного стока воды и смыва почвы на склоновых мелиорированных землях требуют включения в систему отвальной обработки периодического разнотравного безотвального рыхления на глубину до 40 см. Это особенно актуально вблизи крупных животноводческих комплексов, где в качестве основного удобрения вносят жидкие стоки в дозе 100-120 т/га. Это быстродействующее органическое удобрение содержит в своем составе до 0,5% калия, поэтому при внесении стоков на поля с предварительным чизелеванием или щелеванием на легких и средних по гранулометрическому составу почвах калий в значительной мере входит в состав почвенного поглощающего комплекса, что исключает дефицит этого элемента на осушенных торфяниках.

Выводы. 1. Принцип разнотравной обработки мелиорированной почвы, обеспечивающий высокую урожайность полевых культур и лучшие экономические показатели, предусматривает рациональное чередование механических приемов воздействия на пахотный слой по глубине в соответствии с биологическими осо-

бенностями возделываемых растений в севообороте, их отзывчивостью на глубину обработки и мощность осушенных земель.

2. На хорошо гумусированных дерново-подзолистых и дерновых почвах со слабой степенью оглеения следует углублять пахотный слой до 30-32 см путем постепенного припахивания 3-5 см почвы с одновременным внесением органических и минеральных удобрений, а также извести. На тяжелых почвах с сильной степенью оглеения целесообразно применять вспашку плугами с вырезными отвалами, а также двухъярусную вспашку или поверхностное безотвальное рыхление.

3. При отвальной вспашке основное количество растительных остатков (42-45%) разлагается в осенне-весенний период и часть продуктов распада вымывается из пахотного слоя в нижележащие горизонты. В вариантах с приемами безотвальных обработок (нулевая, поверхностная, плоскорезная, чизельная) за этот период разлагается лишь 20-25% их общего количества, а основная масса минерализуется в течение вегетационного периода и используется растениями, а также закрепляется в верхних слоях. Это оказывает положительное влияние на показатели плодородия пашни.

4. Для обеспечения нормального развития растений с мочковатой корневой системой уровень грунтовых вод на осушенных землях следует поддерживать в интервале 70-80 см, а со стержневой корневой системой – 100-120 см.

Литература

1. Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Пупонин А.И. и др. Земледелие: учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений/ Под ред. А.И. Пупонина. – М.: Колос, 2000. – С. 388-395. 2. Беленков А.И., Шевченко В.А., Трофимова Т.А. и др. Научно-практические основы совершенствования обработки почвы в современных адаптивно-ландшафтных системах земледелия: монография. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – С. 49-77. 3. Каюмов М.К. Программирование урожаев. – М.: Московский рабочий, 1981. – С. 7-98. 4. Колганов А.В., Сухой Н.А., Шкура В.Н. и др. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России: информ. издание. – М.: Росинформагротех, 2016. – С. 183-189. 5. Матюк Н.С., Полин В.Д. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в адаптивном земледелии: учебное пособие. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – С. 107-119. 6. Матюк Н.С. Принципы ресурсосберегающей обработки почвы в современной системе земледелия / Н.С. Матюк, В.А. Шевченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 7. – С. 2. 7. Сутягин В.П., Туликов А.М., Сутягина Т.И. Системный анализ энергетических потоков в земледелии: учебное пособие. – Тверь: Агро-сфера, 2008. – 140 с. 8. Шевченко В.А. Продуктивность зерновых и пропашных культур при разных технологиях возделывания в условиях Центрального района Нечерноземной зоны: монография. – М.: Агробизнесцентр, 2006. – С. 57-113. 9. Щедрин В.Н., Колганов А.В., Васильев С.М. и др. Оросительные системы России: 2 поколения к поколению: монография. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 283 с.

ADVANCE OF MECHANICAL PROCESSING TECHNIQS FOR AMELIORATED SOILS OF NON-CHERNOZEM ZONE

V.A. Shevchenko¹, A.M. Solovyev¹, N.S. Matyuk²

¹ Kostyakov All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Bolshaya Akademicheskaya ul. 44, 127550 Moscow, Russia

² RSAU-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazeva ul. 49, 127550 Moscow, Russia

The substantiation of resource-saving methods of mechanical processing of reclaimed soil is stated. Their influence on the yield and energy efficiency of field crops, as well as on soil fertility indicators is shown.

Key words: resource-saving processing of soil, principles of the different depth of processing, energy efficiency, soil fertility