

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

Известия ТСХА, выпуск 6, 2011 год

УДК 631.95:631.421.1

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ РГАУ-МСХА имени К. А. ТИМИРЯЗЕВА

А.И. БЕЛЕНКОВ, С.В. ЖЕЛЕЗОВА, Е.В. БЕРЕЗОВСКИЙ, М.А. МАЗИРОВ

(Центр точного земледелия Полевой опытной станции
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Рассматриваются вопросы реализации технологии точного земледелия в полевом опыте ЦТЗ в сравнении с традиционными технологиями возделывания с.-х. культур.

Ключевые слова: точное земледелие, автопилот, стыковые междурядья, N-сенсор, пестрота почвенного плодородия, карта урожайности.

В 2007 г. в рамках инновационного общеобразовательного проекта в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева впервые в стране был создан научный Центр точного земледелия в составе Полевой опытной станции. В задачу Центра входит разработка и освоение технологии точного земледелия в рамках полевого опыта, демонстрация основных элементов точного земледелия, обучение студентов и всех заинтересованных лиц новым современным технологиям, внедрение результатов исследований в производство, проведение семинаров и курсов повышения квалификации. Основу Центра составляет полевой опыт по сравнительному изучению технологий точного и традиционного земледелия в рамках четырехпольного севооборота: викоовсяная смесь на корм — озимая пшеница с пожнивным посевом горчицы на сидерат — картофель — ячмень [3].

В опыте изучаются два фактора — технология возделывания полевых культур (фактор А) и приемы основной обработки почвы (фактор В). Традиционная технология возделывания культур (A_1) основана на использовании современной техники с соблюдением рекомендуемых параметров, сроков и нормативных показателей их выполнения. Технология точного земледелия (A_2) основана на принципах использования спутниковой системы глобального позиционирования GPS, с помощью которой корректируется выполнение агроприемов. Изучаемые приемы обработки различаются между собой по интенсивности и характеру воздействия на почву: отвальная (B_1), минимальная (B_2) и нулевая (B_3). Каждая технология включает две обработки почвы под викоовсяную смесь и озимую пшеницу — отвальную на глубину 20-22 см, проводимую оборотным плугом Eur Oral и нулевую (без обработки), под картофель и ячмень — отвальную и минимальную на 12-14 см, которая выполняется комбинированным агрегатом Pegasus [1].

Целью и задачами опыта ЦТЗ являются адаптация технологии точного земледелия к местным условиям, реализация агроэкологических аспектов применения средств защиты растений, формирование стабильных урожаев.

Почвы полевой опытной станции по гранулометрическому составу легкосуглинистые и супесчаные, по цвету чаще красно-бурые карбонатные, слои от 3 до 5 см выщелоченные. Верхние горизонты мощностью в 40-50 см представлены песчано-крупнопылеватым суглинком, по всей толще встречаются валуны. Содержание перегноя в пахотном слое от 2,1 до 2,5%. Обеспеченность общим азотом 35,5 мг/кг, содержание P_2O_5 — 200-250 мг/кг, степень обеспеченности — высокая. Содержание калия 150-200 мг/кг почвы, степень обеспеченности — повышенная. Потребность почв в известковании слабая, так как рН водной вытяжки колеблется в пределах от 5,8 до 6,2. Почва опытного участка хорошо окультурена и отвечает требованиям зерновых культур.

К числу определяющих элементов технологии точного земледелия относится посев (посадка) с.-х. культур с использованием навигационного оборудования, т.е. автопилота. Этот прибор использует систему GPS, составляющими которой являются спутниковая антенна, фиксирующая прием сигналов от спутников на данной местности и бортовые компьютеры, управляющие работой машин и агрегатов в системе точного земледелия [2].

Результаты трехлетнего испытания различных способов посева зерновых и кормовой культур приведены в таблице 1. Посев зерновых культур проводился в одном случае по автопилоту, в другом — по маркеру.

При этом посев озимой пшеницы и ячменя на отвальном фоне осуществлялся сеялкой точного высева D-9-30 с применением системы GPS и маркера. В нулевом варианте (без обработки) и при минимальной обработке почвы проводился посев пневматической сеялкой прямого посева DMC только с использованием

Таблица 1

Ширина стыковых междурядий и величина отклонений от стандартной величины междурядий сеялки

Культура	Сеялка D-9-30 (отвальный фон)				DMC (минимальный)	
	по маркеру		автопилот		автопилот	
	ширина стыкового междурядья, см	отклонение, см	ширина стыкового междурядья, см	отклонение, см	ширина стыкового междурядья, см	отклонение, см
<i>2008 г.</i>						
Ячмень	15,4	+3,4	13,5	+1,5	—	—
<i>2009 г.</i>						
Ячмень	14,0	+2,0	12,3	+0,3	17,3	-1,5
Вика+овес	—	—	13,5	+1,5	18,1	-0,7
Озимая пшеница	16,3	+4,3	14,3	+2,3	17,3	-1,5
<i>2010 г.</i>						
Ячмень	15,2	+3,2	13,2	+1,2	18,1	-0,7
Вика+овес	—	—	13,7	+1,7	19,1	+0,3
Озимая пшеница	17,0	+5,0	13,5	+1,5	20,2	+1,4

Примечание. Ширина междурядий сеялок D-9-30 — 12 см, DMC — 18,8 см.

автопилота. Маркер при работе этой сеялки использовать не удастся в силу конструктивных и технических недоработок. Посев викоовсяной смеси проводился двумя сеялками: D-9-30 на вспашке, ДМС в нулевом варианте только с применением автопилота.

В отдельные годы исследований наблюдается неодинаковая ширина стыковых междурядий между смежными проходами сеялок при посеве зерновых культур и смеси по маркеру и автопилоту. Так, в 2008 г. сеялкой D-9-30 высевали ячмень только в варианте с отвальной обработкой почвы. При этом получены отклонения величины стыковых междурядий от стандартной ширины междурядий, предусмотренных конструкцией сеялки, в случае посева по маркеру — 3,4 см, с использованием автопилота — 1,5 см. Допустимое отклонение ширины стыковых междурядий при посеве сеялками согласно агротребованиям составляет ± 5 см. Следовательно, посев ячменя по автопилоту в 2008 г. удовлетворял предъявляемым требованиям. Отклонения в прямолинейности рядков при посеве по маркеру были существенно выше (от 3,5 до 5,4 см). Соответственно на больших площадях, при посеве по маркеру, отклонения от прямолинейности в проходах посевного агрегата будут постепенно увеличиваться, достигая на больших гонах существенных размеров, что скажется на качестве выполняемой операции и как следствие отразится на формировании продуктивного стеблестоя и урожайности культуры. Это может привести также к образованию перекрытий стыковых рядов или появлению незасеянных огрехов, что повлечет перерасход семян. При посеве с использованием системы GPS были сформированы ровные рядки, с небольшими отклонениями между проходами посевного агрегата.

Посев зерновых культур в 2009 г. также проводился двумя способами с различиями по фонам основной обработки почвы. В посевах озимой пшеницы, высеваемой по вспашке с применением маркера и автопилота, наблюдались отклонения величины стыковых междурядий соответственно 4,3 и 2,3 см. В посевах ячменя эти параметры составили 2,0 и 0,3 см. Таким образом, снова выявлено преимущество технологий автоматического вождения. Вика с овсом сеялкой D-9-30 высевалась на вспашке только по автопилоту, при этом получена величина отклонения стыковых междурядий порядка 1,5 см. Это укладывается в существующие нормы.

На нулевом фоне для озимой пшеницы, викоовсяной смеси и на минимальном — для ячменя посев проводился пневматической сеялкой ДМС. При стандартном междурядье 18,8 см в 2009 г. получены отклонения на первой и третьей культурах 1,5 см, на второй — 0,7 см.

В 2010 г. несоответствие в ширине стыковых междурядий для отдельных культур проявилось следующим образом. На озимой пшенице при посеве по отвальной обработке D-9-30 по маркеру получено расстояние между смежными проходами сеялки 5 см, у ячменя — 3,2 см. При посеве по автопилоту соответственно получены результаты: 1,5 и 1,2 см. Для викоовсяной смеси эта величина равнялась 1,7 см. Отклонения при посеве этих культур сеялкой ДМС с использованием системы GPS составили: для озимой пшеницы 1,4; ячменя — 0,7; вики с овсом — 0,3 см. При ширине междурядий сеялки 18,8 см данные несоответствия вполне допустимы.

Посадку картофеля осуществляли картофелесажалкой GL-34T по автопилоту и маркеру (табл. 2).

Заданная траектория движения агрегата с использованием системы GPS повторяется в варианте точного земледелия в ходе проведения гребнеобразования по всходам картофеля. По традиционной технологии возделывания картофеля этот прием проводится при визуальном контроле, т.е. движением агрегата управляет механизатор.

Ширина смежных междурядий и расположение растений картофеля на гребне при различных технологиях возделывания

Год	Ширина междурядий при посадке, см		Расположение растений на гребне, см	
	маркер	автопилот	маркер	автопилот
2008	От 62 до 85	75 ± 3,5	От центра ±10-13	От центра ± 3,5
2009	От 65 до 81	75 ± 2, 8	От центра ± 6-10	От центра ± 2,8
2010	От 60 до 80	75 ± 3,3	От центра ± 5-15	От центра ± 3.3

Ширина междурядий между проходами картофелесажалки при использовании маркера и автопилота различалась по отдельным годам незначительно, составляя по традиционной технологии в среднем от 60-65 до 80-85 см, т.е. отклонение от стандартного междурядья сажалки (75 см) в пределах от -10 до +15 см. Применение системы GPS при выполнении технологии точного земледелия обеспечивало отклонение в прямолинейности смежных рядков от 2,5 до 3,5 см.

Важным условием развития полноценного растения картофеля является его расположение по отношению к центральной части гребня, формируемое в ходе проведения гребнеобразования после появления всходов. Проведение гребнеобразования в посадках картофеля, который возделывался по традиционной технологии, обеспечивало формирование растений картофеля с отклонениями от центра 5-15 см по отдельным годам. Это обуславливало односторонние изменения нарастания вегетативной части, неравномерность в образовании и развитии подземных клубней. При выполнении технологии точного земледелия растения картофеля располагались практически по центру рядка с допустимым отклонением порядка 2,8-3,5 см.

Второй компонент системы точного земледелия — использование специальных сканеров и сенсоров для оценки состояния посевов и последующего дифференцированного внесения удобрений и средств химической защиты растений (гербицидов) в зависимости от состояния культурных растений, наличия и обилия сорняков на отдельных участках поля [4, 5].

Принцип работы сенсорных датчиков основан на измерении индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), т.е. нормализованного относительного индекса растительности — это простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом), один из распространенных и используемых индексов для количественных оценок растительного покрова [6, 7].

В опыте центра точного земледелия для сканирования посевов используются датчики GreenSeeker RT 200 и N-Sensor.

Система RT 200 GreenSeeker снабжена активным источником света. Часть отраженного света попадает на фотодиоды, где измеряется его количество. После вычисления на компьютере выдается индекс вегетации, который служит показателем плотности травостоя и его жизнеспособности. Бортовой компьютер позволяет вычислять необходимое количество удобрений или пестицидов и подавать их в каждый жиклер. Каждый из этих датчиков, установленных на тракторе, имеет свой источник света и может использоваться в любое время суток (рис. 1).

Таким образом, система GreenSeeker RT 200 измеряет индекс вегетации биомассы NDVI, затем сравнивает полученное значение индекса с заданным алгорит-



Рис. 1. Система RT 200 GreenSeeker



Рис.2. N-SensorALS

мом и в режиме реального времени определяет, сколько удобрений или пестицидов надо внести на данном участке поля. Кроме того, если подключить приемник GPS, то в память компьютера можно занести значение индекса NDVI с привязкой к местности, а затем составить карту его распределения. Индекс NDVI можно использовать для мониторинга состояния посевов, определения потенциального урожая, установления факторов стрессовых ситуаций, воздействия вредителей и болезней [3, 8].

Более производительной системой, выполняющей аналогичную работу с одинаковым принципом действия, является N-Sensor ALS, который также используется для сканирования поверхности поля (рис. 2).

Информация, получаемая при эксплуатации указанных приборов, показывается в виде электронных карт, обрабатывается при помощи компьютерной программы SMS Advanced и представляется в виде ГИС (геоинформационной системы) (рис. 3). Особенно важно использование сенсорных датчиков при внесении азотных удобрений, применение которых является решающим фактором для поддержания плодородия почв, получения высоких

урожаев и улучшения качества сельхозпродукции. Одинаковое внесение удобрений при неоднородном составе питательных веществ в почве приводит к их локальной передозировке или недостаточности. Следовательно, удобрения необходимо вносить в соответствии с потребностями растений, что обеспечивает оптимальную эффективность их использования (см. рис. 3).

Дифференциальное внесение минеральных удобрений — одно из важнейших экономических и экологических аспектов точного земледелия. Применение данной технологии и оборудования позволяет значительно сократить затраты на удобрения, т.е. вносить их в зависимости от потребности культурных растений, а также обеспечивает оптимальное содержание питательных веществ в почве (рис. 4).

Третьим необходимым элементом точного земледелия является оценка содержания элементов питания почвы каждого конкретного участка поля [9].

Один из способов такой оценки — отбор огромного количества почвенных проб и анализ этих проб в лаборатории, определение содержания в почве азота, фос-

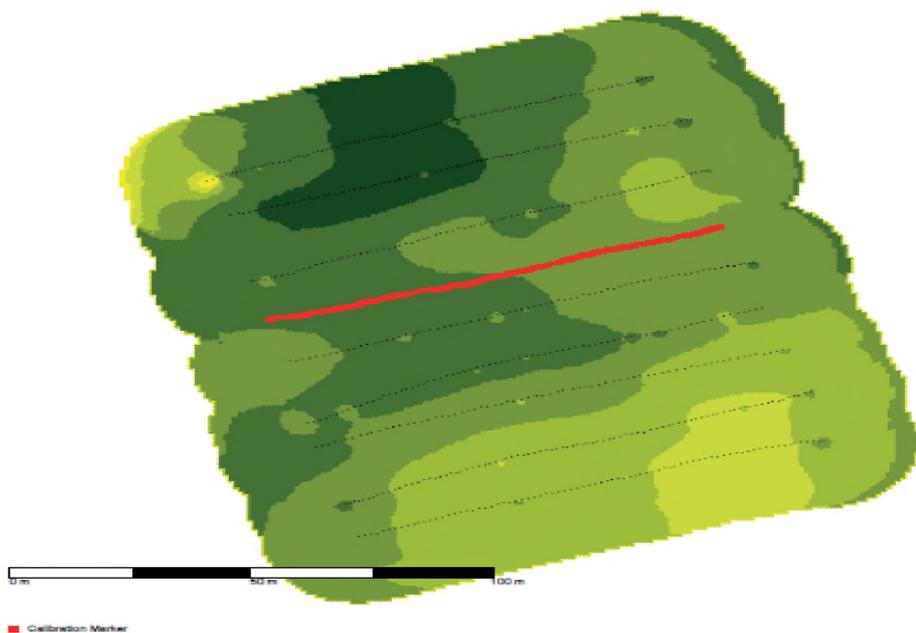


Рис. 3. Карта биомассы ячменя в фазу колошения (построено с использованием системы N-sensor)

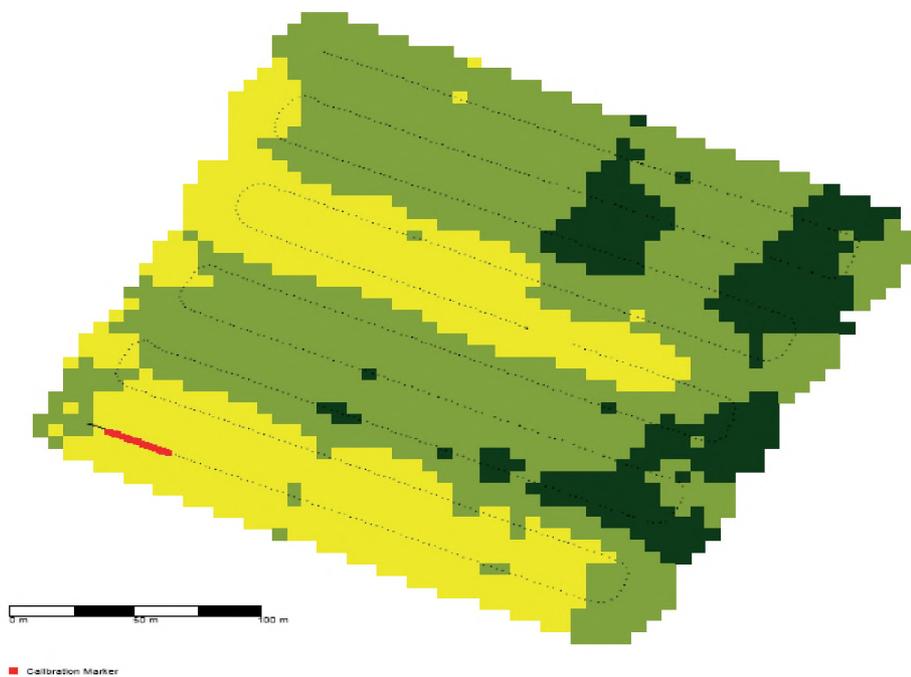


Рис. 4. Карта биомассы горчицы на сидерат перед запашкой в почву в 2009 г.

фора, калия, микроэлементов. По результатам анализов составляется карта плодородия, которая загружается в программу SMS Advanced, формирующую задания для бортового компьютера машины для внесения удобрений. В результате на каждый участок поля будет внесено именно то количество удобрений и микроэлементов, которое необходимо именно этому участку [3, 5, 10].

На примере пространственного распределения фосфора (P_2O_5) в пахотном слое почвы на одном из четырех опытных полей Центра точного земледелия можно сравнить разные способы представления полученных данных отбора проб. Данные по агрохимическим показателям свойств почвы могут быть получены только точечным методом, и на основании этих данных строится картограмма или контурная карта распределения почвенных свойств. В зависимости от способа компьютерной обработки и представления данных, а именно размера сетки, карты будут выглядеть по-разному (рис. 5).

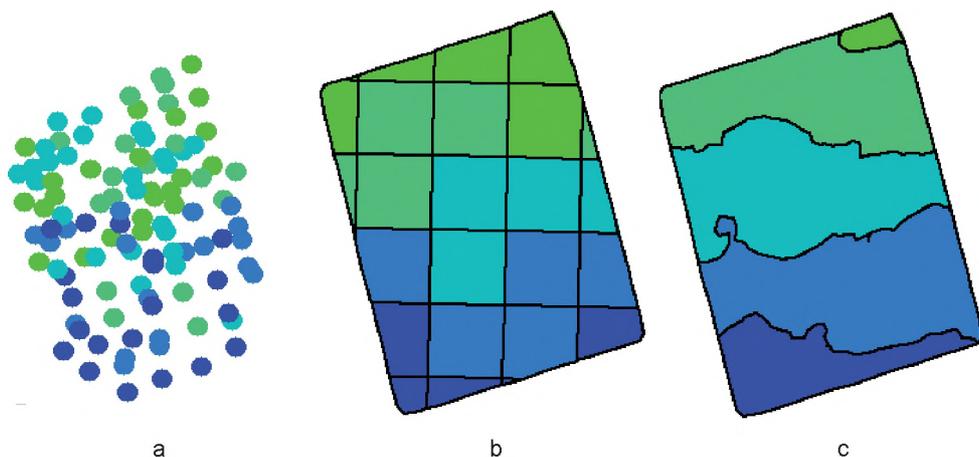


Рис. 5. Различное представление данных о пространственной изменчивости содержания подвижного фосфора в пахотном слое: а — точки (диаметр 10 м); б — сетка 30х30 м; с — контур

В 2009 г. нами был проведен дробный учет урожайности озимой пшеницы и ячменя. Были построены электронные карты урожайности (рис. 6, 7).

Обобщающим показателем результативности технологии и приема агротехники служит урожайность опытных культур. Викоовсяная смесь в 2009 г. высевалась только с использованием оборудования точного земледелия, в частности по автопилоту, в обоих вариантах основной обработки почвы (отвальной и нулевой). При этом наблюдается некоторое преимущество последней, порядка 3,70 т/га, тогда как НСР составила 3,40 т/га. Это связано с наименьшей засоренностью смеси на минимальном фоне (табл. 3).

Урожайность озимой пшеницы при возделывании по традиционной технологии в среднем на 0,07 т/га превосходила таковую при технологии точного земледелия, что не является значимым расхождением.

Среди вариантов обработки почвы в 2009 г. отмечается преимущество нулевой, прежде всего, за счет формирования благоприятного строения пахотного слоя почвы. Продуктивность ячменя складывалась следующим образом: среди обработок почвы наибольшая урожайность была получена по минимальному фону. Так, различия

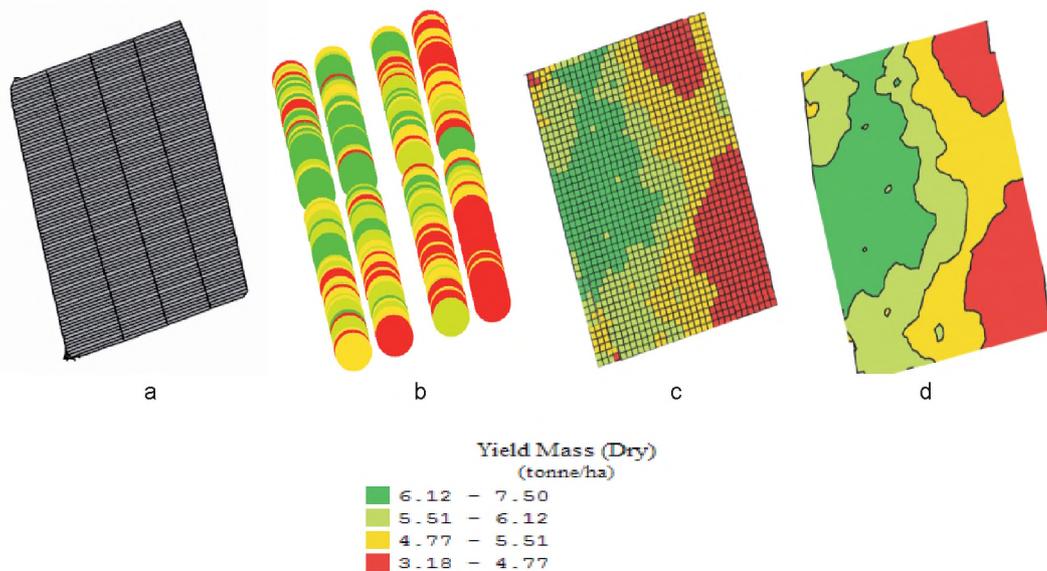


Рис. 6. Различное представление данных об урожайности ячменя в 2009 г.: а — сетка сплошного учета урожайности; б — точки по центру каждой ячейки сетки сплошного учета, размер точки 10 м; с — сетка 3><3 м; д — контур

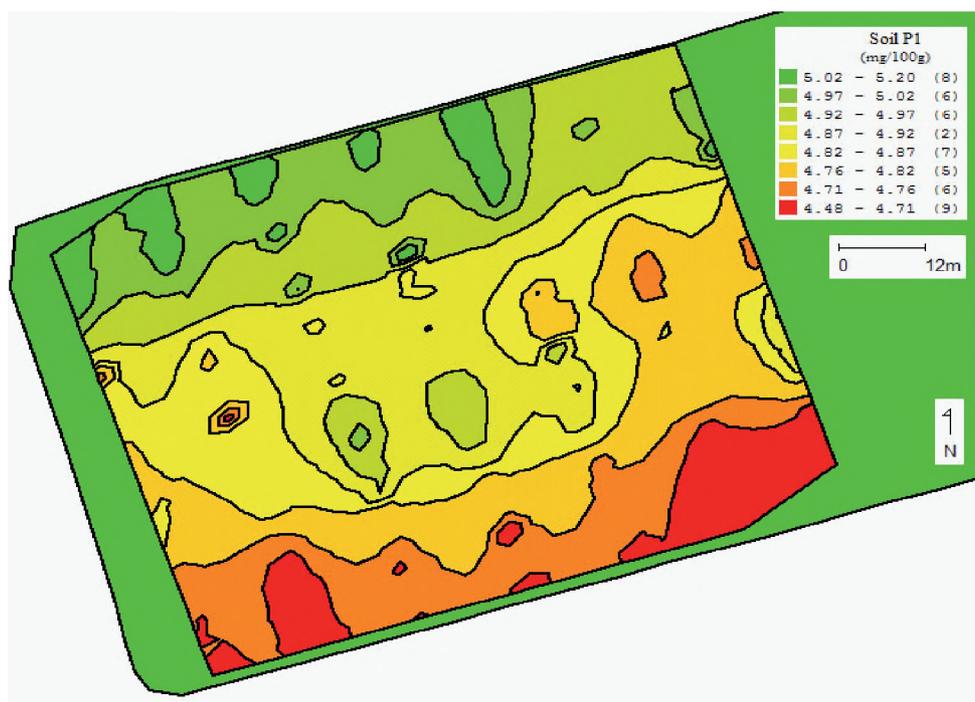


Рис. 7. Урожайность озимой пшеницы в 2009 г.

Урожайность полевых культур опытного севооборота в 2009 г., т/га

Культура	Технология возделывания (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Средняя урожайность, т/га		НСР ₀₅ , т/га	
			А	В	А	В
Вика +овес	Точная	Отвальная	—	21,3	—	3,40
		Нулевая		25,0		
Озимая пшеница	Точная	Отвальная	4,76	4,23	0,14	0,23
		Нулевая		5,29		
	Традиционная	Отвальная	4,83	4,28		
		Нулевая		5,38		
Картофель	Точная	Отвальная	39,50	41,54	3,51	1,74
		Минимальная		37,45		
	Традиционная	Отвальная	37,63	38,93		
		Минимальная		36,33		
Ячмень	Точная	Отвальная	5,49	5,40	0,21	0,26
		Минимальная		5,78		
	Традиционная	Отвальная	5,24	5,09		
		Минимальная		5,39		

в пользу варианта обработки почвы культиватором в сравнении с оборотным плугом составили по традиционной технологии 0,30 т/га, по точной — 0,38 т/га. Превышение урожайности ячменя по точной технологии относительно традиционной составило 0,25 т/га, что является существенным показателем. Различия в урожайности картофеля между способами основной обработки почвы составили в пользу вспашки по традиционной технологии 2,60 т/га, по технологии точного земледелия — 4,09 т/га, что свидетельствует о преимуществе отвальной обработки под картофель. Среди технологий возделывания культуры выделяется точная разница в урожайности между точной и традиционной — 1,87 т/га, однако это говорит о несущественной разнице между двумя вариантами.

В 2010 г. по отдельным вариантам полевого опыта ЦТЗ получены следующие урожайные данные (табл. 4). При определении биологической урожайности викоовсяной смеси на корм учитывалось только влияние обработки почвы, поскольку посев ее проводился только по автопилоту, т.е. в системе точного земледелия. При анализе достаточно большого числа повторений величина урожайности по нулевой обработке составила 19,4 т/га, по вспашке — 20,5 т/га. При величине НСР, равной 1,08 т/га, она представляется существенной. Преимущество одного варианта обработки почвы перед другим по урожайности викоовсяной смеси статистически доказано. Оценка влияния технологии возделывания озимой пшеницы в опыте показала, что по урожайности разница есть. В среднем между обеими технологиями разница в урожайности озимой пшеницы составляла 0,24 т/га в пользу точной, тогда как НСР имела значение 0,19 т/га. Разница между обработками почвы внутри каждой технологии представляется достоверной.

Урожайность полевых культур опытного севооборота в 2010 г., т/га

Культура	Технология возделывания (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Средняя урожайность, т/га		НСР ₀₅ , т/га	
			А	В	А	В
Вика +овес	Точная	Отвальная	20,0	20,5	—	1,08
		Нулевая		19,4		
Озимая пшеница	Точная	Отвальная	4,37	4,63	0,19	0,25
		Нулевая		4,11		
	Традиционная	Отвальная	4,13	4,59		
		Нулевая		3,75		
Картофель	Точная	Отвальная	21,2	21,7	1,02	1,42
		Минимальная		20,7		
	Традиционная	Отвальная	21,7	24,2		
		Минимальная		19,2		
Ячмень	Точная	Отвальная	3,17	3,35	0,08	0,21
		Минимальная		2,99		
	Традиционная	Отвальная	3,27	3,47		
		Минимальная		3,06		

Так, при традиционном возделывании озимой пшеницы урожайность по вспашке превышала таковую нулевого варианта на 0,84 т/га, по точной — на 0,52 т/га. Это существенно выше величины НСР. Следовательно, влияние отдельных приемов основной обработки почвы на урожайность озимой пшеницы статистически доказано.

По урожайности картофеля различия между технологиями возделывания незначительны, разница — 0,5 т/га. Среди обработок почвы урожайность по вспашке достоверно выше, чем на минимальной обработке, только на фоне традиционной технологии — на 5,0 т/га.

Между технологиями возделывания по влиянию на урожайность ячменя разница существенна — 0,10 т/га при НСР, равной 0,08 т/га. По обработке почвы в варианте с традиционной технологией разница составила 0,41 т/га при НСР 0,21 т/га. В варианте точного земледелия достоверная прибавка была по вспашке — 0,36 т/га.

Заключение

1. Трехлетние результаты исследований в полевом опыте ЦТЗ продемонстрировали преимущество отдельных элементов технологии точного земледелия, в частности посева и посадки с.-х. культур, гребнеобразования на картофеле, проведения подкормок озимой пшеницы, определения содержания питательных веществ.

2. Посев (посадка) зерновых, кормовых культур и картофеля по автопилоту обеспечивает более качественное выполнение операции, исключает пересев и огрехи, перерасход семян, позволяет оптимизировать площадь питания растений, сформировать полноценные всходы.

3. Использование оптических датчиков и сенсоров обеспечивает оптимальное проведение дифференцированных подкормок удобрениями.

4. Составление электронных карт урожайности с.-х. культур позволяет сделать вывод о наличии и обеспеченности растений питательными веществами, своевременно устранить дефицит и дифференцированно восполнить содержание элементов питания в почве с учетом пестроты и неоднородности их распределения по площади поля или участка.

Библиографический список

1. *Беленков А.И.* Сравнительная оценка способов основной обработки почвы в полевом опыте ЦТЗ // Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в адаптивном земледелии: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. М.: Изд-во МСХА, 2010. С. 245-252.
2. *Беленков А.И.* Результаты полевого опыта Центра точного земледелия в различных агрометеорологических условиях его проведения // Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям: Сб. докл. Межд. науч.-практ. конф. М.: Изд-во МСХА, 2011. С. 140-147.
3. *Березовский Е.В., Захаренко А.В., Полин В.Д.* Внедрение технологий точного земледелия: опыт Тимирязевской академии // Аграрное обозрение, 2009. № 9-10. С. 12-17.
4. *Березовский Е.В., Железова С.В., Самсонова В.П.* Опыт составления карт для точного земледелия // Аграрное обозрение, 2010. № 2. С. 43-46.
5. Точное сельское хозяйство (precision agriculture) / Под ред. Д. Шпаара, А.В. Захаренко, В.П. Якушева. СПб — Пушкин, 2009. 400 с.
6. *Шпаар Д.* Дифференцированное управление посевами с учетом гетерогенности полей в рамках PRECISION AGRICULTURE // Агротехнологии XXI века. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2007. С. 6-8.
7. *Якушев В.В., Воронаев В.В., Лекомцев П.В.* Технология точного земледелия: опыт внедрения на полях Меньковской опытной станции АФИ РАСХН // Ресурсосберегающее земледелие, 2009. № 2. С. 31-34.
8. *Dammer K.-K., Bottger H., Ehlert D.* Sensor-controlled variable rate real-time application of herbicides and fungicides. In: Stafford J., Werner A. (Eds.) Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture. Academic Publishers, Wageningen, 2003. P. 129-134.
9. *Feiffer A., Jasper J., Leithold P., Feiffer P.* Effects of N-Sensor based variable rate N fertilization on combine harvest. In: Stafford J, V: Precision agriculture '07, Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture Skiathos, Greece 3-6. June 2007, Wageningen Academic Publishers, 2007. P. 673-679.
10. *Gutjahr C., Weis M., Sokefeld M. et al.* Erarbeitung von Entscheidungsalgorithmen für die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung // J. Plant Diseases and Protection. Special Issue XXI, 2008. P. 143-148.

Рецензент — д. б. н. И.И. Васенев

SUMMARY

Traditional and precision agriculture technologies have been compared during field experiment. Problems of soil and crop survey and also mapping are considered in the article by its author.

Key words, precision agriculture, autopilot, sowing distance, N-sensor, soil mapping.

Беленков Алексей Иванович — д. с.-х. н. Тел. (499) 976-08-51.

Эл. почта: mazirov@timacad.ru.

Железова Софья Владиславна — к. б. н. Тел. (499) 976-08-51.

Эл. почта: mazirov@timacad.ru.

Березовский Егор Валерьевич, к. с.-х. н. Тел. (499) 976-11-82.

Эл. почта: pole-st@timacad.ru.

Мазиров Михаил Арнольдович — д. б. н. Тел. (499) 976-08-51.

Эл. почта: mazirov@timacad.ru.