

**Р. А. Афанасьев**, д-р техн. наук, проф., rafail-afanasev@mail.ru,  
ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, г. Москва,  
**И. Л. Ермолов**, д-р техн. наук, проф., ermolov@ipmnet.ru,  
ИПМех им. А. Ю. Ишлинского РАН, МГТУ "СТАНКИН", г. Москва

## О перспективах роботизации точного земледелия\*

*Статья посвящена применению роботов в сельском хозяйстве применительно к технологии точного земледелия. Упор сделан на технологию роботизированного внесения удобрений в соответствии с фактическим уровнем плодородия почвы на различных участках поля. Сформулированы различные компоненты данной технологии. Рассмотрены полученные результаты в отечественном земледелии, обсуждена эффективность данных технологий. Представлена информация по ключевым исследованиям данной тематики в России.*

**Ключевые слова:** роботы, сельскохозяйственное производство, точное земледелие

В сравнительно недавней истории как отечественного, так и мирового земледелия наблюдался переход от конной тяги к тракторной, а теперь уже к более полной механизации и автоматизации производственных процессов. Перспективной тенденцией современного земледелия является переход на технологии возделывания сельскохозяйственных культур с использованием роботизированных сельскохозяйственных машин и комплексов [1–4]. При роботизации сельскохозяйственного производства в наиболее осязаемом, явном проявлении роботизация присуща так называемому точному земледелию (Precision Agriculture), отличительной чертой которого служит проведение технологических операций с учетом внутривидовой неоднородности (вариабельности, пестроты) почвенного покрова, его плодородия. Если в традиционном земледелии все технологические приемы, в том числе внесение удобрений и других агрохимических средств, выполнялись единообразно (как правило, усреднено) для всего поля (обрабатываемого участка), то в точном земледелии упор делается на корректировку различных агроприемов в зависимости от особенностей плодородия отдельных участков поля (агроконтуров). Актуальность данного направления подтверждается словами основоположника отечественной агрохимии академика Д. Н. Прянишникова, сказанными им в середине XX века и имеющими непосредственное отношение к теме настоящей статьи: "Определение содержания в почвах подвижных форм азота, фосфора и калия может быть использовано для дифференцировки доз и соотношений азотистых, фосфорнокислых и калийных удобрений, вносимых под одну и ту же культуру, в одном и том же поле севооборота, но на участках поля, различающихся по почвенным условиям... Отсюда большое значение приобретают разнообразные способы учета этих изменяющихся во вре-

мени и пространстве свойств почвы в целях наиболее эффективного применения удобрений" [5].

По существующим методикам удобрения вносятся соответственно усредненным показателям плодородия почвы на всем поле севооборота. Однако и отечественные, и зарубежные исследования показали, что варьирование агрохимического состава почв внутри одного и того же поля может быть весьма значительным [6]. Отличия показателя плодородия почвы в различных частях поля могут достигать 300 %. На рис. 1 (см. третью сторону обложки) представлен пример карты плодородия почв опытного участка в условиях Подмосковья, на котором содержание гумуса в пахотном слое почвы колеблется в пределах 1,2...2,8 %, т.е. различается на сравнительно небольшой площади (4 га) более чем в 2 раза. При внесении на поле усредненных доз удобрений часть почв недополучит требуемые удобрения, а другая часть будет переудобрена. Опыт показал, что это влияет на колебания урожайности культур до 150 % и снижает экологичность выращиваемых продуктов.

Учесть разнообразие внутривидовых агроконтуров при использовании традиционных методов обследования и картографирования полей, расчете доз удобрений и их внесения, определении норм высева семян, проведении других операций для каждого выделенного агроконтуров на практике почти невозможно. Эффективным решением этой проблемы является роботизация всего комплекса работ от агромониторинга до уборки урожая. Во многих странах, в том числе и в России, в этом направлении с последних десятилетий прошлого столетия по настоящее время ведется активный поиск эффективных научных и технических решений [7]. В настоящее время можно выделить следующие научные и технические задачи, которые необходимо решить для применения роботов в технологии точного земледелия (рис. 2).

Первой задачей является задача определения фактического уровня плодородия. Она заключается в выделении на сельскохозяйственных полях

\* Работа поддержана Программой Президиума РАН № 1.31 "Актуальные проблемы робототехники".

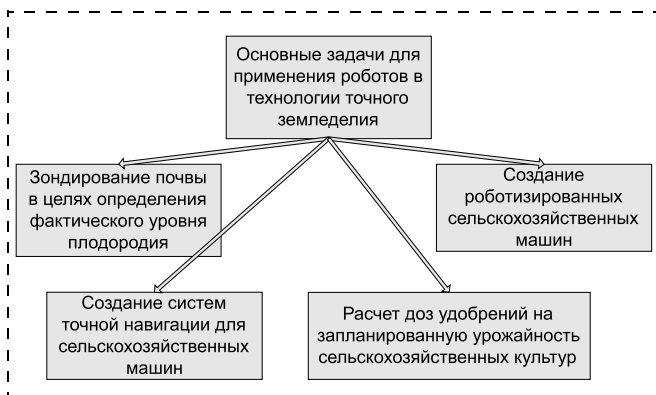


Рис. 2. Перечень основных научно-технических задач роботизации технологий точного земледелия

внутрипольных участков, различающихся по своему плодородию. Способы выявления агроконтуров можно разделить на дистанционные и наземные. Дистанционные способы идентификации пестроты почвенного плодородия и посевов основаны на использовании авиакосмических снимков или снимков, выполненных с беспилотных летательных аппаратов. Исследования показали, что дистанционное зондирование в радио- и фотодиапазонах электромагнитных волн может проводиться и по открытой (вспаханной), и по покрытой растительностью почве. Например, ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова (ВНИИА) использовал радиолокатор, установленный на космическом аппарате НПО Машиностроения "Алмаз-1". Этот датчик позволил выявить на полях ОПХ "Газырское" Краснодарского края внутрипольные участки, на которых при отборе и анализе почвенных проб установлена определенная корреляция между отдельными агрохимическими показателями плодородия почвы и результатами радиолокационного сканирования. Важно отметить, что радиолокация позволяет проводить обследование вегетирующих посевов независимо от погоды и времени суток. Сходные результаты получены при дистанционном зондировании полей ОПХ Смоленского НИИСХ с космического аппарата "Ресурс-01" при использовании на нем фотоаппаратуры МСУ-Э, сканирующей электромагнитное излучение сельскохозяйственных полей в красном и ближнем инфракрасном диапазоне. Однако применение спутниковой аппаратуры является достаточно дорогостоящим и малооперативным. Альтернативное дистанционное обследование посевов озимой пшеницы в ОПХ "Газырское" в обычных (мелкоделяночных) полевых опытах с удобрениями осуществлено с применением вертолета, оснащенного фотометром. Коэффициент корреляции показаний фотометра с уровнем обеспеченности растений азотным питанием составил 0,9, что подтверждает высокую эффективность проведенного диагностического обследования. В связи с этим представляется весьма перспективным использование БПЛА, фиксирующих состояние посевов

с небольшой высоты, которое характеризуется повышенной точностью и оперативностью диагностического обследования, низкой себестоимостью диагностических работ.

К наземным же способам выявления внутрипольных контуров плодородия почв относится автоматическое определение урожайности сельскохозяйственных культур, главным образом зерновых, в процессе их уборки, так как урожайность сельскохозяйственных культур тесно связана с уровнем почвенного плодородия. Специальные датчики, устанавливаемые на комбайнах и регистрирующие поток собираемого зерна, должны быть связаны с системой позиционирования и бортовым компьютером машины. Это позволяет при обработке полученных данных разделять поля на участки по уровню урожайности, используя их для последующего отбора почвенных проб. По результатам их агрохимического анализа можно составлять агрохимические картограммы полей (рис. 3, см. третью сторону обложки и рис. 4, см. четвертую сторону обложки).

Другой весьма перспективной технологией является выделение агропочвенных контуров по результатам топографической съемки рельефа полей. Установлена непосредственная связь мезо- и микро-рельефа полей с плодородием почвы, т.е. с различиями в агрохимических и агрофизических ее свойствах в разных местоположениях на рельефе. Исследования ВНИИА на агрополигоне Центральной опытной станции позволили установить вполне определенную зависимость агрохимических показателей — кислотности почвенной среды, содержания в ней отдельных элементов питания от топографии поля. Так, на повышенных участках агрополигона содержание нитратов в пахотном слое почвы превалировало над аммонием, а в пониженных, наоборот, содержание аммонийного азота было выше по сравнению с нитратным, что обусловлено внутripочвенной миграцией высокоподвижных нитрат-ионов с водными потоками в пониженные участки и восстановлением их до менее подвижного аммония. Разработанный ВНИИА роботизированный способ ускоренной топографической съемки местности с использованием GPS-или ГЛОНАСС-навигаторов позволяет успешно использовать ее в технологиях точного земледелия.

Еще одним способом определения на полях различных уровней плодородия является сканирование электропроводности почвы. Это становится возможным, поскольку при почти диэлектрических, в целом, свойствах пород и минералов, образующих почвенный скелет, электропроводность почвы зависит, главным образом от ионов, являющихся преимущественно элементами питания растений (рис. 5). Кондуктометрическими устройствами электропроводность определяется или непосредственно путем пропускания электрического тока между электродами, присоединенными к погружаемому в почву диск, или по вторичной электро-

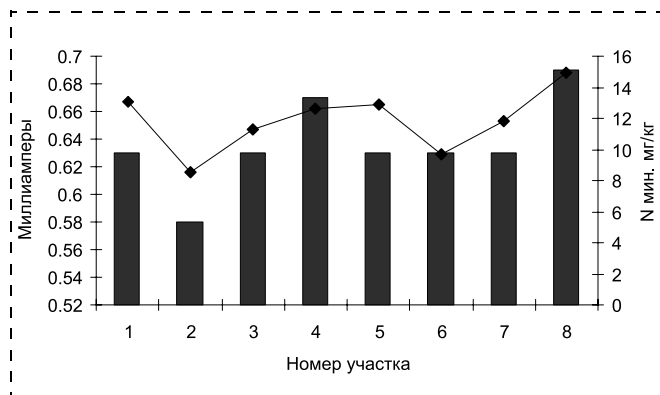


Рис. 5. Зависимость электропроводности почвы (столбцы) от содержания в ней минерального азота (линия)

магнитной индукции, наводимой в почве движущимся над ее поверхностью электрическим модулем прибора и считываемой кондуктометром сканирующего устройства (рис. 6, см. четвертую сторону обложки). Роботизация процесса сканирования электропроводности почвы позволяет на выходе получить картограмму поля с выделенными на ней агроконтурами для отбора для агрохимического анализа почвенных образцов и последующего использования для составления карт-заданий по дифференцированному внесению удобрительных средств (рис. 7, см. четвертую сторону обложки).

Дистанционное зондирование, сканирование урожайности и электросканирование почвы, ускоренное топографирование рельефа полей в сочетании с автоматизированным отбором проб почвы и использованием ГИС-технологий для обработки картографического материала полей позволяют существенно сократить затраты на агрохимическое обследование полей по сравнению с традиционным методом схематического отбора проб по элементарным участкам за счет уменьшения числа отбираемых почвенных проб, так как их отбор проводится не схематически, вслепую, а на агроконтурах, априори различающихся по своему плодородию и заранее выделенных на электронных картах полей. При этом отбор почвенных проб по новым технологическим принципам относится к роботизированным технологиям, поскольку выполняется пробоотборником автоматически с движением по выбранному маршруту и фиксацией мест отбора на дисплее и в памяти бортовой ЭВМ, например как на установке ВНИИА (рис. 8, см. четвертую сторону обложки). В целом разработанные методы агрохимического обследования и картографирования характеризуются высокой степенью автоматизации, т.е. могут считаться роботизированными методами агрохимического мониторинга.

Следующий этап роботизации агрохимического обслуживания состоит в создании автоматизированных интерактивных программ расчета доз удобрений на запланированную урожайность сельскохозяйственных культур. Суть его заключается в

компьютеризации расчетных методов, основанных на результатах полевых опытов Географической сети ВНИИА и агрохимслужбы РФ. По разработанной в ВНИИА автоматизированной программе "Интерагрохим" расчет доз удобрений проводится в соответствии с полученными электронными агрохимическими картограммами плодородия почвы, планируемой урожайностью культуры, с учетом качества предыдущих урожаев, влагообеспеченности, особенностей рельефа полей, агрофизических свойств почвы, ряда других факторов, перечисленных ниже:

- 1) адрес объекта (субъект РФ и т.д.);
- 2) тип (подтип) почвы;
- 3) гранулометрический состав почвы;
- 4) агрохимические свойства почвы;
- 5) экспозиция склона поля (участка);
- 6) степень эродированности почвы;
- 7) доза органических удобрений (примененных или планируемых к применению);
- 8) вид применяемых (планируемых) органических удобрений;
- 9) год внесения органических удобрений (под предшественник или культуру);
- 10) вид и форма доступных для применения минеральных удобрений;
- 11) характер погодных условий (по уровню увлажнения);
- 12) планируемая сельскохозяйственная культура (из перечня районированных в данном регионе);
- 13) планируемая урожайность культуры;
- 14) вынос NPK 1 т урожая с учетом побочной продукции для расчета общей потребности культуры в питательных веществах;
- 15) поправочные коэффициенты к общей потребности с учетом агрохимических свойств почвы и других агроэкологических показателей;
- 16) действующие цены на минеральные удобрения и сельскохозяйственную продукцию.

Разрабатываются способы бесконтактного (дистанционного) обращения пользователей (сельхозпроизводителей, специалистов, руководителей различного иерархического уровня) с сервером ВНИИА, который по запросу в течение нескольких минут должен в автоматическом режиме выдавать клиентам требуемую информацию. В настоящее время запрос на информацию об оптимальных расчетных дозах азотных, фосфорных и калийных удобрений осуществляется через интернет с компьютера заказчика на сервер ВНИИА. Помимо расчета оптимальных доз азотных, фосфорных и калийных удобрений, во ВНИИА разработана интерактивная программа по расчету доз серных удобрений, которые особенно необходимы для масличных и высокобелковых культур. Запрос и результат расчета может передаваться со смартфона на смартфон, что облегчает потребителям практическое использование программы. Институтом ведется также разработка интерактивной программы для автоматизированного расчета оптимальных доз микро-

удобрений под сельскохозяйственные культуры, в частности бора, меди, цинка, молибдена, марганца и кобальта. Важность автоматизации расчетов обусловлена тем, что вручную, даже с использованием современных вычислительных средств, правильный расчет требуемых растениям оптимальных доз удобрений представляет собой трудно разрешимую задачу из-за сложных взаимозависимостей в биосистеме почва—удобрение—растение, тем более, для технологий точного земледелия. Только комплексный подход, реализуемый в роботизированной программе, способен максимально учесть эти взаимосвязи. Кроме того, даже современный уровень кадровой обеспеченности сельхозпроизводства специалистами-агрохимиками также является одной из причин полагаться не только на хозяйственный опыт земледельцев, но и на научно обоснованные методы регулирования минерального питания растений. Освоение программ автоматизированного расчета доз минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры, возделываемые в различных земледельческих регионах страны, послужит важнейшим фактором повышения их эффективности и экологической безопасности.

Завершающим этапом агрохимического обслуживания точного земледелия служит именно дифференцированное внесение удобрений. В настоящее время в соответствии с имеющимися разработками эта функция возлагается на роботизированные агрегаты, состоящие из трактора, навесного или прицепного разбрасывателя удобрений (аппликатора), электронного оборудования, включающего бортовой компьютер, систему спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС, систему автоматического вождения (автопилот), а для дифференцированной подкормки вегетирующих посевов удобрениями — дополнительные сенсоры (рис. 9, см. четвертую сторону обложки). По заложенной в бортовой компьютер карте-заданию, составленной по итогам агромониторинга и расчета оптимальных доз удобрений, роботизированный агрегат вносит их в соответствии с фактической потребностью растений на различных участках поля. В вопросах точной навигации сельскохозяйственных машин хорошие результаты получены в Институте проблем управления РАН [8].

В целом, эффективность технологий роботизированного, прежде всего дифференцированного, применения удобрений в условиях точного земледелия во многом зависит от выраженности внутрипольной пестроты почвенного плодородия. На полях, отличающихся выровненным плодородием, дифференцированное внесение агрохимических средств априори не требуется. По данным полевых опытов, проведенных в нескольких регионах страны, достоверные прибавки урожайности зерновых от территориальной дифференциации доз удобрений получали, как правило, при уровне варибельности агрохимических показателей плодородия выше 20 %. По данным ВНИИА от дифференциации доз органических удобрений прибавка урожайности зерно-

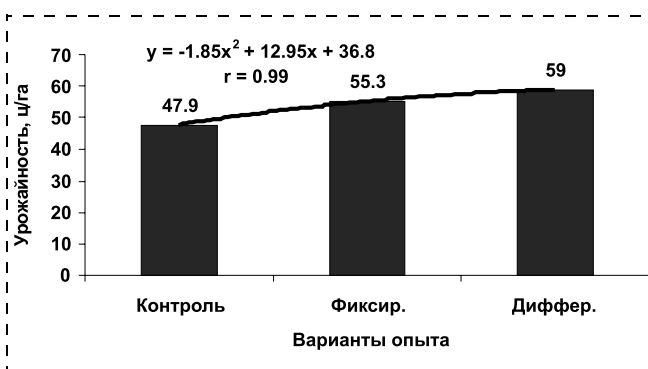


Рис. 10. Эффективность дифференцированного применения азотных удобрений под яровой ячмень на дерново-подзолистой почве (2015 г.)

вых культур в зависимости от содержания гумуса в почве колебалась в пределах 5,4...18 %, а в среднем составила 9,5 %. Дифференцированное внесение минеральных азотных удобрений повышало их окупаемость зерновой продукцией в разных почвенно-климатических условиях от 10 до 30 %. В частности, в условиях Нечерноземной зоны дифференцированное внесение азотных удобрений повышало урожайность зерновых культур на 3,7...4,9 ц/га, или, округленно, на 7...12 % по сравнению с внесением равновеликих, но усредненных по всей удобряемой площади (фиксированных) доз (рис. 10, см. таблицу). При этом в контрольном варианте опыта удобрения не применялись, в варианте усредненной дозы из расчета на 1 га удобряемой площади равномерно вносили аммиачную селитру из расчета 80 кг/га элементарного азота (в аммиачной селитре содержание азота составляет около 34 %), в варианте дифференцированного применения азотных удобрений они распределялись по удобряемой площади неравномерно, с учетом неоднородного содержания азотистых веществ (нитратов) в пахотном слое почвы. Показатель  $НСР_{05}$  — это наименьшая существенная разность при 5 %-ном уровне значимости, или 95 %-ном уровне вероятности (общепринятый метод доказательства фактической достоверности получаемых результатов в сельскохозяйственных опытах, введенный в начале прошлого века Фишером). Этот статистический

#### Влияние дифференцированного внесения азотных удобрений на урожайность озимой пшеницы

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка урожая			
		всего		от дифференциации доз	
		ц/га	%	ц/га	%
Контроль	30,5	—	—	—	—
Усредненная доза (N80)	40,1	9,6	31,5	—	—
Дифференцированные дозы (в среднем N80)	45,0	14,5	47,5	4,9	12,2
$НСР_{05}$		4,8 ц/га			

показатель означает достоверность разницы между данными сравниваемых вариантов, в нашем случае — достоверную прибавку урожая озимой пшеницы как по сравнению с неудобренным контролем (9,6 ц/га), так и от дифференцированного внесения удобрений по сравнению с внесением удобрений средней для всего поля дозой (4,9 ц/га). При  $НСР_{05} = 4,8$  ц/га обе прибавки урожая считаются статистически достоверными. Если бы они были меньше 4,8, их можно было бы считать положительными только на уровне тенденции.

При этом существенно, на 10 % и более, снижалась внутривариационная изменчивость урожайности, что имеет существенное значение для улучшения условий уборки урожая и повышения качества продукции. По результатам дифференцированной подкормки озимой пшеницы, выращенной на обыкновенном черноземе в ООО "Восток-Агро" Воронежской области роботизированным агрегатом, ее урожайность возросла в среднем на 3 ц/га, что окупило затраты на приобретение технических средств для дифференцированного внесения удобрений за один год их эксплуатации.

Ниже представлены техническая характеристика и ориентировочная стоимость разбрасывателя удобрений AMAZONE ZA-M и оборудования для дифференцированного внесения удобрений:

Ширина захвата, м	10...36
Производительность, га/ч	до 30...45
Норма внесения, кг/га	20...1500
Емкость бункера, л	1500
Общая масса (без загрузки), кг	295
Мощность трактора, л.с.	от 80
Стоимость разбрасывателя, тыс. руб.	400
Стоимость N-сенсора и терминалов управления, тыс. руб.	до 1000

Можно рассчитать срок окупаемости затрат на приобретение разбрасывателя удобрений AMAZONE ZA-M и оборудования для дифференцированного внесения азотных удобрений:

Дневная производительность, га	100...200
Обслуживаемая площадь, га	1000
Прибавка урожайности озимой пшеницы, т/га	0,3
Дополнительный сбор зерна, т	300
Стоимость 1 т зерна пшеницы, тыс. руб.	5
Дополнительный доход, млн руб.	1,5
Стоимость AMAZONE ZA-M и оборудования для дифференцированного внесения азотных удобрений, млн руб.	1,4
Срок окупаемости, годы	1

В целом, роботизация как основа точного земледелия может быть эффективной практически повсеместно, поскольку она направлена, прежде всего, на повышение производительности труда. Что же касается дифференцированного применения удобрений, то оно эффективно лишь на полях с выраженной вариативностью почвенного плодородия. Но так как поля России почти повсеместно характеризуются высокой пестротой почвенного плодородия, роботизированные технологии точного земледелия, включая дифференцированное применение удобрений, имеют в нашей стране несомненную перспективу.

Современные исследования роботизации сельского хозяйства ведутся особенно активно в ЕС и Японии. В рамках действующей Рамочной программы "Horizon 2020" приложения в области сельского хозяйства указаны в качестве одних из приоритетных для финансирования в области робототехники [9].

В нашей стране работы в настоящее время по роботизации технологии точного земледелия проводятся во Всероссийском научно-исследовательском институте агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, Всероссийском научно-исследовательском институте механизации сельского хозяйства, Институте почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН, в некоторых других исследовательских центрах. Для координации проводимых исследований формируется специализированная комплексная программа научных исследований ФАНО России.

#### Список литературы

1. Крупеников И. А. История почвоведения. М.: Наука, 1981.
2. Grau J. B., Anton J. M., Packianather M. S., Ermolov I., Afanasiev R., Cisneros J. M., Cortina-Januchs M. G., Jevtic Aleksandar, Andina D. Sustainable Agriculture Using an Intelligent Mechatronic System // Proc. IECON: 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics. 2009. Vol. 1—6.
3. Афанасьев Р. А. Дифференцированное применение удобрений — настоящее и будущее // Плодородие. 2002. № 4 (7).
4. Afanasiev R., Groumpos P., Ermolov I., Iljuchin J., Poduraev J. Minimisation Of Soil Resources Use By Mechanised Differential Soil Fertilisation // Proc. Of Protek-98 International Conference, Moscow, Russia. 1998.
5. Прянишников Д. Н. Избранные сочинения. Т. 1. М.: Колос, 1965. С. 72.
6. Hess J. R., Hoskinson R. L. Methods for Characterization and Analysis of Spatial and Temporal Variability for Researching and Managing Integrated Farming Systems // Precision Agriculture. Proc. 3<sup>rd</sup> Intern. Conference. June 23—26 1996. Minneapolis, Minnesota. P. 641—649.
7. Anderson G. L., Yang C. Multispectral Videography and Geographic Information Systems for Site = Specific Farm Management / Proc. 3<sup>rd</sup> Intern. Conference. Minneapolis, Minnesotapp. June 23—26 1996. P. 681—691.
8. Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D. GPS Satellite Surveying. Wiley & Sons, 2015.
9. URL: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/robotics> (дата обращения: 23.07.2016).

# Prospects for Robots in Precision Agriculture

**R. A. Afanasiev**, rafail-afanasev@mail.ru,  
State Research Institute for Agrochemistry, Moscow, Russian Federation,  
**I. L. Ermolov**, ermolov@ipmnet.ru, Institute for Problems in Mechanics of RAS,  
Moscow, 119526, Russian Federation, MSTU "STANKIN", Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Ermolov Ivan L.*, D. Sc., Senior Researcher, Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119526, Russian Federation, Professor, MSTU "STANKIN", Moscow, Russian Federation, e-mail: ermolov@ipmnet.ru

Received on June 07, 2016

Accepted on June 27, 2016

*In this paper the authors discuss the prospects of robots in agriculture. According to the authors, the most challenging area of agriculture is the use of robots in the technology of Precision Agriculture (or Target Farming). The main idea of this technology is fertilization of the soil in accordance with the actual fecundity level of each specific area of a field (in contrast to the widely accepted field fertilization according to the average fecundity level of the overall field). The advantages of the Precision Agriculture technology are higher productivity level and better ecology of the food produced and of the field used for food production. In such case this technology consists of four main components: 1. Remote sensing of the soil for estimation of its actual fecundity level; 2. Calculation of the amount of the fertilizers needed for each part of the field; 3. Development of new agricultural machinery; 4. Precision navigation systems for the agricultural machinery. The authors believe that most of these components (except component 2) are typical robotics tasks. Within this paper they discuss various approaches to realization of these components, their advantages and drawbacks. The concluding part of the paper presents the preliminary results of application of the Precision Agriculture technology in the Russian Federation. According to the experimental tests performed by the State Research Institute for Agrochemistry, the winter wheat production increased by 3 metric centners per hectare in Voronezh Region. This covered all the costs involved in the Precision Agriculture project within one year. The last paragraph of the paper is devoted to the key players in this area of research in Russia.*

**Keywords:** robots, agricultural production, precision agriculture

**Acknowledgements:** The work was supported by the Program of the Presidium of RAS number I.31 "Topical Problems of Robotics."

For citation:

**Afanasiev R. A., Ermolov I. L.** Prospects for Robots in Precision Agriculture, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 11, pp. 828–833.

DOI: 10.17587/mau.17.828-833

## References

1. **Krupennikov I. A.** *Istorija Pochvovedenija* (History of Pedology), Moscow, Nauka, 1981 (in Russian).
2. **Grau J. B., Anton J. M., Packianather M. S., Ermolov I., Aphanasiev R., Cisneros J. M., Cortina-Januchs M. G., Jevtic Aleksandar, Andina D.** Sustainable Agriculture Using an Intelligent Mechatronic System, *Proc. IECON: 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*, 2009, vol. 1–6.
3. **Afanasiev R. A.** *Differentsirovannoe vnesenie udobrenij — nastoyashee i budushee* (Differential Soil Fertilization — Present and Future), *Plodorodie*, 2002, no. 4 (7) (in Russian).

4. **Afanasiev R., Groumpos P., Ermolov I., Iljuchin J., Poduraev J.** Minimisation of Soil Resources Use by Mechanised Differential Soil Fertilisation, *Proc. of Protek-98 International Conference*, Moscow, Russia, 1998.

5. **Pryanichnikov D. N.** *Izbrannie Sochinenija* (Selected Works), vol. 1, Moscow, Kolos, 1965 (in Russian).

6. **Hess J. R., Hoskinson R. L.** Methods for Characterization and Analysis of Spatial and Temporal Variability for Researching and Managing Integrated Farming Systems, *Precision Agriculture. Proc. 3rd Intern. Conference*, June 23–26 1996, Minneapolis, Minnesota, pp. 641–649.

7. **Anderson G. L., Yang C.** Multispectral Videography and Geographic Information Systems for Site = Specific Farm Management, *Proc. 3rd Intern. Conference*, June 23–26, 1996, Minneapolis, Minnesota, pp. 681–691.

8. **Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D.** GPS Satellite Surveying, Wiley & Sons, 2015.

9. **Available at:** <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/robotics>.