

РОБОТОТЕХНИКА В ТЕХНОЛОГИЯХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В.Г. Сычев, акад. РАН, Р.А. Афанасьев, д.с.-х.н., ВНИИА

Рассматриваются основные аспекты роботизации технологических операций в условиях точного земледелия. К ним относятся вопросы агрохимического мониторинга сельскохозяйственных полей с использованием аэрокосмических и наземных методов, включая применение беспилотных летательных аппаратов (дронов, коптеров и т.п.), автоматизированных пробоотборников; программного обеспечения работ по переводу получаемых данных мониторинга на картографическую основу, а также автоматизированному расчету оптимальных доз удобрений с учетом значимых факторов их эффективности. Обсуждаются также технологии непосредственного внесения минеральных удобрений с учетом внутрипольной перестройки почвенного плодородия с использованием роботизированной техники.

Ключевые слова: роботизация, почва, удобрения, растения, программы, технологии.

В последние годы в научной и производственной литературе все шире применяют термины «роботы» и «робототехника», обозначающие высшую ступень развития автоматизации технических устройств и технологических приемов. При этом имеется в виду использование в таких устройствах и технологиях систем управления технологическими процессами с применением комплекса различных датчиков и компьютерных программ, минимизирующего или вовсе заменяющего вмешательство человека (оператора) и обеспечивающего адекватную реакцию автоматизированных механизмов на меняющиеся в пространстве и времени условия выполняемого задания (работы). В сельском хозяйстве роботизированные технологии применяют в точном (координатном) земледелии, характерной особенностью которого является учет внутрипольной вариабельности (пестроты) почвенного плодородия и состояния посевов, который практически невозможен при ручном управлении производственными процессами дифференцированного использования агрохимических средств. При этом наиболее важное значение имеют технологии дифференцированного применения удобрений и пестицидов, позволяющие вносить агрохимикаты на обрабатываемую площадь в соответствии с уровнем обеспеченности почв и растений минеральным питанием, поражения посевов вредными организмами. Известно, что на многих полях в различных регионах страны уровень вариабельности агрохимических показателей, а соответственно и пестрота урожайности сельскохозяйственных культур, достигает 30–40% и более, что при усредненных по полю дозах удобрений негативно отражается на продукционных процессах из-за недостаточной обеспеченности растений на малоплодородных участках полей и избыточной – на участках с относительно высоким уровнем плодородия. В результате снижаются общий сбор продукции с таких полей, а также качество производимой продукции. В частности, проведение полевых научно-производственных опытов ВНИИА в условиях Воронежской области в 2007–2009 гг. показало, что внутрипольная пестрота содержания минерального азота в пахотном слое черноземов достигает 40% и более. Так, в предзимний период содержание нитратного азота характеризовалось коэффициентом вариабельности 42%, аммонийного 10%, ранней весной вариабельность содержания нитратного азота не изменилась (41%), а аммонийного возросла до 38%. В целом это свидетельствует о резко выраженной неравномерности пространственного распределения минерального азота и целесообразности учитывать данный факт при внесении азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры. При очаговом поражении посевов вредителями и болезнями дифференцированное применение

пестицидов позволяет значительно сократить расход дорогостоящих препаратов, улучшить экологическую обстановку.

О целесообразности дифференцированного применения удобрений известно давно. Еще в 1946 г. основоположник отечественной агрохимии Д.Н. Прянишников писал: «Определение содержания в почвах подвижных форм азота, фосфора и калия может быть использовано для дифференцировки доз и соотношений азотистых, фосфорно-кислых 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 времени и пространстве свойств почвы в целях наиболее эффективного применения удобрений» [1]. В этом кратком тезисе ученого обозначены два направления реализации идеи точного земледелия, имеющие принципиальное значение для роботизированных технологий: 1) разработка методов выявления вариабельности плодородия почв и состояния посевов, 2) создание туковсевающих механизмов, позволяющих дифференцированное внесение агрохимических средств.

Остановимся сначала на способах выявления пестроты почвенного плодородия и посевов как квалификационной (оценочной) основы для дифференцированного внесения удобрений. Эти способы можно разделить на дистанционные и наземные. Дистанционные методы идентификации пестроты почвенного плодородия и посевов могут выполняться с использованием авиакосмических снимков, в том числе с беспилотных летательных аппаратов (дронов, коптеров). Многочисленными исследованиями установлено, что в различных диапазонах электромагнитного излучения, исходящего от почвы или растений, естественного или искусственно наведенного, отражаются территориальные различия в состоянии исследуемой наземной среды. Оригинальные исследования ВНИИА показали, что дистанционное зондирование может проводиться как по открытой (вспаханной), так и покрытой растительностью почве в радио- и фотодиапазонах электромагнитных волн [2, 3, 8]. Например, радиолокатор с синтезированной апертурой (РЛ БО) и околоразмерной волной излучения (9,6 см), установленный на космическом аппарате «Алмаз-1», позволил выявить на полях ОПХ «Газырьское» Краснодарского края элементарные участки, на которых при отборе и анализе почвенных проб установлена определенная корреляционная связь отдельных агрохимических показателей с интенсивностью обратного электромагнитного излучения, фиксируемого бортовым радаром (РЛ БО) этого космического аппарата (рис. 1). Коэффициенты криволинейной корреляции величины отраженного радиосигнала составили: для содержания гумуса в пахотном слое 0,4, минерального азота 0,7, подвижного фосфора 0,6, обменного калия 0,3, кальция 0,3, магния 0,3 без достоверной связи с $pH_{водн.}$ из-за низкой вариабельности данного показателя в изучаемой выборке.

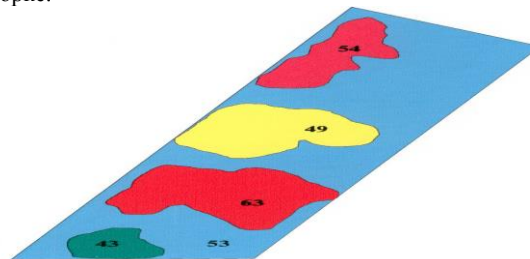


Рис. 1. Результат тематической обработки космического снимка поля в ОПХ «Газырьское» Краснодарского края с выделением однородных участков

При радиолокации космическим аппаратом «Алмаз-1» посева озимой пшеницы на специально заложенном в 7-кратной повторности вариантов подспутниковом опыте в ОПХ «Газырское» с размером делянок 32 x 32 м, на которые были внесены азотные удобрения в дозах N_0 , N_{30} , N_{60} и N_{90} , отмечена (съемка 25 мая 1991 г.) возможность дистанционного определения нуждаемости растений в азоте с относительной ошибкой 4-9% по сравнению с определением элемента химическим методом. Очень важно, что дистанционная радиолокация позволяет проводить обследование посевов независимо от погоды и времени суток. Успешной была также ИК-спектметрия посевов озимой пшеницы в обычных (мелкоделяночных) полевых опытах с удобрениями в ОПХ «Газырское» с применением вертолета, где коэффициенты линейной корреляции между величиной сигналов и содержанием общего и нитратного азота в растениях составляли 0,8-0,9. Аналогичные результаты получены при дистанционном зондировании полей ОПХ Смоленского НИИСХ с космического аппарата «Ресурс-01» с использованием сканирующей фотоаппаратуры (МСУ-Э), фиксирующей в красном и ближнем инфракрасном диапазонах электромагнитное излучение (0,6-0,7 и 0,8-0,9 мкм). Величина отраженных сигналов по отдельным участкам полей ОПХ и агрохимических показателей пахотного слоя почвы этих участков характеризовалась следующими статистически достоверными коэффициентами парной линейной корреляции: по кислотности ($pH_{\text{сол.}}$) 0,6, содержанию гумуса 0,7, подвижного фосфора 0,5, калия 0,8, аммонийного азота 0,7. Эти данные свидетельствуют о наличии причинно-следственной зависимости красного и инфракрасного излучений от агрохимических свойств поверхностного слоя почвы и возможности идентификации контуров почвенного плодородия на аэрокосмических снимках. В полевом подспутниковом опыте с возрастающими дозами азотных удобрений под озимую пшеницу, также заложенном в ОПХ Смоленского НИИСХ, с делянками размером 64 x 64 м съемка показала, что коэффициенты корреляции величин, фиксируемых бортовым прибором отраженного от посева естественного излучения, с содержанием в растениях общего и нитратного азота, с нитратным индексом (баллами стеблевой диагностики) были не ниже 0,9 [4, 5].

В последние годы активно развивается дистанционное зондирование почв и посевов с помощью беспилотников – квадрокоптеров и других низколетящих аппаратов с фиксацией состояния обследуемых объектов на прикрепленные фотокамеры, так как это повышает точность и оперативность их диагностического обследования, снижает себестоимость диагностических работ. Таким образом, радиолокационное и фотометрическое дистанционное зондирование почв и посевов сельскохозяйственных культур позволяет в реальном режиме времени выделять на полях области с различными агрохимическими свойствами для отбора и агрохимического анализа почвенных и/или растительных проб, составлять электронные агрохимические картограммы обеспеченности почв и растений элементами минерального питания. Другими словами, методы дистанционного зондирования с применением современных технических средств и компьютерных программ позволяют в оцифрованном виде или визуальное выделять на площади полей в определенном масштабе и уровне генерализации элементарные участки как для отбора и агрохимического анализа почвенных образцов, так и для дифференцированного внесения удобрений.

Из наземных способов агрохимического обследования почв и посевов следует выделить применение сеточного метода отбора почвенных проб с использованием автоматизированных пробоотборников, оборудованных навигационными приборами. Данный способ отбора заключается в том, что вначале определяются и отображаются на дисплее бортового компьютера границы поля, затем поле виртуально разделяется на элементарные участки (сетку), по которым и проводится отбор почвенных проб с каждого элементарного участка с фиксацией мест отбора на электронной карте поля. Недостаток данного метода в том, что схематическое разделение по-

лей на элементарные участки сопряжено с необходимостью отбора и агрохимического анализа большого количества проб, особенно в условиях точного земледелия, когда площадь отдельной парцеллы не должна превышать 0,5–1,0 га в целях более точной оценки внутрипольной пестроты почвенного плодородия. Выявление внутрипольных контуров плодородия возможно также при автоматическом определении урожайности сельскохозяйственных культур, главным образом зерновых, в процессе их уборки. Специальные датчики, установленные на комбайнах и регистрирующие поток зерна, могут быть связаны с системой позиционирования и бортовым компьютером машины, что позволяет при дальнейшей обработке данных стратифицировать участки (контур) поля по уровню урожайности. Используя эти контуры в качестве элементарных ареалов, можно провести по ним отбор почвенных проб и установить уровень обеспеченности почв теми или иными элементами, т.е. составить агрохимическую картограмму поля. Данный метод значительно экономичнее предыдущего, так как исключает «слепой» отбор почвенных проб по частой сетке. Недостатком этого метода служит его ориентация на отзывчивость определенной культуры на факторы плодородия. Вместе с тем известно, что разные культуры неодинаково реагируют на почвенные условия, и контуры плодородия, определенные по урожайности этих культур, также будут различаться. Тем не менее, данный способ выявления контуров почвенного плодородия вполне допустим в практике точного земледелия. Применение датчиков, регистрирующих урожайность в процессе уборки сельскохозяйственных культур, позволяет не только составить картограммы урожайности, но и решать ряд других хозяйственных задач.

Более перспективно выделение элементарных участков (агроконтуров) по результатам вертикальной съемки рельефа полей, так как имеется непосредственная связь плодородия почвы с их топографией, т.е. различиями в агрохимических и агрофизических свойствах почвы между разными местоположениями ее формирования на рельефе. Например, на Центральной опытной станции ВНИИА при анализе почвы агрополигона установлена вполне определенная зависимость содержания в почве кислотности и отдельных элементов питания от особенностей микрорельефа. На повышенных участках из форм минерального азота нитраты превалировали над аммонием, в пониженных, наоборот, аммоний над нитратами. Это объясняется миграцией высокоподвижных нитрат-ионов с водными потоками в пониженные участки и восстановлением их до аммония, фиксируемого почвой. Достоинством топологического способа оконтуривания внутрипольной неоднородности почвенного покрова является постоянство выделенных агроконтуров, так как в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия топография полей не должна существенно менять свой характер. В настоящее время во ВНИИА разработан способ ускоренной топографической съемки местности с использованием GPS- или ГЛОНАСС-навигаторов, позволяющий применять ее в точном земледелии [5].

Посредством сканирования электропроводности почвы также возможно выделение внутрипольных контуров плодородия, поскольку при почти диэлектрических свойствах пород и минералов, образующих почвенный скелет, ее электропроводность зависит, главным образом, от ионов, являющихся преимущественно элементами питания растений. Кондуктометрическими устройствами электропроводность определяется пропусканием электрического тока между электродами, присоединенными к погружаемым в почву дискам или по вторичной электромагнитной индукции, наводимой в почве движущимся над ее поверхностью электрическим модулем прибора и считываемой кондуктометром сканирующего устройства. По данным исследований [6], коэффициент корреляции между содержанием в почве минерального азота и прямой электропроводностью почвенных образцов, отобранных на элементарных участках дерново-подзолистей почвы и

приведенных к равновесной влажности, составил 0,85 и был достоверен при уровне вероятности 95% (рис. 2).

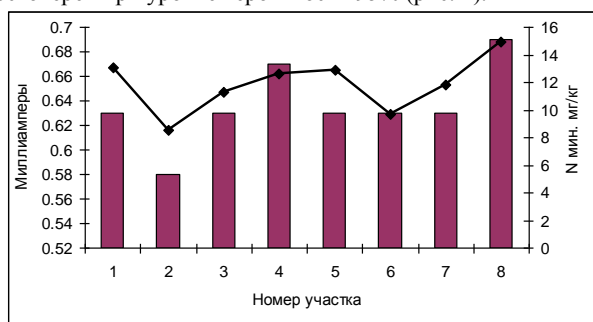


Рис. 2. Зависимость электропроводности почвы (столбцы) от содержания в ней минерального азота (линия)

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, по сравнению с сеточным методом, существенно сократить затраты на агрохимическое обследование полей за счет уменьшения количества отбираемых почвенных проб, так как их отбор проводится не схематически, вслепую, а на элементарных участках, различающихся по своему плодородию и заранее выделенных на электронных картах полей. В целом разработанные методы агрохимического обследования и картографирования характеризуются высокой степенью автоматизации, т.е. могут считаться роботизированными методами агрохимического мониторинга.

В соответствии с полученными электронными агрохимическими картограммами плодородия почвы и планируемой урожайностью культуры проводят автоматизированный расчет доз минеральных удобрений с учетом качества предшественника и ряда других факторов формирования продуктивности посевов. Разработка интерактивных роботизированных программ автоматического расчета доз удобрений для дифференцированного их внесения с учетом внутрипольной неоднородности плодородия почв заслуживает особого внимания. Проблема применения агрохимических средств для оптимизации минерального питания растений существует с античных времен и ввиду ее сложности актуальна до настоящего времени [7, 8]. Ее решали различными способами и с разным успехом [9, 10]. В основном это были расчетные методы оптимальных доз удобрений с использованием, в лучшем случае, настольных калькуляторов, т.е. по существу вручную. С внедрением персональных компьютеров появилась возможность в определенной степени автоматизировать методы расчета, но, как показала практика, созданные ранее программы базировались на прежних методологических подходах, в частности на методе элементарного баланса, в большинстве случаев учитывающих коэффициенты использования питательных веществ растениями из почвы и применяемых удобрений, что оказалось неприемлемым с практической точки зрения. Видные специалисты-агрохимики Н.А.Сапожников и М.Ф. Корнилов [11] указывают, что за рубежом не используют метод элементарного баланса с применением стандартных коэффициентов для питательных веществ почвы и удобрения. Отдельные высказывания в защиту метода «не нашли должного подтверждения в практике агрохимической службы зарубежных стран». Данный подход не имел широкого применения и в нашей стране. Для решения этой сложной проблемы сотрудниками ВНИИА и Московского энергетического института (МЭИ) разрабатываются роботизированные программы расчета доз минеральных удобрений, включая серные, а также микроудобрения, основанные на результатах полевых опытов Географической сети, обобщенных ведущими учеными ВНИИА и РГАУ-МСХА. Программами и базами данных предусмотрен учет многочисленных факторов, влияющих на использование растениями элементов питания, вносимых с удобрениями, в том числе обеспеченность питательными ве-

ществами почв, содержание гумуса, реакцию почвенной среды, гранулометрический состав почв, особенности рельефа полей и внутрипольных участков, условия увлажнения, предыдущую удобренность полей, характер предшественников, применение органических удобрений. Разрабатываются способы бесконтактного обращения пользователей (сельхозтоваропроизводителей, специалистов, руководителей различного уровня) с сервером ВНИИА, который в автоматическом режиме должен выдавать клиентам требуемую информацию. Оригинальность разработок подтверждена государственными удостоверениями – патентами и свидетельствами регистрации [12-14]. Использование программ роботизированного расчета доз минеральных удобрений практически под все основные сельскохозяйственные культуры, возделываемые в разных земледельческих регионах страны, позволит существенно повысить экономическую эффективность агрохимического обслуживания земледелия, создаст условия для более активного внедрения дифференцированного применения удобрений. На основе выданных рекомендаций можно создавать карты-задания для борт-компьютеров (AMATRON+ и др.) машин-удобрителей, способных в автоматическом режиме считывать информацию с таких карт по мере движения агрегата по полю, ориентируясь в пространстве по сигналам систем глобального позиционирования (GPS/ГЛОНАСС) [15, 16].

Указанные программы рассчитаны преимущественно для основного внесения на поля минеральных удобрений, т.е. в режиме off-line. Для подкормки вегетирующих посевов в режиме on-line другими системами удобрения предусматривается применение машин, оснащенных фотометрическими сенсорами и GPS-терминалами, с функцией дифференцированного распределения азотных удобрений в соответствии с показаниями фотометрических приборов. За рубежом для дифференцированного внесения азотных удобрений также используют сканирующее оборудование с датчиком упругости стеблестоя зерновых культур (система «CROP-Meter»), измеряемой по отклонению от вертикального положения горизонтальной штанги, движимой по стеблестоя и синхронизированной, посредством борт-компьютера, с высевающим аппаратом машины-удобрителя. Тем не менее, приоритет в диагностике азотного питания растений остается за фотометрическими методами при сканировании вегетирующих посевов ввиду их универсальности и достаточно высокой чувствительности. При определении средней дозы азота для дифференцирования по результатам сканирования машинами-удобрителями предварительно используют портативные фотометры типа «Яра» (рис. 3), ССМ-200, «Crop Circle», отечественный «ВНИИА-Спектролюкс», заранее откалиброванные на базе полевых опытов. Затем средняя доза вводится в борт-компьютер удобрителя и распределяется при движении агрегата по полю в соответствии с показателями фотосенсора.



Рис. 3. Использование N-тестера «Яра» на поле озимой пшеницы

Полностью роботизированный комплекс способен работать по внесению удобрений в обоих режимах, если он оснащен фотосенсором, борт-компьютером, системами автоматического (параллельного) вождения по показаниям навигационного оборудования и дифференцированного внесения агрохимических средств (рис. 4). Это позволяет трактористу (опе-

ратору), находящемуся в кабине, только наблюдать за рабочими процессами, не принимая активного участия в управлении агрегатом.



Рис. 4. Роботизированный агрегат для дифференцированного внесения удобрений

При изучении эффективности дифференцированного внесения удобрений под зерновые культуры с учетом агрохимических показателей почвы показано, что от дифференциации доз органических удобрений в зависимости от содержания гумуса прибавка урожайности колебалась от 5,4 до 18% (в среднем 9,5%), окупаемость азотных удобрений прибавкой зерновой продукции при дифференцированном их внесении составляла, по данным ВНИИА, в разные годы и в разных почвенно-климатических условиях от 10 до 30% (рис. 5). Существенно (на 10%) снижалась внутрипольная вариabельность урожайности, что также имеет важное значение для улучшения условий уборки урожая, повышения качества продукции. По опыту ООО «Восток-Агро» Воронежской области, дифференцированное внесение азотных удобрений в качестве подкормки озимой пшеницы повысило ее урожайность на 3 ц/га, что по расчетам окупает затраты на приобретение технических средств для дифференцированного внесения удобрений за 1 год их эксплуатации (табл. 1, 2).

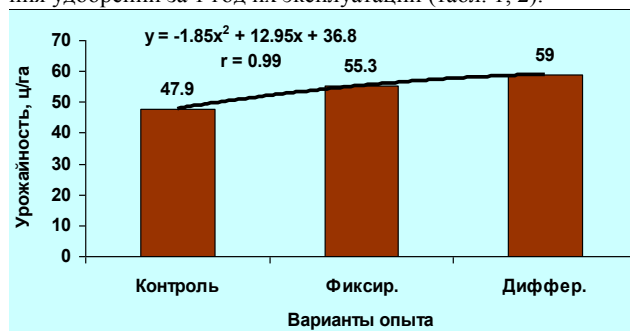


Рис. 5. Урожайность ярового ячменя на дерново-подзолистой почве при дифференцированном применении азотных удобрений (2015 г.)

1. 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

Роботизация применения удобрений эффективна практически повсеместно, поскольку направлена, прежде всего, на повышение производительности труда. Вместе с тем, следует отметить, что дифференцированное применение удобрений эффективно лишь на полях, на которых внутрипольная вари-

бельность плодородия почвы выражена в значительной степени, так как на достаточно выровненных массивах дифференциация доз удобрений не требуется. По ряду исследований, существенные прибавки урожайности от дифференцированного применения минеральных удобрений по сравнению с внесением усредненной дозы отмечались в полевых опытах, когда вариabельность агрохимических показателей превышала 20–30%. Незначительная пестрота почвенного плодородия нивелируется растениями за счет их экологической пластичности, т.е. способности усиливать потребление питательных веществ на участках, менее обеспеченных элементами питания по сравнению с более обеспеченными. Только при большой разнице в плодородии внутрипольных участков возникает необходимость в дифференциации доз вносимых удобрений. Поскольку наши поля, как правило, характеризуются высокой пестротой почвенного плодородия, роботизированные приемы точного земледелия, прежде всего дифференцированное применение агрохимических средств, имеют большое будущее.

2. 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

Литература

1. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. Т. 1. - М.: Колос, 1965. - С. 721.
2. Афанасьев Р.А., Благоев А.В., Мейер О.Н. Усовершенствованный способ агрохимического обследования почв // Патент России № 2102748, 1998.
3. Афанасьев Р.А., Ширинян М.Х., Благоев А.В., Мейер О.Н. Способ дистанционной диагностики озимой пшеницы вне зависимости от погодных условий и времени суток // Патент № 2075076, 1997.
4. Афанасьев Р.А. Дифференцированное применение удобрений – настоящее и будущее // Плодородие, - № 4 (7), -2002. - С. 9-11.
5. Афанасьев Р.А., Байбеков Р.Ф., Беличенко М.А., Березовский Е.В. и др. Способ ускоренного выделения устойчивых внутрипольных контуров почвенного плодородия на сельскохозяйственных полях // Патент № 2455660, 2012.
6. Афанасьев Р.А., Аканов Э.Н., Сычев В.Г., Мерзляя Г.Е., Смирнов М.О. Способ определения удельной электропроводности почвы // Патент России № 2331070, 2008.
7. Крупеников И.А. История почвоведения. - М.: Наука, 1981. - С.35.
8. Сычев В.Г., Байбеков Р.Ф., Измайлов А.Ю., Афанасьев Р.А. и др. Информационно-технологическое обеспечение точного земледелия // Плодородие, - 2011. - № 3. - С. 44-47.
9. Михайлов Н.Н., Книпер В.П. Определение потребности растений в удобрениях. М.: Колос, 1971. - 256 с.
10. Афанасьев Р.А., Лантухова А.И. Удобрения под планируемый урожай. - М.: Колос, 1973. - 240 с.
11. Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф. Научные основы системы удобрения в Нечерноземной полосе. - Л.: Колос, 1977. - С. 187.
12. Сычев В.Г., Байбеков Р.Ф., Афанасьев Р.А., Державин Л.М. и др. Программа для ЭВМ автоматизированного расчета годовых доз минеральных удобрений на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур «Интер-агрохим. Свидетельство о регистрации, № 2013616600, 2013».
13. Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Державин Л.М., Поляков А.К. и др. База данных основных показателей сельскохозяйственных культур и расчетных коэффициентов в условиях Нечерноземья, адаптированная для использования при автоматизированном расчете оптимальных доз минеральных удобрений под планируемый урожай, № 2015620917, 2015.
14. Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Поляков А.К., Казов Р.П. и др. База данных для автоматизированного расчета оптимальных доз минеральных удобрений под планируемый урожай основных сельскохозяйственных культур в условиях Центрального Черноземья, № 2015621794, 2015.
15. Нойнабер М. Уход за посевами по системе // Современная сельскохозяйственная техника и оборудование. - 2007. - № 1. - С. 30-33.
16. Личман Г.И., Марченко Н.М., Марченко А.Н. Система точного земледелия в современных агротехнологиях: сборник докладов X международной научно-практической конференции «Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве». Ч.2. - М.: Изд-во ВИМ, 2008. - С. 557-566.

ROBOTICS IN PRECISE FARMING TECHNOLOGIES

V.G. Sychev, R.A. Afanas'ev

*Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Sciences,
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia, e-mail: info@vniia-pr.ru*

The main aspects of the robotization of technological operations under precise farming conditions are considered. These are problems in the agrochemical monitoring of agricultural fields with the use of remote sensing and land-based methods, including unmanned aircrafts (drones, copters, etc.), automated samplers, software for mapping the monitoring data, and automated calculation of optimal fertilizer rates with consideration for significant factors of their efficiency. Technologies for the direct application of mineral fertilizers with account for the intrafield heterogeneity of soil fertility using robotized techniques are also discussed.

Keywords: robotization, soil, fertilizers, plants, software, technologies.