

Рассматриваются основные аспекты информационно-технологического обеспечения точного земледелия. Особое внимание уделено анализу методов выделения внутрипольных агроконтуров, используемых в качестве элементарных участков оценки плодородия почв при отборе почвенных проб. Описаны способы автоматизированного расчета дифференцированных доз удобрений, в том числе по программе, разработанной в ВНИИ агрохимии. Показаны возможности технической обеспечения точного земледелия России.

Ключевые слова: точное земледелие, почва, проба, удобрение, технологии, программы.

Точное, или координатное, земледелие по всем основным признакам является последовательным этапом развития адаптивно-ландшафтного земледелия. Если адаптивно-ландшафтное земледелие в территориально-структурном отношении базируется на системе севооборотов различной специализации, приуроченных к определенным категориям агроландшафтов [1], то координатное земледелие – более интенсивная и адаптивная форма ведения хозяйства – по нисходящей иерархии доходит до отдельного поля, рассматривая его как систему, имеющую свою собственную структуру. Эта структура обуславливается внутрипольной неоднородностью почвенного покрова, вариабельностью его плодородия. Еще в XIX в. известный русский ученый П.А. Костычев [9] указывал, что на участках опытного поля, находящихся один от другого на расстоянии нескольких сажен, одинаково обработанных, без удобрения или при одном и том же удобрении, урожаи иногда различаются вдвое. И это, не надо забывать, отмечает автор, в таких случаях, когда старались для опытов выбрать поле с возможно однообразной по свойствам почвой. Призыв учитывать внутрипольную пестроту плодородия почвы при внесении удобрений под сельскохозяйственные культуры впервые в нашей стране исходил от основоположника отечественной агрохимии Д.Н. Прянишникова, который 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» [13]. Именно технологический учет внутрипольной вариабельности плодородия почв служит важнейшим признаком координатного земледелия, включая дифференцированное применение удобрений и других агрохимических средств. Развитие аграрной науки, сельскохозяйственной техники и информационных технологий двойного назначения, начиная с последней четверти XX в., послужило основой формирования но-

вого направления в мировом земледелии, получившего название «Precision agriculture», что в переводе на русский язык – точное земледелие.

И как справедливо указывал Д.Н. Прянишников, учет пространственной и временной изменчивости почвенного плодородия относится к наиболее проблемным вопросам точного земледелия. В настоящее время разработаны различные способы выявления на полях внутрипольных контуров плодородия (агроконтуров) почвы, сравнительно однородных по плодородию в собственных границах и различающихся по этому признаку между собой. К таким способам относится агрохимический, когда поле предварительно условно разбивают на ячейки (элементарные участки) определенной, как правило квадратной, конфигурации, которые служат для отбора и агрохимического анализа почвенных проб с последующим выделением на агрохимических картограммах внутрипольных контуров для дифференцированного внесения удобрений и мелиорантов. Недостаток такого подхода – высокая трудоемкость и стоимость выполнения работ, поскольку для репрезентативной оценки пространственной вариабельности агрохимических показателей требуются разбивка поля на элементарные участки площадью от 0,5 ... до 1,5 га, отбор и химический анализ соответствующего количества средних проб почвы.

Одним из способов априорного, предварительного выделения внутрипольных контуров служит дистанционное (авиакосмическое) зондирование полей в различных спектрах волнового излучения, исходящего от приповерхностных слоев почвенного профиля и воспринимаемого спектрофотометрической бортовой аппаратурой авиации или космических спутников, главным образом в красном и инфракрасном диапазоне электромагнитных волн. Применяется также радиолокация полей с космических спутников с учетом того, что проникающие в почву радиоволны могут нести обратную информацию о свойствах почвенной толщи, равной примерно от 1/3 до 1/2 длины волны излучения радиолокатора. В этом случае при длине волны 3-4 см радиолокаторами бокового обзора с синтезированной апертурой сканируется в основном поверхность, т.е. рельеф местности; при дециметровом диапазоне захватывается верхняя часть пахотного слоя; при метровом – почвенный профиль, включая обнаружение таких внутрипочвенных объектов, как дренажные или оросительные сети.

По нашим исследованиям [2, 4, 6], и фотометрические, и радиолокационные снимки высокого разрешения вспаханных опытных полей с дерново-подзолистыми и черноземными почвами, а также размещенных на них посевов озимой пшеницы позволили на электронных картах выделять внутрипольные контуры, различающиеся по своему плодородию или состоянию посева. При этом установлено, что радиосигналы, исходящие от почвы, хорошо коррелируют с

ее электропроводностью, обусловленной наличием в диэлектрической массе почвенных минералов и органических веществ ионов, являющихся в большинстве элементами питания растений [3].

На электропроводности почвы основан также метод выделения внутрипольных контуров при его сканировании специальными кондуктометрами, которые при их перемещении по полю выделяют участки, различающиеся по плодородию. Применяют два вида кондуктометров: определяющие непосредственно электропроводность почвы между электродами устройства; основанные на фиксации наведенной индукции, т.е. действующие по типу миносчетателей [10]. Широко рекомендуемым способом предварительного выделения внутрипольных контуров является также сканирование урожайности, преимущественно зерноуборочными комбайнами. Комбайны, оснащенные устройствами для определения массы поступающего в бункер зерна и навигационными приборами, при движении по полю постоянно фиксируют количество поступающей в бункер продукции, что при обработке данных позволяет с достаточной точностью определить границы контуров с разным уровнем плодородия. По предварительно выделенным различными способами участкам проводят отбор усредненных почвенных проб, агрохимический анализ которых служит для расчета дифференцированных по полю доз удобрений и мелиорантов с непосредственной привязкой к выделенным агроконтурам [15]. Перспективен топографический способ выделения контуров почвенного плодородия. Главными достоинствами его служат функциональная зависимость плодородия почвы от мезо- и микрорельефа полей, сформированная в процессе современного почвогенеза, и относительное постоянство выделенных агроконтуров, объясняемое соответствующей устойчивостью рельефа в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия [17].

Расчет доз удобрений и мелиорантов для дифференцированного внесения базируется на принятой в агрохимии методологии, применяемой обычно в традиционных технологиях удобрения сельскохозяйственных культур. Для технологий координатного земледелия метод расчета может осуществляться двумя основными способами: автоматизированно по компьютерным программам, учитывающим максимум почвенных факторов питания растений, и по упрощенной методике, учитывающей характеристику плодородия почвы только по соответствующим агрохимическим показателям – кислотности (для дифференцированного известкования), содержанию гумуса (для внесения органических удобрений), содержанию подвижных форм питательных веществ (для внесения минеральных удобрений). Во ВНИИА разработана программа автоматизированного расчета доз удобрений, пригодная как для традиционного, так и координатного земледелия [5]. Она предусматривает экспресс-расчет доз азотных, фосфорных и калийных удобрений (в действующем веществе и физической массе удобрения) на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от наиболее значимых агроэкологических факторов, вводимых пользователем в базу данных по пронумерованным агроконтурам. Планируемая урожайность культуры задается в среднем по полю в значениях, ограниченных программой. Дозы минеральных удобрений рассчитывают на основе выноса питательных веществ планируемым урожаем с учетом коэффициентов его возмещения в зависимости от показателей почвенного плодородия на данном агроконтуре. Все расчеты по дозам ведут с учетом почвенно-климатической зоны, типа и подтипа почвы, ее

гранулометрического состава, кислотности, предшественника, применения под культуру или предшественник органических удобрений (дозы и вида органических удобрений), ряда других параметров.

Упрощенный расчет дифференцированных доз удобрений или мелиорантов можно осуществлять с помощью обычной компьютерной программы Microsoft Office Excel. Для этого агрохимические показатели по всем внутрипольным пронумерованным контурам для каждого показателя оформляют в виде столбца в ячейках электронной таблицы и рассчитывают среднее значение показателя, по которому по известной методике [7] вычисляют среднюю дозу действующего вещества удобрения. Затем производят расчет поправочных коэффициентов (ПК), по каждому контуру путем деления среднего по полю агрохимического показателя на соответствующий агрохимический показатель отдельного контура и последующего умножения на ПК средней по полю дозы удобрения. Определенные по данному алгоритму дозы удобрений, пересчитанные на их физическую массу, можно дифференцированно вносить на соответствующие агроконтуры данного поля.

Сроки дифференцированного внесения удобрений также определяют существующими в агрохимии правилами: фосфорные и калийные удобрения вносят под паровую (для озимых культур) или зяблевую обработку почвы, азотные – под предпосевную обработку или дробно, включая вегетационные подкормки озимых культур, распределяя общую расчетную дозу азота с учетом данных почвенно-растительной диагностики [12]. Припосевное (рядковое) удобрение в технологиях точного земледелия вносят, как правило, без дифференциации доз, вычитая его количество из общей расчетной дозы. С использованием машин для высева семян сельскохозяйственных культур, позволяющих одновременно регулировать дозы удобрения, целесообразно дифференцировать внесение и припосевного удобрения.

Следует отметить, что в последние годы дифференцированное внесение азотных удобрений в качестве вегетационных подкормок озимых зерновых и других культур находит все большее применение [16]. С одной стороны, это объясняется особенностью минерального питания небобовых растений, имеющего довольно узкий интервал между недостаточным и избыточным азотным питанием при высокой потребности их в данном элементе, а с другой, – в появившейся возможности точнее регулировать азотный статус агроценозов, используя туковысевающие машины, оснащенные фотометрическими N-сенсорами, бортовым компьютером и другой аппаратурой. Применение такой техники позволяет по интенсивности флуоресценции хлорофилла растений, их зеленой окраске и биомассе определять нуждаемость посевов в азотной подкормке и в режиме on-line регулировать дозы азота. Замена химических методов растительной диагностики физическими и дифференцированное внесение удобрений современными машинами совершили технологический прорыв в оптимизации азотного питания важнейших сельскохозяйственных культур, что и определяет агроэкологическую эффективность применения азотных удобрений по данной технологии.

Актуальны также вопросы технического обеспечения, механизации дифференцированного применения агрохимических средств. Еще в 1962 г. известный агрохимик-почвовед А.В. Соколов, указывая на недостатки «однообразного внесения удобрений на целые поля, которое приносит огромные убытки народному

хозяйству» призывал механизаторов «разработать такие машины для внесения удобрений, которые не только точно дозировали бы удобрения, но и позволяли бы легко менять дозировку удобрений во время их высева» [14]. К сожалению, первый аппликатор для дифференцированного внесения удобрений, «мечта агронома», как ее называли американцы, был создан не в нашей стране, а в 70-80-х гг. в США. В настоящее время в мире выпускается большое семейство машин для точного земледелия, в том числе для дифференцированного применения различных агрохимических средств. В России налажен выпуск пока только лицензионной техники для дифференцированного применения удобрений, но во ВНИИ механизации сельского хозяйства, других НИУ ведут активные разработки отечественных машин, причем по научно обоснованной потребности точного земледелия в прецизионной сельскохозяйственной технике [8, 11]. Во ВНИИ механизации сельского хозяйства создан ряд перспективных моделей машин для внесения твердых и жидких минеральных удобрений, предварительные испытания которых дали положительные результаты.

Таким образом, и информационное, и техническое обеспечение координатного земледелия имеет теоретическую и практическую основу для внедрения высоких технологий в отечественное адаптивно-ландшафтное земледелие.

Литература

1. *Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий* // Под ред. академика РАСХН В.И. Кирюшина, академика РАСХН А.Л. Иванова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.
2. *Афанасьев Р.А.* Агрохимическое обеспечение точного земледелия // Проблемы агрохимии, 2008. № 3 С.46-53.
3. *Афанасьев Р.А., Аканов Э.Н., Сычев В.Г.* Способ определения удельной электропроводности почвы // Патент России № 2331070. 2008.
4. *Афанасьев Р.А., Благов А.В., Мейер О.Н.* Усовершенствованный способ агрохимического обследования почв // Патент России № 2102748. 1998.
5. *Афанасьев Р.А., Поляков А.К., Эминов М.С.* Программа расчета доз минеральных удобрений на запланированную урожайность сельскохозяйственных культур // Плодородие, 2010. № 3 – С. 44.

6. *Афанасьев Р.А., Шириня М.Х., Благов А.В., Мейер О.Н.* Способ дистанционной диагностики озимой пшеницы вне зависимости от погодных условий и времени суток // Патент № 2075076. 1997.

7. *Державин Л.М. и др.* Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия: инструктивно-метод. издание. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 464 с.

8. *Измайлов А.Ю., Артюшин А.А.* Приоритетные направления исследований по техническому обеспечению точного земледелия: сборник докладов X международной научно-практической конференции «Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве». Ч.2. – М.: Изд-во ВИМ, 2008. – С. 493–500.

9. *Костычев П.А.* Почвы черноземной области России их происхождение, состав и свойства. М.: Селхозгиз. 1949 – С.151.

10. *Кошелев А.А., Щербаков С.И.* Методы и средства измерения удельной электрической проводимости почв и их практическое применение в точном земледелии: сборник докладов X международной научно-практической конференции «Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве». Ч.2. – М.: Изд-во ВИМ, 2008. – С. 583-589.

11. *Марченко Н.М., Личман Г.И.* Механико-технологические основы компьютеризированного проектирования машинных технологий дифференцированного применения удобрений в системе координатного земледелия: труды ВИМ. Т. 129. – М.: Изд-во ВИМ, 1997. – С. 56–69.

12. *Методические указания по комплексной диагностике азотного питания озимых зерновых культур.* – М.: Колос, 1984. – С. 16–17.

13. *Прянишников Д.Н.* Избранные сочинения. Т. 1. М.: Колос, 1965. С. 721.

14. *Соколов А.В.* Агрохимическое картографирование почв. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 154 с.

15. *Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Личман Г.И., Марченко Н.М.* Методика отбора почвенных проб по элементарным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. – М.: Изд-во ВНИИА, 2007. – 36 с.

16. *Шпаар Д.* Дифференцированное управление посевами с учетом гетерогенности полей в рамках Precision Agriculture: сборник трудов Международной научно-практической конференции «Агротехнологии XXI века». – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2007 г. – С. 6 – 8.

17. *Franzen D.W., Narina T.* Management zone delineation methods. Proceeding of the 6th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, 2002. – p. 363-377.

Рассматриваются основные аспекты информационно-технологического обеспечения точного земледелия. Особое внимание уделено анализу методов выделения внутрипольных агроконтуров, используемых в качестве элементарных участков оценки плодородия почв при отборе почвенных проб. Описаны способы автоматизированного расчета дифференцированных доз удобрений, в том числе по программе, разработанной в ВНИИ агрохимии. Показаны возможности технического обеспечения точного земледелия России.

Ключевые слова: точное земледелие, почва, проба, удобрение, технологии, программы.