

Министерство сельского хозяйства РФ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет
им. И. Т. Трубилина»

Е. В. Труфляк

Дифференцированные технологии



Краснодар
КубГАУ
2016

УДК 631.171 (076.5)

ББК 40.7

Т80

Труфляк Е. В.

Дифференцированные технологии / Е. В. Труфляк. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 44 с.

Показаны примеры использования в сельском хозяйстве одно- и двухэтапных дифференцированных технологий.

Для специалистов в области сельского хозяйства, преподавателей, аспирантов и студентов аграрных вузов.

УДК 631.171 (076.5)

ББК 40.7

© Труфляк Е. В., 2016

© ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина», 2016



«Не подлежит сомнению, что растение составляет центральный предмет деятельности земледельца, а отсюда следует, что все его знания должны быть приурочены к этому предмету»

К. А. Тимирязев (1843–1920 гг.)

1 Двухэтапные технологии

1.1 Отбор проб почвы

Отбор проб и образцов почвы необходим для экологически и экономически обоснованного применения удобрений с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Этот метод используется для анализа почвы, при создании электронных карт распределения химических веществ и разработке рекомендаций по внесению основных и азотных удобрений. Мелкомасштабная неоднородность почв по глубине и площади является одним из основных ограничительных факторов получения точности результатов почвенных анализов. При этом важнейшей задачей является планирование отбора проб.

В некоторых странах регламентируют не только временной режим, но и методы отбора. В Германии, например, согласно требованиям закона, каждые 3–6 лет проводят анализ почв на содержание основных элементов фосфора, калия и магния, а также pH почвенного раствора. При этом используют следующие методы взятия почвенных проб:

– отбор почвенных проб следует проводить от всех единиц угодий, которые подвергаются одинаковому хозяйственному использованию;

– с участка площадью от 1 до 3 га отбирают усредненную пробу, которая на пашне состоит из 15–30 отдельных проб, на лугах и пастбищах – из 25–40 отдельных проб. По объему проба должна включать 300 г свежей почвы, а если требуется проведение дополнительного анализа содержания микроэлементов, то еще 400 г;

– существуют разные схемы обхода площади участка; при последующем обходе выбранная схема должна сохраняться;

– глубина взятия проб на пашне обычно составляет 0–30 см, в специальных случаях (анализ подпочвы) – 0–60 см, а на лугах и пастбищах – 0–10 см.

Схема отбора проб для определения содержания в почве азота (N_{min}):

– на небольшой по площади поля (< 10 га) берут одну усредненную пробу, полученную из 15 отдельных проб. Во всех других случаях берут одну усредненную пробу на 3 га. По объему проба должна содержать не менее 500 г свежей почвы;

– глубина взятия проб на пашне для разных культур обычно составляет 0–30 и 30–60 см, а для некоторых культур – 60–90 см (таблица 1).

Результаты многочисленных анализов, проведенных на участках, представленных различными почвами, показывают, что для учета неоднородности распределения питательных веществ в почвах при геокодированном растровом отборе следует отбирать 2–4 пробы на гектар, чтобы после этого непосредственно интерполировать полученные данные на всю площадь. Экономически это очень невыгодно, поэтому обычно геокодированный отбор проб проводится в 3–7-гектарных растрах по относительно жестким, случайным и равномерным схемам обхода площадей (рисунок 1).

Таблица 1 – Глубина отбора проб для определения содержания в почве азота, необходимого для выращивания разных культур

Глубина взятия проб, см	Культура
0–30	Фасоль, шпинат
0–30, 30–60	Яровой ячмень, ранний картофель, кормовые злаки, клеверно- и люцерно-злаковые смеси, хмель, плодовые, цветная капуста, огурцы, лук
0–30, 30–60, 60–90	Озимые рапс, ячмень, рожь, тритикале, пшеница, сахарная свекла, картофель, кукуруза на зерно, кукуруза на силос, капуста

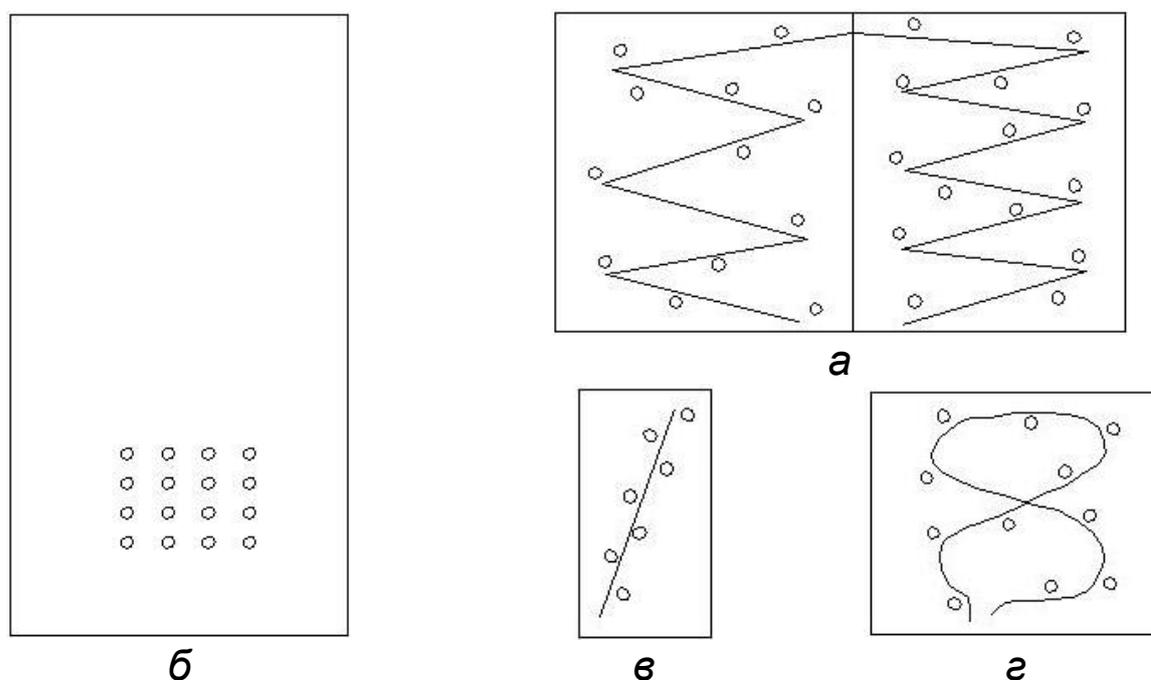


Рисунок 1 – Схемы обхода площадей для отбора проб почвы:

а – от соседних частей поля; б – от репрезентативной части поля;
в – от узкой площади; г – с возвратом к исходной точке

В системе точного земледелия используют геокодированную информацию, получаемую в процессе мониторинга и картирования урожайности, измерения электропроводности, составления электронных карт почвы. Применяются также многолетние данные дистанционного

(спутникового) зондирования и другие источники информации, с учетом которых можно реализовать растровые и селективные схемы обхода поля (рисунок 2, а и б). С целью мониторинга почвы проводится также ежегодный отбор проб на специально выделенных постоянных местах (рисунок 2, в).

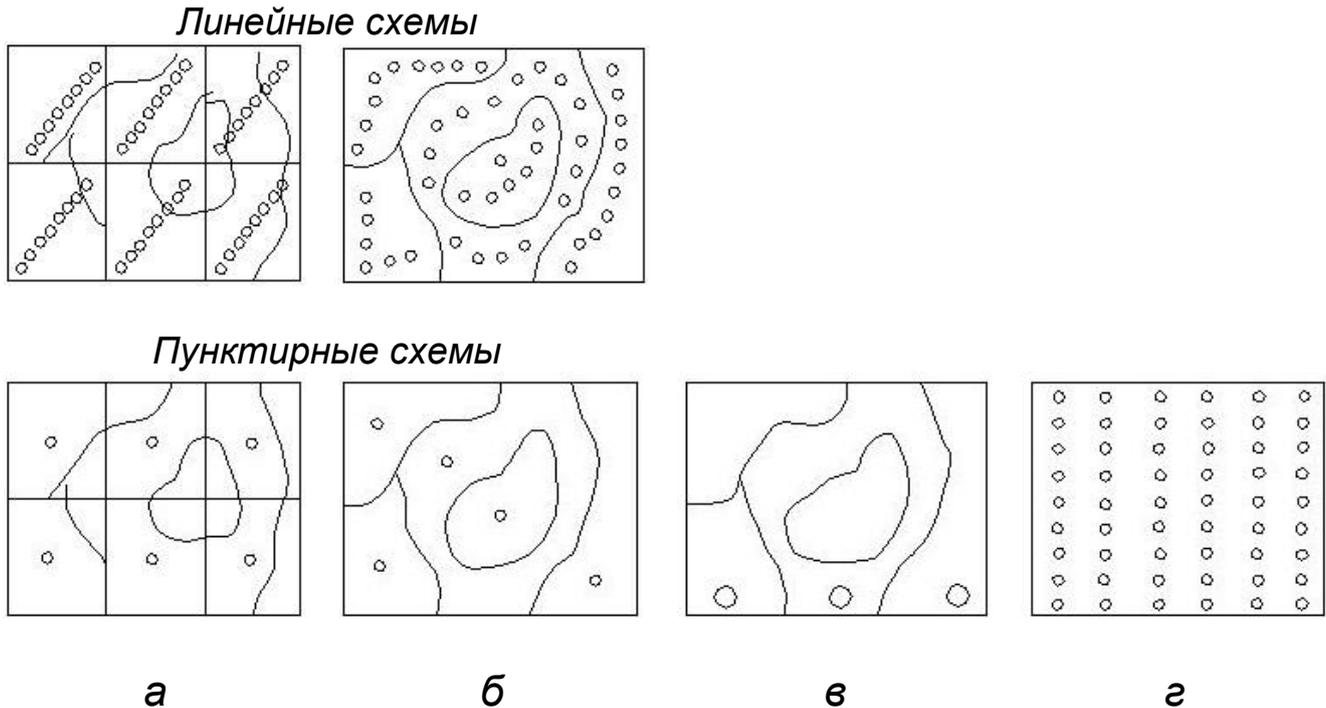


Рисунок 2 – Разные схемы обхода полей и взятия проб:

а – растровая схема обхода (каждые 6 лет); б – селективная схема обхода (каждые 6 лет); в – схема ежегодного мониторинга почвы (ежегодно); г – схема отбора проб и анализа в режиме реального времени (по необходимости)

Планы и схемы обхода полей и выбора точек отбора составляют с помощью ГСП-приемников и специального программного обеспечения.

При использовании растровых и селективных схем обхода полей частичные площади объединяют в пробные растровые площади. На практике приняты размеры этих пробных растровых площадей 1–5 га. На каждой из них отбирают 15–20 проб, которые объединяют в смешанную пробу, представляющую частичную площадь. Однако по-

лученные результаты анализов показывают, что реальный подход к определению размера проб может являться приближенным к максимальной точности. С уменьшением размера раstra и увеличением диапазона выборки достоверность данных повышается.

В настоящее время на различных мобильных средствах монтируют специальные пробоотборники для взятия проб почвы. Это позволяет максимально ускорить рабочий процесс и снизить затраты благодаря механизации процесса отбора проб и частичной автоматизации.

На рынке сельскохозяйственной техники предлагаются разнообразные типы механизированных пробоотборников: работающих на основе гидравлических набивающих цилиндров и цилиндров с картушами (рисунок 3), либо буров с электропневматическими ударными механизмами (рисунок 4), а также различных вариантов спиральных буров (рисунок 5).

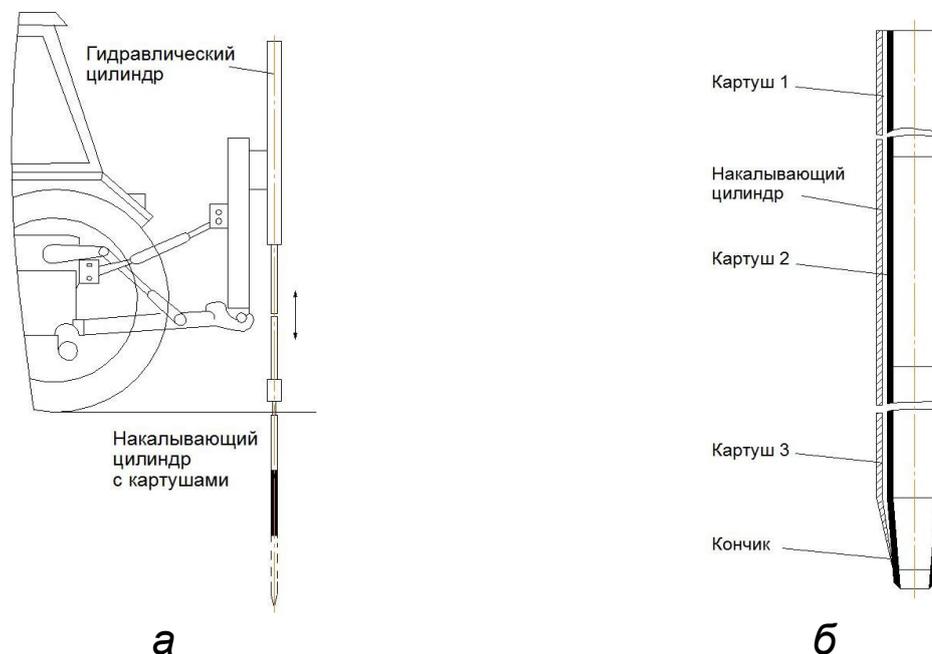


Рисунок 3 – Схема механизированного пробоотборника, работающего на основе гидравлических набивающих цилиндров и цилиндров с картушами:

а – схема трактора с навесным пробоотборником;

б – схема пробоотборника

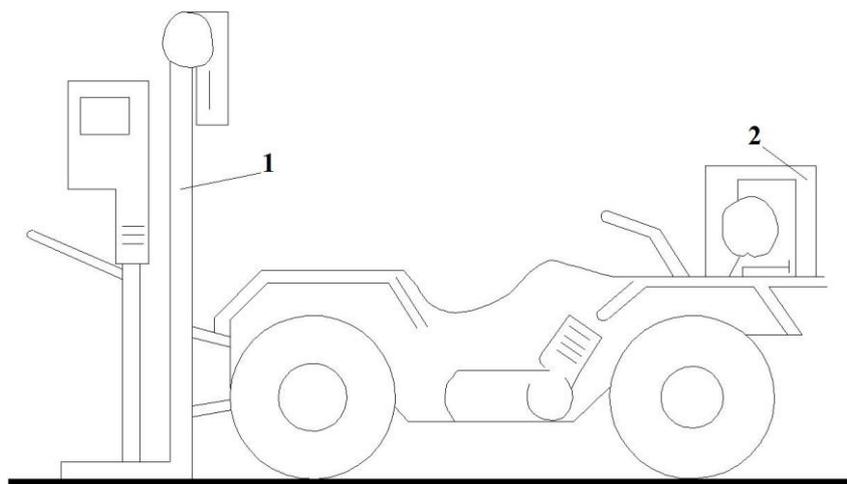


Рисунок 4 – Схема механизированного пробоотборника, работающего совместно с бурильщиками на основе электропневматических ударных механизмов:

а – мобильный носитель с пристроенным на задней части электробуром; *б* – генератор на передней стороне

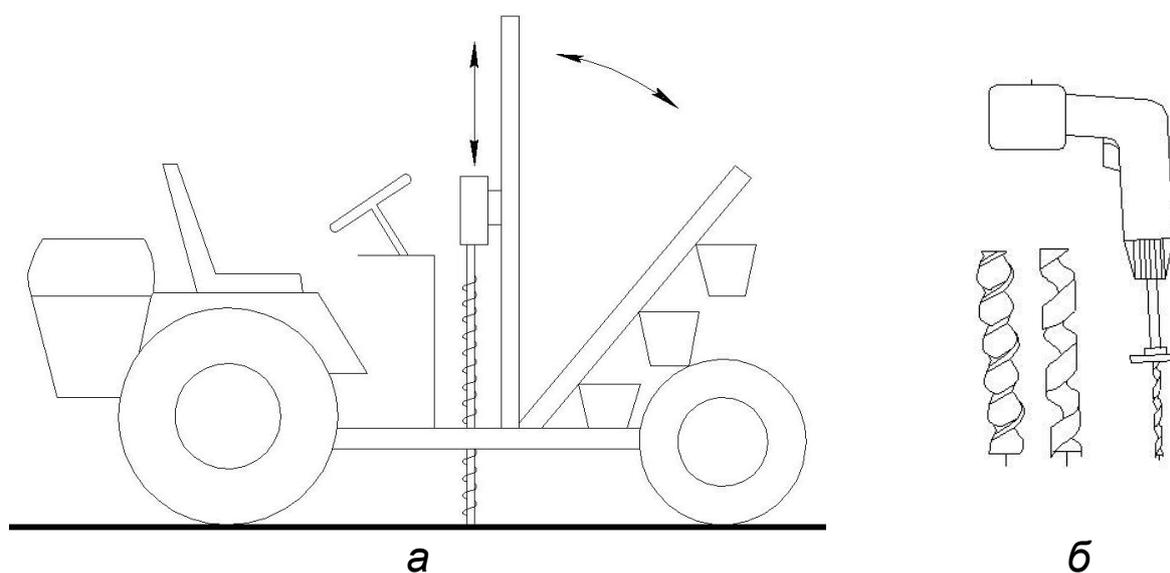


Рисунок 5 – Схема механизированного пробоотборника, работающего со спиральным бурильщиком:

а – мобильный носитель со спиральным бурильщиком;
б – бурильщик со спиральными формами

1.2 Дифференцированная обработка почвы

Цель дифференцированной обработки почвы в пределах одного поля заключается в том, чтобы за счет более эффективного расхода горючего и минимальных затрат времени сократить издержки производства в растениеводстве, избегая при этом разрушения структуры почвы и возникновения почвенных эрозий. Результаты опытов, проведенных на различных типах почв в Германии, показывают, что эта цель может быть достигнута без снижения показателей урожайности.

Дифференцированная обработка почвы стала возможна только в двухэтапном технологическом варианте с использованием данных цифровых почвенных карт (текстура, гидроморфность почв, содержание гумуса, электропроводность почвы, а также рельеф участка).

Эта информация необходима для подготовки технологических электронных карт (карт-заданий или чип-карт) (рисунок 6).

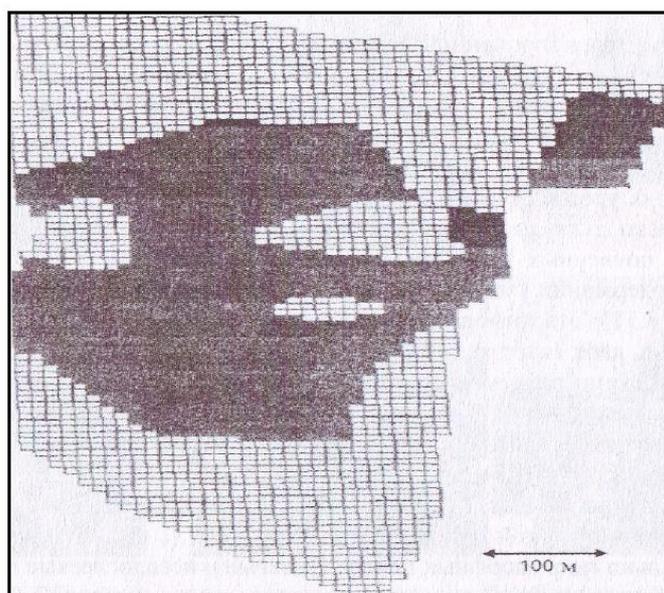


Рисунок 6 – Аппликационная карта для основной обработки почвы: темные зоны – мелкая обработка; светлые зоны – глубокая обработка

На рисунке 7 приводится схема работы агрегата, предназначенного для дифференцированной обработки почвы. При этом исходят от того, что возникает необходимость в более глубоком рыхлении почвы тех участков поля, где складываются неблагоприятные условия для роста корней растений, а именно:

- на песчаных почвах, склонных к переуплотнению;
- на почвах с неоднородной структурой;
- на сильно гидроморфных почвах (глеевые и псевдоглеевые почвы);
- на бедных гумусом почвах.

В то же время хорошо аэрируемые (в достаточной степени структурированные) почвы, почвы с высоким содержанием илестых частиц и гумуса можно обрабатывать менее глубоко.

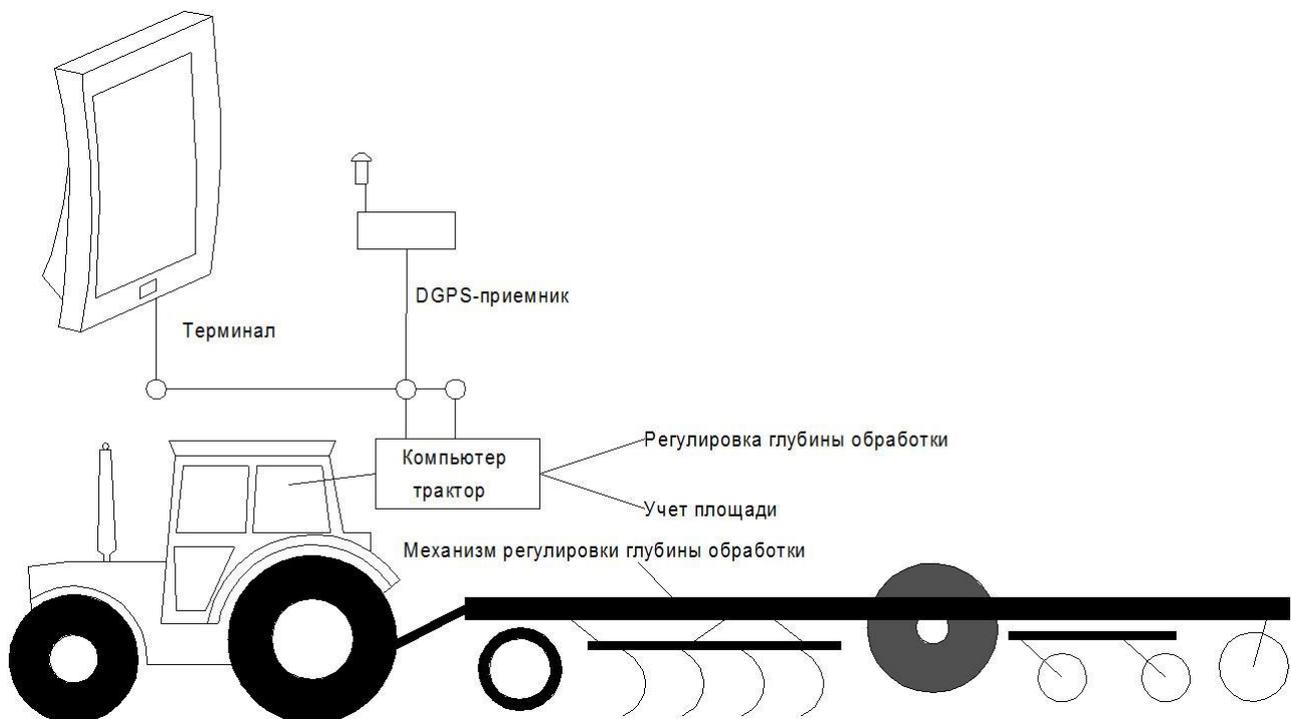


Рисунок 7 – Схема работы агрегата для дифференцированной обработки почвы

При этом глубина обработки не является постоянной, а определяется с учетом принятой глубины пахотного слоя данной почвы. Как правило, минимальный размер фракции зависит от доли илистой фракции.

1.3 Дифференцированное по площади внесение основного удобрения

Определение оптимального содержания питательных элементов (P, K, Mg, Ca) в почве является основным мероприятием в управлении посевами.

Обеспеченность ими почв подвергается значительным колебаниям.

На основе многолетних исследований были определены классы обеспеченности этими элементами. В зависимости от содержания питательных веществ с помощью компьютерных программ рассчитывают нормы внесения основных удобрений. В странах с высоким уровнем накопления в почве питательных элементов, например, Германии, среднюю обеспеченность считают оптимальной. При этом удобрения вносят только для компенсации выноса элементов с урожаем. При более низкой обеспеченности дозы удобрений увеличиваются, при более высокой – снижаются. Для составления соответствующих компьютерных программ, кроме требований к содержанию питательных элементов, необходимы, как минимум, данные о виде почвы и о содержании в ней органической субстанции.

Таким образом, кроме данных о целевой урожайности, выносе питательных элементов и содержании указанных элементов в почве при определении доз вносимых удобрений в компьютерных программах должен учитываться природоохранный фактор, то есть в компьютерных программах аккумулируется большой объем данных (рисунок 8).



Рисунок 8 – Объединение информации для составления программ расчета доз вносимых удобрений

Результаты почвенных анализов показывают значительные отличия в распределении отдельных питательных веществ по площадям. Поэтому различными получаются и карты удобрений (рисунок 9).

Для обеспечения оптимальных результатов требуется не только равномерное внесение питательных веществ с однокомпонентным удобрением, но и его дифференцированное внесение с учетом мелкомасштабной неоднородности в пределах поля.

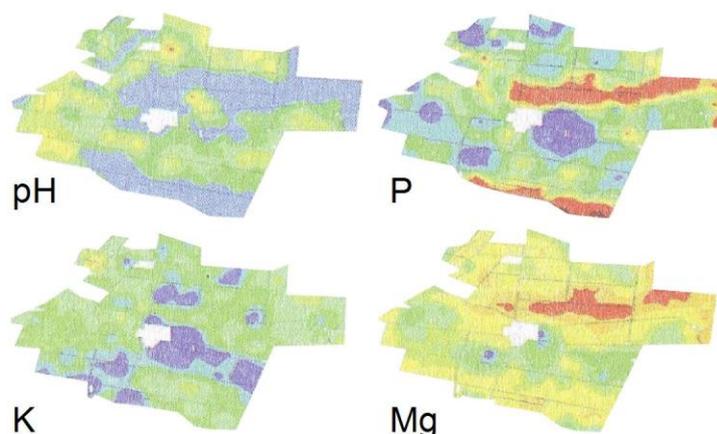


Рисунок 9 – Карты расчета доз вносимых удобрений с учетом неоднородности поля по содержанию питательных веществ

Мероприятия по дифференцированному внесению следующих минеральных веществ Р, К, Mg и Са (рисунок 10) имеют целый ряд экономических и экологических преимуществ по сравнению с равномерным внесением:

- предотвращение вымывания и почвенной эрозии;
- повышение урожайности;
- эффективное использование удобрений.

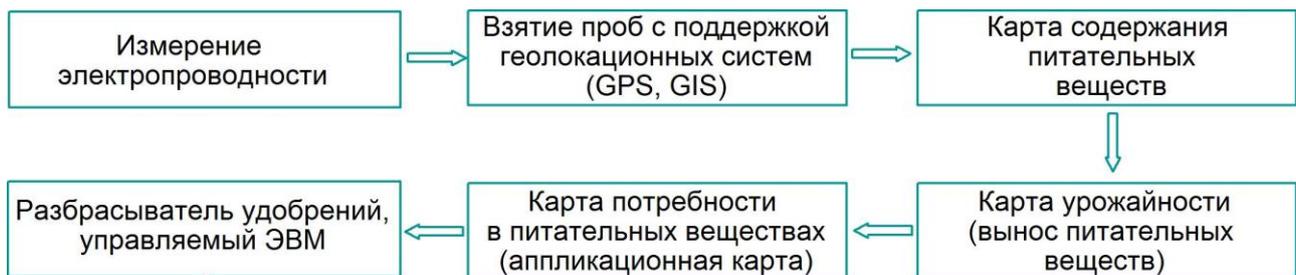


Рисунок 10 – Основные шаги при дифференцированном внесении основных удобрений

Для обоснования дифференцированного внесения основного удобрения разница в содержании макроэлементов между отдельными участками поля (единицами хозяйствования) должна составлять по меньшей мере один класс (2,5 мг Р/100 г почвы; 3,0 мг К/100 г почвы и 2 мг/100 г почвы), а в прогнозе урожайности – 10 ц/га у зерновых и рапса, 100 ц/га у кукурузы на силос, картофеля и сахарной свеклы. Минимальный размер единиц хозяйствования вытекает из пространственного разрешения исходных данных и возможности технической реализации в зависимости от применяемых туко разбрасывателей, скорости их движения и ширины захвата (расстояние между технологическими колеями). Обычно при определении размеров единиц хозяйствования за основу берут исходные данные с наибольшим пространственным разрешением или точностью. Следует учитывать и возможную точность внесения удобрений. Обеспечение минимального рас-

стояния между технологическими колеями, а также частичной ширины захвата, при которой внесение осуществляется с обеих сторон от колеи с разной шириной захвата, повышает точность работы. По скорости движения и эффективной ширине захвата можно вычислить обработанную частичную площадь. Разбрасыватель удобрений, как правило, один раз в секунду получает заданное значение дозы внесения удобрений согласно карте-задания. Это значит, что при рабочей скорости 10 км/ч агрегат переместится на расстояние 2,8 м, и в это время может измениться требуемая доза внесения. Например, при эффективной ширине захвата 18 м и скорости движения 10 км/ч получается пространственное разрешение $2,8 \times 18 \text{ м} = 50,4 \text{ м}^2$.

Все технические решения для внесения минеральных удобрений можно осуществлять и с помощью ГСП. На рынке доминируют центробежные разбрасыватели минеральных удобрений. Причем большинство производителей предлагают различные модели для системы точного земледелия. У машин для внесения жидкого навоза выбор гораздо меньше (рисунок 11).

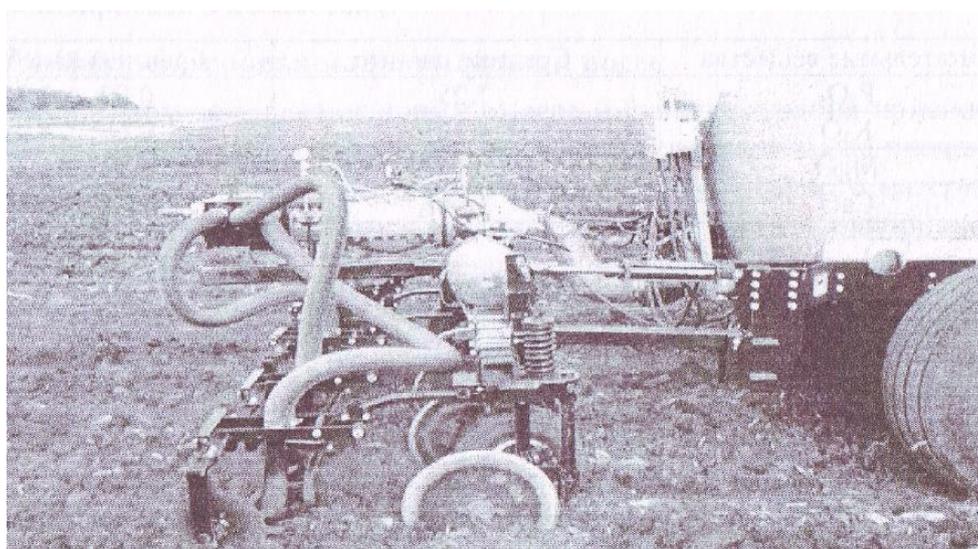


Рисунок 11 – Машина для дифференцированного внесения жидкого навоза

Пневматические разбрасыватели работают с более высокой точностью, но для них существует опасность закупоривания, так что возможная точность не всегда реализуется на практике. Намного точнее осуществляется внесение жидких навозов с помощью опрыскивателей. Однако этот способ внесения для больших масс основного удобрения слишком дорог и окупается только при внекорневом удобрении, при остром недостатке в удобрениях, а также для специальных культур.

Для применения разбрасывателей удобрений в системе точного земледелия необходимо их оборудовать приспособлением для дозирования с электронным управлением.

С целью максимально точной регулировки требуется оборудование для постоянного контроля потока удобрений, такого как клетки взвешивания или датчики для измерения вращающего момента. С помощью этих контрольных приборов возможно и документирование внесенных количеств удобрений в виде карт применения удобрений (as-applied cards). Датчики для контроля доз внесения облегчают также калибровку разбрасывателей, от качества которого в большой мере зависит качество внесения.

Разбрасыватели удобрений, которые применяются в системе точного земледелия, оборудованы терминалами и бортовыми компьютерами. Они должны быть оборудованы ISOBUS-интерфейсами. В таком случае можно заменить специальные терминалы универсальным ISOBUS-терминалом. Кроме того, требуется ГСП-приемник для определения позиции и датчик для точного измерения скорости движения.

Точность внесения в большей степени зависит от качества удобрения. В то время как для минеральных удобрений существуют стандарты качества, для орга-

нических удобрений подобных стандартов не существует. Консистенция и содержание питательных веществ в них в значительной мере варьируют.

На точность дифференцированного внесения основных удобрений большое внимание оказывает правильный выбор размера растров и распределения точек отбора проб почвы. Наилучший размер раstra – 1 или 3 га.

Программное обеспечение для управления исходными данными, расчета рекомендаций и составления аппликационных карт-заданий с целью дифференцированного внесения основного удобрения предлагаются разными фирмами.

В целом эффективность дифференцированного внесения основного удобрения в рамках системы точного земледелия зависит от точности затрат на исходные данные, алгоритмов внесения удобрений (функций урожайности), а также аппликации. При этом алгоритмы внесения удобрений целесообразно адаптировать для каждого хозяйства.

1.4 Дифференцированный по площади посев

В системе традиционного земледелия норма высева и густота стояния обусловлены почвенно-климатическими и погодными условиями, а также предшественником, сроком посева, сортовыми свойствами и качеством посевного материала.

Однако при этом не учитываются неоднородность полей по плодородию, существенное различие почвенных показателей и рельефа. Для более эффективного использования производственных факторов в рамках управления посевами следует учитывать неоднородность по вышеназванным показателям и адаптировать в соответствии с этим норму высева и густоту стояния (рисунок 12).

При планировании посева максимально используют всю информацию, необходимую для характеристики незначительных различий в урожайности и качестве урожая на данном поле и представленную в виде почвенных карт. В интерпретировании этих карт помогают также аэрофотоснимки, карты урожайности и данные регулярных почвенных анализов. В случае принятия решения о проведении дифференцированного посева в рамках отдельно взятого поля следует учитывать качество посевного материала и пригодность сеялок для этой цели.

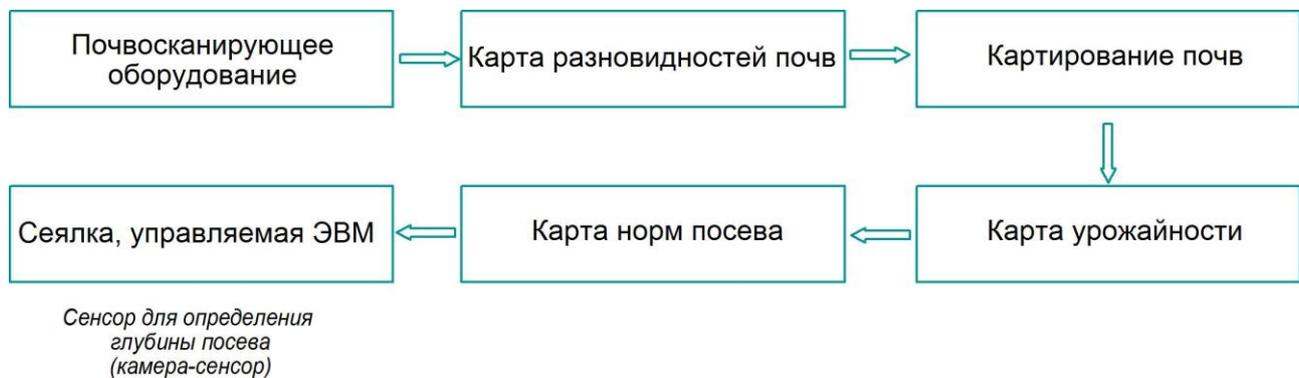


Рисунок 12 – Основные этапы при внедрении дифференцированного посева

Общими ориентирующими факторами для проведения дифференцированного посева зерновых могут служить следующие:

– между отдельными частями поля наблюдаются различия в урожайности, по крайней мере, в размере 10–15 ц/га;

– установленное дифференцирование нормы высева составляет минимум 30–50 всхожих зерен на 1 м² (около 15–20 кг/га).

При более низких значениях этих показателей отсутствует значимое их влияние на экономическую и экологическую составляющие землепользования.

Разработка карт-заданий для дифференцированного посева требует специального программного обеспечения. Основопологающей при составлении таких карт, в частности, для озимой пшеницы является информация:

– о площадях, отличающихся урожайностью и уровнем целевой урожайности, обычно составленных в форме карт. Она является исходной для вычисления нормы высева;

– об урожайности отдельных колосьев и индексе колошения;

– о полевой всхожести и, следовательно, потребности в посевном материале. Полевая всхожесть, кроме как от качества посевного материала (всхожесть, МТС, размер семян и сортировка), зависит прежде всего от почвенных условий до и после посева, в том числе температуры почвы. Она может колебаться в диапазоне от 50–100 %. Для объективной оценки этого показателя требуются опыт хозяйствования в условиях данной местности и учет особенностей данного поля:

– потерь растений за период от первых всходов до начала вегетации весной;

– параметров качества посевного материала, например, всхожести и др., которые, как правило, можно узнать из сертификатов качества семян.

Эти данные представлены в виде специальных карт посева. В Германии соответствующее программное обеспечение создано для озимой пшеницы, основные требования которого могут быть применены и при возделывании других видов зерновых.

Большое значение дифференцированный посев имеет также для выращивания кукурузы и сахарной свеклы. Приспособление густоты стояния этих культур к

условиям водоснабжения позволяет, например, при возделывании кукурузы на силос повысить содержание энергии в уборочной массе.

1.5 Дифференцированное внесение гербицидов и фунгицидов

Основное требование концепции интегрированной защиты растений, изложенной в международных документах и национальных законодательных актах, заключается в том, что для снижения экотоксикологической нагрузки на внешнюю среду необходимо уменьшать расход средств, предназначенных для защиты растений, до необходимого минимума. Однако как показывает опыт, снижение доз применяемых средств защиты, независимо от степени поражения посевов и посадок, не решит эту проблему. Поэтому за основу целенаправленного применения средств защиты растений в рамках данной концепции принято понятие «экономический порог вредоносности» (ЭПВ) – рисунок 13.

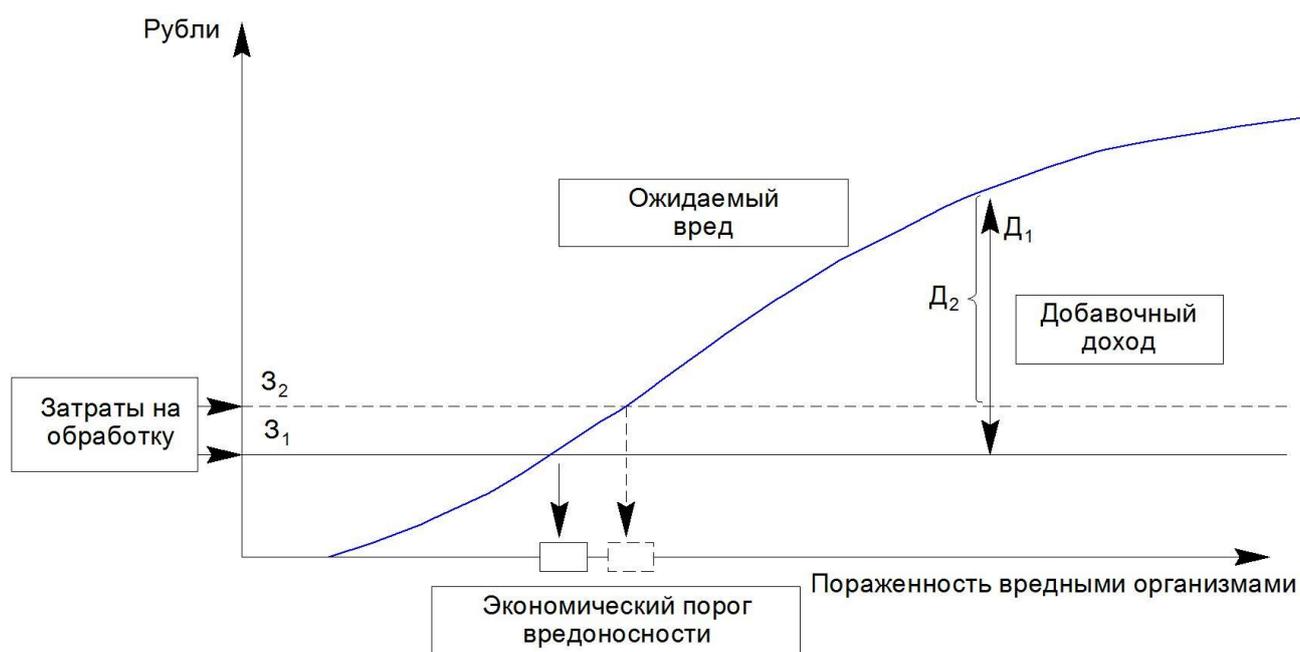


Рисунок 13 – Экономический порог вредоносности

Под ЭПВ понимают количество или плотность популяции вредного организма или засорения, превышение этих показателей имеет отрицательные экономические последствия, если не проведены вовсе (или в недостаточном объеме) мероприятия по защите растений, т. е. когда потери от засоренности в денежном выражении выше, чем затраты, связанные с применением мер борьбы. Величина ЭПВ зависит от изменяющихся экономических факторов, например, от цен на продукты и средства защиты растений, а также от места выращивания (региона, поля).

В данных условиях для конкретного поля ЭПВ определяется уравнением:

$$\text{ЭПВ} = (Z_{\text{п}} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{у}}) / (У \cdot П \cdot Ц_{\text{зк}}) \times 100,$$

где $Z_{\text{п}}$, $Z_{\text{об}}$, $Z_{\text{у}}$ – затраты (издержки) соответственно на средства защиты растений, обработку с их применением и уборку добавочного урожая (руб./га);

$У$ – планируемая (фактическая) урожайность (ц или т/га);

$П$ – потери урожайности от воздействия вредных организмов (процент от урожайности);

$Ц_{\text{зк}}$ – закупочная цена культуры (руб./т или ц).

Для большинства вредных организмов, особенно возбудителей болезней, решение о борьбе с ними надо принимать еще до достижения ЭПВ. Поэтому для того чтобы поражение его не превысило, вводят так называемые пороги борьбы (ПБ). Под ПБ понимают плотность популяции, при которой необходимо с ней бороться, чтобы не достичь ЭПВ (рисунок 14).

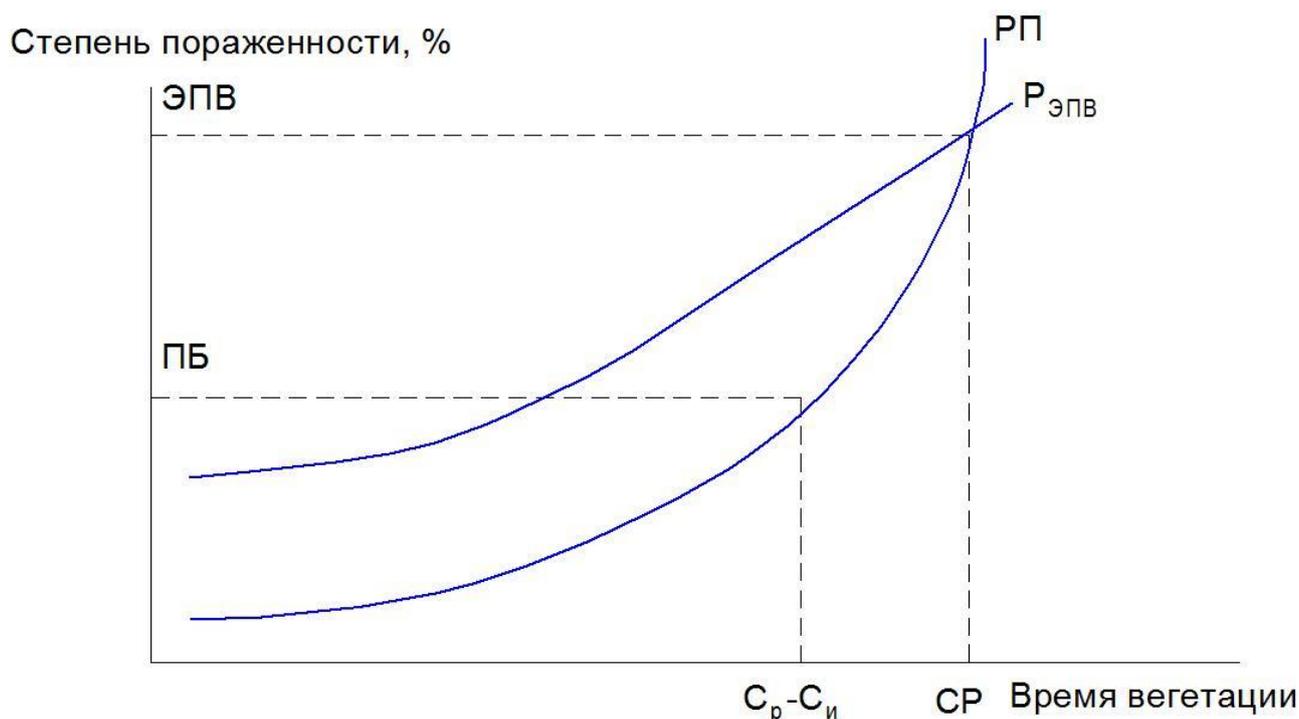


Рисунок 14 – Порог борьбы и экономический порог вредоносности:

РП – развитие пораженности; $R_{ЭПВ}$ – развитие экономического порога вредоносности; C_p – стадии развития растений; $C_p - C_{и}$ – срок развития растений минус инкубационное время болезни = срок обработки

Определение ЭПВ и ПБ зависит от многих факторов и не может быть однозначным. При сохранении компьютерных моделей пытаются в большей степени учитывать влияние многочисленных взаимосвязанных факторов для обоснования оптимальных решений по осуществлению мер борьбы с вредными организмами.

Однако внесение химических средств с учетом ЭПВ или на основе ПБ на практике связано со существенными проблемами, обусловленными неоднородностью распространения вредных организмов по полям.

Дифференцированное внесение гербицидов

Для принятия решения о внесении гербицидов на основе ЭПВ осуществляют учет засоренности полей

сорняками, например, с помощью «геттингенской счетной рамки» размером 31,631×31,631 см (площадью ~ 0,1 м²) с частотой 30 определений на 5 га. Число сорняков вычисляют по формуле:

$$N = \frac{\sum N}{n} 10,$$

где N – число сорняков на 1 м²;

$\sum N$ – сумма сорняков на всех учетных площадках;

n – количество учетных площадок.

Решение о внесении гербицидов с учетом ЭПВ принимается на основе усредненных данных, полученных со всего поля, в большей или меньшей степени неоднородного по засорению сорняками. С учетом взаимосвязи засорения и потерь урожайности (индексы конкурентности) применение гербицидов часто бывает экономически не оправданным. С учетом экологического фактора – это излишняя нагрузка ядохимикатами на те площади, где их применение не требуется.

Процесс дифференцированного внесения гербицидов с учетом неоднородности засорения включает: сбор данных, необходимых для принятия решения о внесении гербицидов; обработку этих данных и их оценку с точки зрения экологического и экономического факторов, непосредственное управление работой опрыскивателя.

Относительно постоянное местоположение большинства сорняков позволяет использовать карты их распределения, составленные для предыдущих лет. Таким путем можно реализовать дифференцированное внесение гербицидов в двухэтапном технологическом

режиме. Благодаря геокодированному сбору данных получают карты засорения и после обработки геостатистическими методами, а также с помощью ГИС составляют цифровые карты. На основе карты-задания управляют опрыскивателем, который оборудован контроллером (рисунок 15).

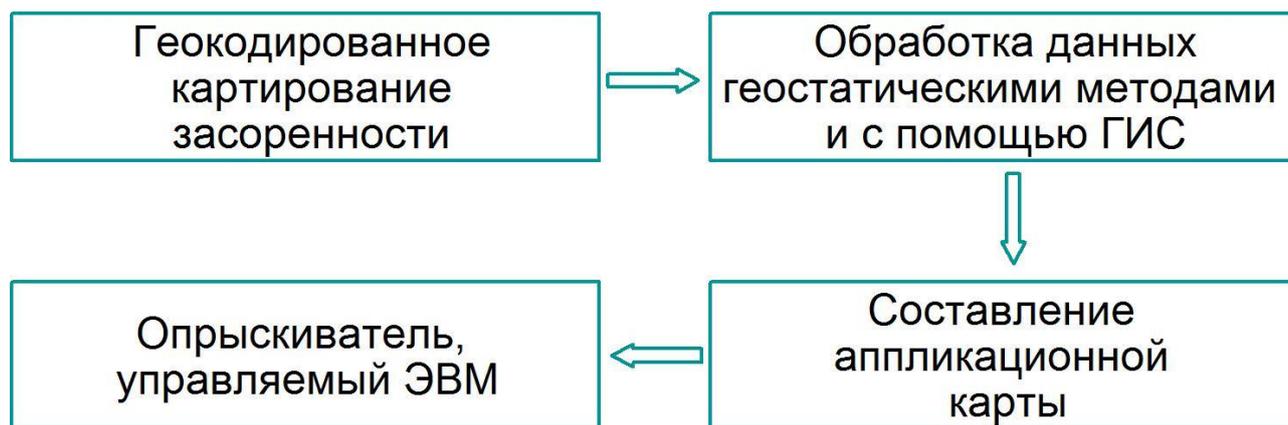


Рисунок 15 – Основные шаги при дифференцированном внесении гербицидов в двухэтапном технологическом процессе

Двухэтапный технологический режим внесения гербицидов на практике показал достаточную результативность, однако его использование является относительно затратным и мало применяется в сельском хозяйстве.

Дистанционные методы с использованием спутниковых съемок не нашли широкого применения в дифференцированном учете засорения полей, так как геометрическое разрешение недостаточно для определения сорняков в ранних фазах их развития. Кроме того, оптические съемки возможны только в условиях безоблачной погоды. Альтернативой является мониторинг засоренности полей сорняками с помощью самолетов или дистанционно управляемых сверхлегких летательных аппаратов, для которых требуется алгоритм анализа обработки многочисленных данных.

Дифференцированное внесение фунгицидов

Заболевания растений в начальной фазе эпидемиологического процесса проявляются на отдельно взятых растениях или очаге поля. Однако на основе ЭПВ и ПБ фунгициды вносят равномерно с учетом усреднения показателей для всего поля, хотя на свободных от болезней участках внесение не требуется. Как и при обработке гербицидами, регулированием процесса внесения фунгицидов с учетом неоднородности поражения можно повысить его экономическую эффективность и снизить уровень экологического загрязнения внешней среды. Для этого необходимо знать особенности местного распределения болезней по полю и размер пораженной площади.

Для картирования распределения болезней по полю необходимо придерживаться объективного методического подхода к мониторингу посевов. Однако его проведение и составление карт поражения растений путем объезда посевов слишком затратны. Поэтому они применяются только в экспериментальных работах. При борьбе с болезнями существует еще одна проблема, которая не позволяет на практике использовать концепцию двухступенчатого подхода: при благоприятных погодных условиях заболевания распространяются по посевам очень быстро. Если они достигают критических ПБ, то следует немедленно начинать опрыскивание. При этом составление карт распространения заболевания по полю и принятие решения об опрыскивании требуют определенных затрат времени. Таким образом, двухступенчатые технологии можно применять при ликвидации очагов почвообитающих возбудителей болезней и вредителей.

2 Одноэтапные технологии

2.1 Дифференцированное по площади внесение азотных удобрений

Целью дифференцированного внесения азота с учетом мелкомасштабной неоднородности в пределах поля является оптимальное управление посевом для достижения в хозяйстве установленного урожая и специфического для данного сорта качества (содержание протеина в семенах зерновых, масла рапса). На практике оно реализуется пока в основном у зерновых. При этом используются разные стратегии внесения азотных удобрений, из которых для технологий точного земледелия характерны следующие:

– *двухэтапные технологии (Off-line)* – применение комплексных моделей баланса азота или динамических моделей азота и почвы для вычисления величины доз внесения азота, составления карт-заданий и дифференцированного внесения азота; составление на основе карт урожайности и других вспомогательных средств карт-заданий и дифференцированного внесения азота с помощью инжекторной технологии или в форме стабилизированного удобрения;

– *одноэтапные технологии (On-line)* – применение систем датчиков, с помощью которых в режиме реального масштаба времени оценивают состояние посевов, определяют необходимые дозы азота и осуществляют их внесение; использование датчиков в системе реального времени и дополнение данными цифровых тематических карт, например, касающихся почвенных свойств, учета охраны внешней среды и природных ресурсов урожайности (рисунок 16).

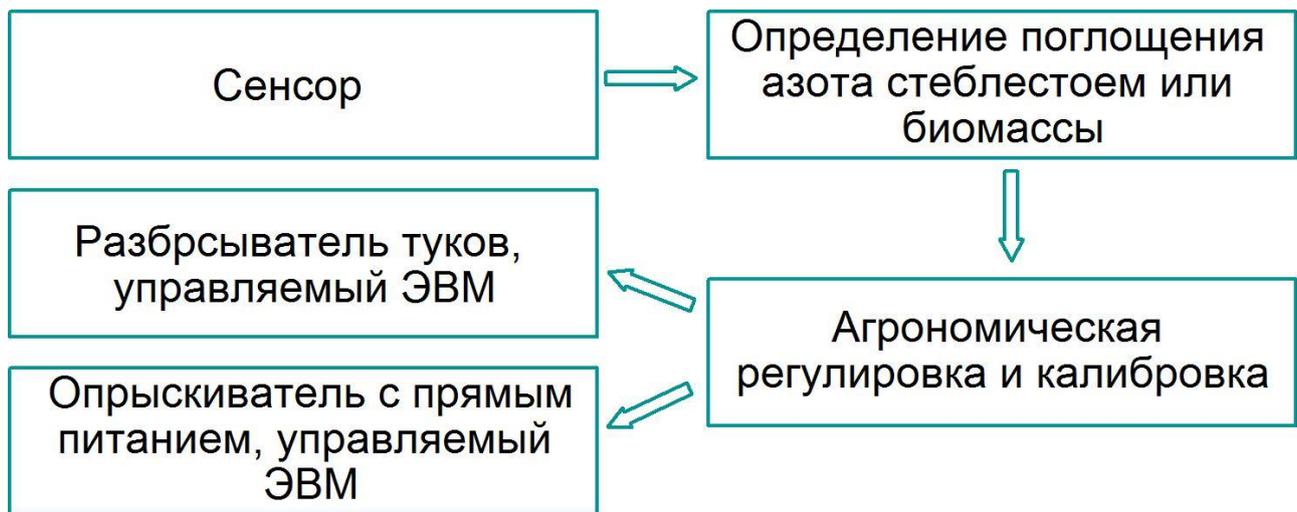


Рисунок 16 – Основные этапы при внесении азота в режиме реального времени

Двухэтапные технологии внесения азотного удобрения можно применять для любых доз азота. Однако в большей мере их используют только при внесении первой дозы азота у зерновых, в то время как внесение второй и третьей доз производят сенсорными технологиями. Программы для вычисления дозы азота при двухэтапном подходе к его внесению в большинстве случаев основаны на балансе – из расчета потребления азота растениями и с учетом находящегося в почве азота (N_{min}) определяются необходимые дозы внесения азота. Основная концепция таких программ не отличается от компьютерных программ, использующих на практике равномерное внесение азота по всему полю. Их применяют и при дифференцированном внесении для отдельных участков поля.

При этом в программы вводится пространственно-дифференцированная информация (почвенные условия, рельеф и др.) или информация об актуальном состоянии посевов.

Обычно такие программы разработают на основе данных:

- о предшественнике и использовании органических удобрений в севообороте, об изменениях в севообороте;
- сорте и планируемой урожайности и качестве продукции;
- ограничениях, устанавливаемых для охраны внешней среды и природы;
- актуальном состоянии почвы и посевов и уже внесенном количестве азота.

Величина оптимальных доз удобрения на каждом участке – это средние базисные показатели для нормального развития посевов. В зависимости от реального состояния посевов дозы снижают или увеличивают. Как правило, программы позволяют определить также минимальные и максимальные величины доз азота.

Теоретически дозы внесения азотного удобрения можно вычислить и на основе динамических моделей почвы и азота. Однако для этого необходимо учитывать множество очень точных исходных данных, в том числе дневных показателей о погоде, что усложняет их практическое применение.

Программы, основанные на балансе азота, принципиально подходят для любых культур. Научными учреждениями и специальными фирмами предлагаются разные варианты программного обеспечения с алгоритмами внесения удобрений для разных культур, прежде всего для озимой пшеницы, озимого ячменя, тритикале, ржи, пивоваренного ячменя и сахарной свеклы. При наличии соответствующей компьютерной техники, достаточных знаний о данном поле и точных исходных данных такие программы можно использовать в хозяйствах в качестве экспертных.

На основе таких программ составляют карты-задания, с помощью которых производится дифференцированное внесение азотных удобрений.

С учетом возрастающей нормы осуществляют дифференцированное внесение второй и третьей доз азота при выращивании озимой пшеницы с учетом мелкомасштабной неоднородности полей с помощью сенсорных технологий.

2.2 Дифференцированное внесение регуляторов роста

Применение регуляторов роста – составная часть агротехнологических приемов возделывания многих сортов зерновых культур. Например, благодаря внесению регуляторов роста получают более короткие стебли зерновых, и таким образом этим снижается опасность полегания растений. Стабилизация роста стеблей в свою очередь свидетельствует об эффективности внесения азотных удобрений и в итоге – о повышении урожайности культуры.

Все регуляторы роста, применяемые в настоящее время при возделывании зерновых, включаются в систему действия гормона роста гиббереллина. В процессе развития возникают сложные взаимосвязи в активности всех ростовых гормонов, поэтому регуляторы роста следует использовать очень осторожно с учетом сортовых особенностей, почвенных и погодных условий и степени развития стеблестоев.

Значительное снижение, например, концентрации гиббереллина в растении во время кущения вызывает, наоборот, этот процесс. Если этот эффект наступает поздно, то у злаковых образуется подгон. Кроме этого, снижаются средняя масса зерен и число колосков. Применение регуляторов роста в определенной мере приводит к подавлению роста корней. Ошибки в использовании регуляторов роста приводят к снижению урожайности.

Срок оптимального действия регуляторов роста у зерновых достаточно ограничен. При этом важную роль играет состояние посевов, которое в большей степени зависит от факторов и условий роста.

Посевы, как правило, отличаются выраженной в разной степени неоднородностью роста и развития стеблестоя, поэтому на практике рекомендуется дифференцированное по площади внесение регуляторов роста в режиме реального времени (рисунок 17).

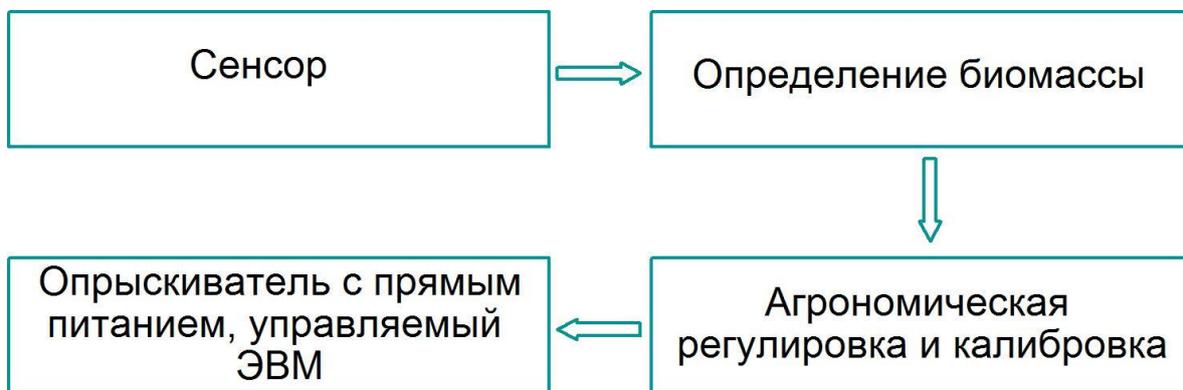


Рисунок 17 – Основные этапы дифференцированного по площади внесения регуляторов роста в режиме реального времени

2.3 Дифференцированное внесение гербицидов и фунгицидов

Дифференцированное внесение гербицидов

Как было изложено выше, для дифференцированного внесения гербицидов практическое значение имеют системы, работающие в режиме реального времени. Все технологические этапы у них проводятся одновременно, то есть сбор данных, их обработка и управление опрыскивателем производятся в одном рабочем проходе (рисунок 18). Для реализации этого технологического подхода на рынке предлагаются различные системы датчиков и электронно-регулиру-

руемые опрыскиватели с прямым и мультикамерным питанием.

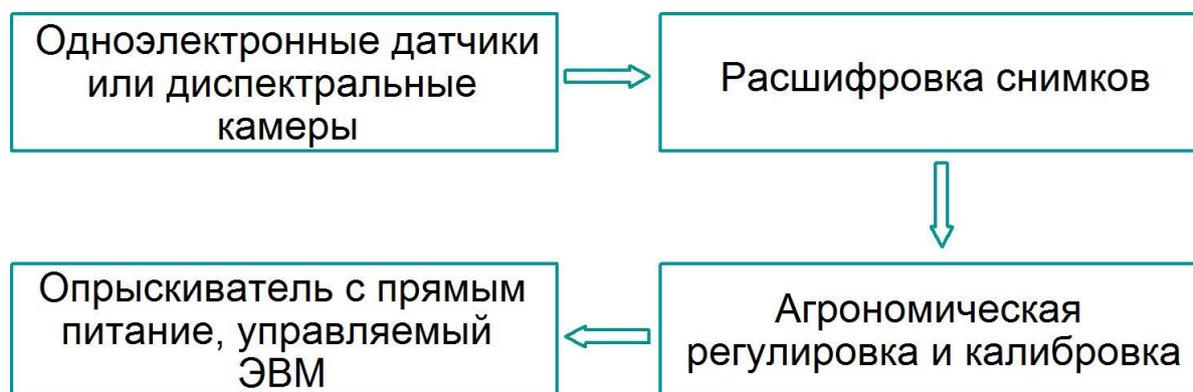


Рисунок 18 – Основные этапы дифференцированного внесения гербицидов в режиме реального времени

Дифференцированное внесение фунгицидов

В рамках концепции интегрированной защиты растений с учетом экологических и экономических факторов целесообразно применять фунгициды лишь в тех местах поля, где встречаются грибковые болезни. Составление карт, отображающих распределение болезней на поле, связано с трудоемкими ручными бонитировками, поэтому создание таких карт не требуется.

В настоящее время отсутствуют практические технологии непосредственного сенсорного обнаружения грибковых, бактериальных и вирусных заболеваний растений до достижения ими ПБ. Поэтому фактор «заболеваемость растений» в качестве критерия для целенаправленного применения фунгицидов не учитывается.

Хозяйства стараются сэкономить на фунгицидах, снижая нормы расхода по сравнению с рекомендованными фирмами. Однако постоянное применение пониженных норм расхода одного и того же препарата может вызвать

резистентность к данному действующему веществу. Даже использование пониженных норм расхода может привести к излишней нагрузке на внешнюю среду на площадях с низким уровнем поражения, без поражения или вообще без растительного покрова.

Целью точного применения фунгицидов является нанесение примерно одинаковой концентрации фунгицидной субстанции на единицу растительной поверхности. Однако поскольку эти поверхности в значительной степени варьируют в зависимости от густоты стояния посевов, то при внесении фунгицидов с одинаковой нормой расхода по всему полю на поверхность растений попадают неодинаковые количества препаратов, причем значительные их количества попадают и на такие места, на которых отсутствуют культурные растения.

Поэтому на участках поля с редким стеблестоем и слабо развитыми посевами требуется меньший расход рабочей жидкости, чем на более развитых и густых посевах.

Практичным, экономическим и экологическим обоснованием целенаправленного внесения фунгицидов является дифференцирование норм расхода в неоднородных посевах зерновых, рапса или других культур в зависимости от величины растительной поверхности. При этом преследуется следующая цель: с учетом различий в росте и развитии в разных местах одного и того же поля обеспечивать равномерное покрытие поверхности растений фунгицидами по всему полю. Мерой растительной поверхности является **индекс листовой поверхности** (ИЛП), который выражает отношение *поверхности растений* (m^2) к *поверхности почвы* (m^2). Его можно определить вручную с помощью оптических измерительных приборов. На практике для дифференцированного внесения фун-

гицидов с учетом неоднородности посевов на поле в режиме реального времени рекомендуется применение Crop Meter.

Проходят экспериментальную проверку диспектральные камеры (рисунок 19).

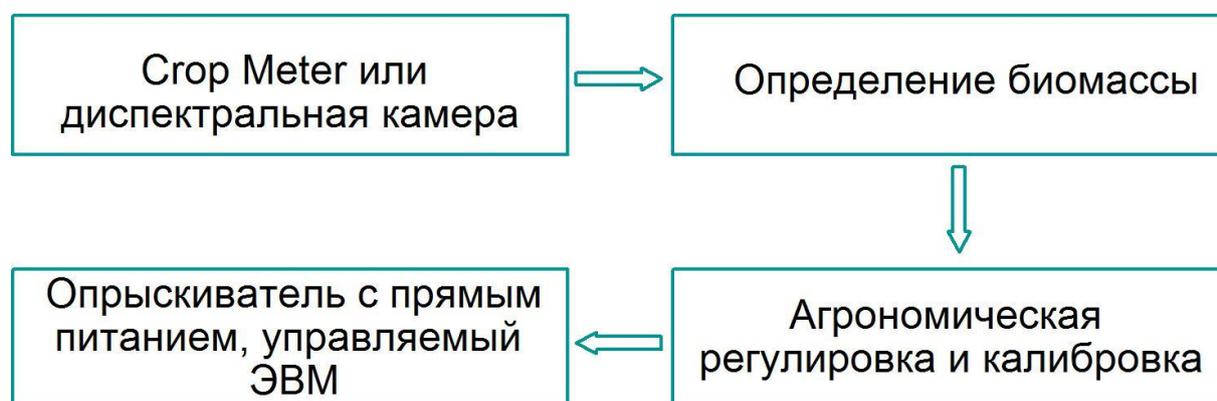


Рисунок 19 – Основные этапы дифференцированного внесения фунгицидов в режиме реального времени

Для применения технологии дифференцированного внесения фунгицидов не требуется специфических хозяйственных данных. В качестве единственного исходного параметра используется информация об измеренном угле отклонения индикатора Crop Meter.

Так как этот подход не может дать исчерпывающую информацию о том, какие грибковые заболевания встречаются на данном поле, необходимо заранее определить возможный спектр болезней и соответствующие средства защиты. Обработка поля проводится с использованием рекомендаций службы защиты растений и на основе собственного мониторинга.

При использовании этого подхода не требуется геокодирования и, следовательно, техники GPS. Однако для накопления данных в системе GIS или протоколирования проведенных мероприятий в виде карт применения оно было бы уместным.

При практическом использовании Crop Meter различают два технологических шага. Вдоль одной технологической колеи, которая отличается самой большой дифференциацией растительной массы, в разных точках проводят выборочное измерение ИЛП с помощью ручных приборов. Это позволяет оценить величину целевой площади (отношение площади поверхности растений к поверхности почвы). «Пространственная привязка» этого отношения осуществляется геокодированием с помощью мобильного дГСП-приемника.

В выбранной неоднородной технологической колее проводят измерение с помощью Crop Meter. При этом в память записывается значение угла отклонения вместе с позицией. После этого можно сравнить углы отклонения в вышеуказанных выборочных точках с показателями ИЛП, полученными ручным измерением, с помощью регрессионного анализа.

После этого определяют тот угол отклонения, при котором следует вносить максимальную норму расхода (100 %). Агроном или фермер должен сам ввести в бортовой компьютер значение максимального и минимального количества фунгицидного рабочего раствора. При выборе этих показателей ориентируются на определенную максимальную и минимальную листовую поверхность в пройденной технологической колее. Минимальное количество нормы расхода зависит также от возможного диапазона регулируемости опрыскивателя.

Недостаток этой технологии заключается в неизвестном распределении растительной поверхности по всей ширине захвата опрыскивателя, так как Crop Meter определяет ее только в колеях. Он может быть устранен благодаря выбору не слишком низкого минимального аппликационного количества фунгицида.

2.4 Дифференцированное определение качества убираемого урожая

В результате неоднородности поля по плодородию получают не только разные показатели урожайности, но и качества убранных продуктов. Выравнивания посевов по качеству посредством целенаправленных мер управления возможно добиться не при всех условиях, например, в случае, когда из-за засухи внесение третьей дозы азота не влияет на повышение качества урожая.

В настоящее время лабораторный анализ качества убранных продуктов проводится лишь после уборки взятием выборочных проб, обычно уже в лабораториях закупочных организаций. Так как продукт, характеризующийся определенными качествами, особенно зерно пшеницы и пивоваренного ячменя, можно реализовать на рынке по более высоким ценам, то для хозяйств целесообразно предлагать на продажу партии продукции с одинаковым требуемым качеством.

Разделение партий по качеству непосредственно перед загрузкой в хранилища было бы неоправданным, так как при этом происходит сильное перемешивание продукции разного качества. Поэтому в хозяйствах проводят мониторинг не только урожайности во время уборки, но и качества в режиме реального времени при комбайновой уборке зерновых, зернобобовых и масличных культур, чтобы можно было разделить партии по качеству на этом этапе.

В настоящее время ведутся исследования и практическое испытание сенсорных систем на основе спектроскопии в ближней инфракрасной области (NIRS), размещенных на элеваторах зерноуборочных комбайнов, с помощью которых можно разделять партии по качеству при уборке комбайнами.

Кроме разделения партий зерна по качеству при уборке в режиме реального времени, возможна также уборка зерновых с помощью двухступенчатой технологии – на основе предварительного составления карт по содержанию протеина в зерне. Однако такой подход дорог и не находит применения на практике.

3 Дифференцированное управление посевами

Процесс образования сухой массы у культурных растений включает различные фазы, в течение которых развитие массы надземных органов и индекс листовой поверхности, а вследствие этого и возможная урожайность достигают различных величин.

Большинство факторов, воздействующих на эти процессы, могут снижать или повышать урожайность. В первую очередь это почвенно-климатические условия данной местности и погодные условия конкретного года. Кроме того, в посевах культурных растений наблюдаются конкурентные проявления между органами отдельного растения, между растениями в посевах данной культуры и с другими видами растений (сорняки, вредители, возбудители болезней).

Учитывая состояние всходов, необходимо планировать агротехнические мероприятия по управлению посевами таким образом, чтобы уменьшить (и по возможности исключить) проявления вредной конкуренции, а также смягчать отрицательное и усиливать положительное воздействие тех или иных факторов на формирование урожайности.

Под управлением посевами понимается совокупность согласованных растениеводческих мероприятий, которые с учетом места выращивания, погодных условий и состояния посевов целенаправленно прово-

дятся для получения оптимальной структуры посевов, достижения высоких показателей урожайности и, следовательно, реализации специфической для данной местности потенциальной урожайности сорта при оптимальной интенсивности возделывания, без пагубного влияния на внешнюю среду.

Под управлением посевами предусматривается выполнение следующих мероприятий: применение удобрений, регулирование роста растений, борьба с сорняками, болезнями и вредителями. Они по существу являются элементами технологии возделывания зерновых, рапса и других сельскохозяйственных культур. Учитывая взаимную обусловленность компонентов урожайности зерновых и других сельскохозяйственных культур, проведением мероприятий по управлению посевами можно в определенной мере компенсировать недостаточное развитие отдельных ее компонентов.

Из разнообразия конкретных почвенно-климатических и погодных условий вытекает, что посевами невозможно управлять по одной и той же схеме. Даже в одном хозяйстве для каждого поля, в зависимости от меняющихся условий в разные годы, необходимо принимать разные решения.

На основе знаний о компонентах урожайности данной культуры, данного сорта, особенностей ее формирования в разные фазы развития следует, исходя из состояния посевов на данном поле, определять тактику управления ими для достижения высоких показателей урожайности. Управление посевами – это комплекс мероприятий, основанных на знании и опыте хозяйствования в определенных природных условиях.

Как правило, управление посевами упрощается ближе к нижнему пределу, оптимальному для данной местности и сорта, при густоте стояния посевов после

всходов или в начале вегетации. Доступность влаги и длительный период вегетации тоже оказывают влияние на возможность управления посевами.

При управлении посевами особое внимание должно быть максимально направлено на формирование у растений продуктов уборки (зерен, масла семян и др.) и обеспечение высокого их качества, с одновременным ограничением развития до необходимой величины других органов – листьев, стеблей и корней.

Для этого, например, мероприятия по управлению посевами зерновых проводятся с тем, чтобы, исходя из оптимальных норм высева для данной местности, умеренной первой дозы внесения азота с учетом N_{min} в почве и состояния посевов на начальной фазе развития, образовалась оптимальная биологическая масса для меньшего потребления влаги и снижения опасности развития болезней.

Обеспеченность азотом растений в фазе выхода в трубку способствует развитию хорошо сформированных репродуктивных органов.

Слишком раскустившееся растение у зерновых требует дополнительно до 30 % влаги для образования единицы зерна, по сравнению с растениями, имеющими меньшее количество продуктивных стеблей. Конкуренция за влагу между большим количеством стеблей на ранних стадиях приводит к отрицательным результатам в засушливых регионах.

Оптимальный для данной местности срок посева и целенаправленные мероприятия по защите растений на основе порога вредоносности должны быть такими, чтобы растения за вегетационный период в наибольшей степени воспользовались этим для формирования компонентов урожайности.

Конкретные этапы (тактика) управления посевами зависят не только от почвенно-климатических и погодных условий. Проблема современных систем управления посевами заключается в том, что при принятии решения о проведении того или иного мероприятия исходят из гомогенности посевов. Неоднородность посевов и условия роста в пределах поля не учитываются. Для такого учета требуется реализация дифференцированного по площади поля управления посевами (рисунок 20).

В настоящее время известны используемые на практике технологии дифференцированного проведения отдельных мероприятий управления посевами, такие как обработка почвы, посев, внесение азота, регуляторов роста, применение гербицидов и фунгицидов. Однако пока не создана общая модель для упрощения принятия решений о проведении отдельных мероприятий, которая связывала бы воедино отдельные модули, описывала бы их взаимосвязи с использованием эффектов синергизма и повысила бы эффективность дифференцированного управления посевами.



Рисунок 20 – Схема дифференцированного управления посевами

Такая модель должна осуществлять:

- быстрый доступ ко всем модулям модели;
- частично или полностью автоматизированное прохождение информации для планирования управления посевами;
- оперативное управление посевами на основе текущей информации, полученной по отдельно взятым мероприятиям.

4 Составление цифровых карт и планирование урожайности

Мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур позволяет выявить ее неоднородность по каждой культуре в пределах поля и представить ее в формате цифровых карт. В них документируется, какие обеспечены показатели урожая на тех или иных участках поля и каков диапазон различий внутри одного поля. Составление карт урожайности наиболее практическое применение получило при выращивании зерновых.

Система картирования урожайности заключается в дифференцированном измерении урожайности в пределах поля в режиме реального времени и обработке данных на персональном компьютере.

Данные об урожайности, которые записывает бортовой компьютер на комбайне во время уборки, переносятся на компьютер для создания карты урожайности. Существующее программное обеспечение в большинстве случаев позволяет не только составлять карты, но и экспортировать данные в различных форматах. Эти данные находят разностороннее применение, например, в программах расчетов для таблиц и в банках данных.

Карта урожайности не предоставляет информацию о причинах появления различий в урожайности в пределах поля. Однако она содержит информацию о тех

местах поля, на которых необходимо проводить дальнейший анализ, чтобы понять, в чем заключены причины различий.

В особенности многолетняя оценка таких данных помогает определить зоны с разным потенциалом урожайности. Если не допущены технические ошибки в процессе измерения урожайности, то цифровые карты могут эффективно использоваться в деятельности сельскохозяйственных предприятий, в том числе:

- в ходе контроля эффективности агротехнических мероприятий;
- при составлении карт-заданий для двухэтапных технологических решений;
- для идентификации проблемных зон в рамках отдельно взятого поля;
- в оценке собственных полевых опытов (On-field-Research) и экономических результатов предприятий;
- при определении стратегий дифференцированного хозяйствования.

Карты урожайности составляются как точечные, растровые, карты относительной урожайности либо изокарты урожайности.

Участки поля с разной урожайностью окрашиваются в соответствующий цвет. При классификации данных измерений для составления карт урожайности невозможно выбирать диапазон классов слишком узким. Например, у озимой пшеницы при точности показателей измерения 0,4 т/га (5 % от средней урожайности 8 т/га) нецелесообразно брать классы ее 0,5 т/га. Число образуемых классов зависит от планируемого использования карт урожайности. Обычно их число от минимальных до максимальных значений урожайности ограничивают 5–7, а в большинстве случаев достаточно 3–5 классов.

Точечные карты урожайности являются первоначальным этапом в составлении карты урожайности. На них указывают отдельные точки измерения урожайности. По степени окрашенности можно определить, на каких участках поля собраны высокие или низкие показатели урожая. Они позволяют производить быстрый визуальный контроль урожайности по полю и получить информацию о тех местах, где совершены технические ошибки при измерении урожайности, так как такие точки в значительной степени отличаются по окраске от соседних. После визуального контроля ошибочные показатели измерения можно исключить из данных для программы составления карт урожайности.

Точечные карты представляют лишь данные об урожайности в точках измерения. Для оценки урожайности на определенной площади поля необходимо интерполировать эти данные, т. е. связать данные из разных точек измерения и объединить их в процессе расчета. Для этого производят растровую разбивку площади (рисунок 21).

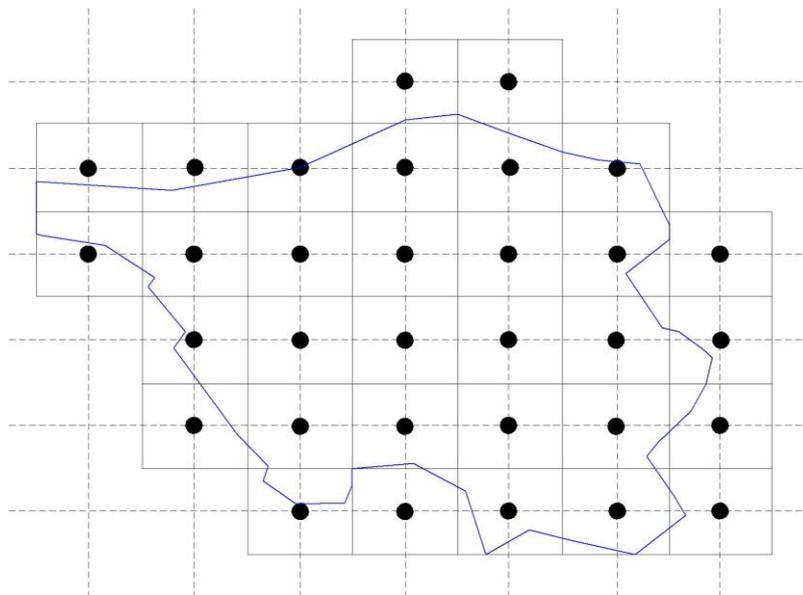


Рисунок 21 – Схема раstra для составления интерполированных карт урожайности

Расстояние между центрами растровых клеток можно выбирать произвольно, но на практике рекомендуется выбирать его не менее ширины захвата уборочной техники. Для каждого центрального пункта растровой клетки оценивают урожайность по соседним показателям измерения. Показатели измерений точек, расположенных ближе к центру растровой клетки, имеют при этом большее значение, чем показатели более удаленных точек. Результаты оценки урожайности в каждом центральном пункте растровой клетки распространяются на всю окружающую площадь до следующего раstra. Таким образом составляются растровые карты урожайности. Квадраты вокруг центральных пунктов растровых клеток заполняют с помощью программного обеспечения разными красками. Размер раstra выбирают в зависимости от цели использования карт. Чем больше размер раstra и, следовательно, число учтенных показателей измерения, тем более «гладкой» будет карта, и отдельные ошибочные значения станут неважными.

Изокарты урожайности также составляют с помощью интерполяции показателей урожайности. Изолинии на этих картах ограничивают площади с одинаковой урожайностью, что позволяет наглядно представить, какие участки в пределах данного поля различаются по урожайности и какова степень этих отличий.

Для максимальной точности сравнения карт урожайности разных лет или выращиваемых культур составляют карты относительной урожайности. При этом средний показатель урожайности поля соответствует показателю 100 %. Площади с более высокими или более низкими показателями урожайности окрашивают соответственно по-разному.

В зависимости от набора датчиков уборочной техники, накопленные во время уборки данные измерений используют для составления других карт, например, влажности зерна, содержания протеина или сухой массы.

Составление карт урожайности является важным элементом управления хозяйством. Оно помогает получить достаточный объем знаний о данном поле для того, чтобы:

- проанализировать наиболее слабые места и найти причины их возникновения;
- решить растениеводческие и агротехнические проблемы;
- составить карты выноса питательных веществ;
- подготовить и провести землеустроительные работы;
- установить границы полей для эффективного управления ими (Management Units).

Однако как показывают практика и результаты опытов, проведенных в полевых условиях (On Field Research) в разных европейских странах, на основе данных многолетних карт урожайности невозможно предсказывать будущие показатели урожая с их распределением по полю и проводить на их основе такие мероприятия, как дифференцированное внесение азотистых удобрений, регуляторов роста, гербицидов и фунгицидов и в конечном счете планировать урожайность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Точное земледелие : учеб. пособие / Е. В. Труфляк, Е. И. Трубилин, В. Э. Буксман, С. М. Сидоренко. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 376 с.
2. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture) : учеб.-практ. пособие / под ред. Д. Шпаара, А. В. Захаренко, В. П. Якушева. – СПб. : Пушкин, 2009. – 397 с.
3. Интеллектуальные технические средства АПК : учеб. пособие / Е. В. Труфляк, Е. И. Трубилин. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 266 с.