

ОБЗОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Министерство мелiorации и водного хозяйства СССР
Научно-производственное объединение САНИИРИ
Среднеазиатский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский институт ирригации
им. В. Д. Журина (САНИИРИ)

Программирование урожая (системный подход в приложении к мелиорации)

УЗНИИНТИ Госплана УзССР
Ташкент — 1989

ТС-318
631.5

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР
Научно-производственное объединение САНИИРИ

Среднеазиатский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт ирригации им. В.Д. Журина (САНИИРИ)

В.А. Духовный, С.А. Нерозин

633.511:631.599.001.18

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЯ

(системный подход в приложении к мелиорации)

(обзор)

Научно-исследовательский институт научно-технической информации
и технико-экономических исследований Госплана Узбекской ССР

Ташкент - 1989

Программирование урожая (системный подход в приложении к мелиорации) (обзор). Духовный В.А., Нерозин С.А. — Ташкент: УЗНИИПТИ, 1989.

Излагаются пути создания системы управления в сельскохозяйственном производстве и использования ее при программном выращивании хлопчатника. Рассматриваются теоретические аспекты управления плодородием орошаемых земель и продуктивностью растений. Табл. 4, рис. 12, библиогр. 19 назв.

Рецензент Х.З. Турсунов

ВВЕДЕНИЕ

Один из путей успешного решения задачи по получению высоких и стабильных урожаев на орошаемых землях — широкое внедрение метода программирования урожая сельскохозяйственных культур.

Программирование урожая (ПУ) — это разработка комплекса взаимосвязанных агротехнических и мелиоративных мероприятий, своевременное и высококачественное выполнение которых обеспечивает получение заранее рассчитанного урожая при одновременном повышении почвенного плодородия и улучшении экологической обстановки. Метод программирования урожая исходит из того, что на каждом конкретном поле можно запланировать урожай и обеспечить его получение путем учета всех почвенно-климатических факторов, дифференциации агротехнических и мелиоративных приемов оптимального использования материальных, технических и трудовых ресурсов.

В Узбекской ССР можно получать урожай хлопка-сырца 40–50 ц/га, сена люцерны 180–200, зерна кукурузы 80–100, риса 55–65 ц/га. Об этом свидетельствуют многочисленные опытные данные научных учреждений, проведенные в различных почвенно-климатических условиях республики, а также опыт передовиков производства. Однако существенный разрыв в урожаях, получаемых в опытных посевах и в условиях производства, предполагает, что еще далеко не в полной мере используются достижения современной науки. Это вызвано также чрезвычайным разнообразием почвенных и других природных условий, организационно-техническими, экономическими и социальными условиями конкретного хозяйства. Вместе с тем результаты анализа деятельности колхозов и совхозов говорят и об отдельных нарушениях технологической дисциплины, связанных со сроками и нормами сева, внесением удобрений, качеством поливов, междурядных обработок и т.д. Метод программирования урожая призван сделать работу целенаправленной, повысить технологическую дисциплину, обеспечить более эффективное использование

почвенно-климатических ресурсов, выделенных средств на механизацию, химизацию и механизацию, улучшить экономику колхозов и совхозов, оплату труда колхозников и рабочих.

Проблема ПУ уже перестала быть теоретической. Накоплен достаточный опыт использования научных разработок по программированию в Ростовской, Волгоградской, Саратовской областях и в Ставропольском крае. Зарубежный опыт (ГДР, Болгария, Голландия, США, ФРГ) также свидетельствует о постоянном развитии методов ПУ и их высокой эффективности.

Именно поэтому в 1985 г. комиссией по агропромышленному комплексу при Совете СССР принято решение о внедрении метода программирования урожаев в сельскохозяйственную практику страны на площади 3,34 млн. га. По Узбекистану площади под ПУ к 1990 г. должны составить 556 тыс. га, из них 200 тыс. га отведены под хлопчатник, 210 тыс. — под кукурузу, 13 тыс. — под рис, 30 тыс. — под люцерну, 3 тыс. — под овощи.

Практическое осуществление ПУ представляет собой сложную многоплановую задачу, поскольку предполагает учет многофакторной, непрерывно меняющейся ситуации сельскохозяйственного производства, включающей слабо прогнозируемый характер погодных условий, сложные и во многом неопределенные реакции растений на воздействие комплекса факторов внешней среды, а также экономические аспекты.

"Программирование урожаев" не есть создание, как многие полагают, максимально возможного в данных условиях урожая только в следствие того, что даны участки, массивы, площади или даже целые регионы включены в развернутую по всей стране кампанию борьбы за программирование урожаев. Такое примитивное понимание этого термина привело к тому, что во многих организациях создается мнение, что, лишь включившись в эту кампанию, интенсивно "размахивая ее знаменем", можно без особых трудов, усилий и затрат добиться таких колоссальных результатов, каких до сего времени не дали огромные капиталовложения в сельское хозяйство.

Эти надежды не оправдались. Зачастую надуманные "результаты работы на программированных участках за 1985-1989 годы" показали не реальность их, несмотря на приводимые порой огромные цифры охвата площадей и эффекта по сравнению с прошлыми годами или по сравнению с "непрограммируемыми" площадями. Всякому мало-мальски знакомому с процессом программирования было ясно, что эти безосновательные и кампанейские попытки выдать желаемое за достигнутое не есть настоя-

мая работа по программированию урожая.

Работа по ПУ есть не что иное как создание и внедрение АСУ ТП в растениеводство, в земледелие, причем на первом этапе не столько автоматизированной системы управления управленческими процессами в земледелии, сколько системы управления ТП вообще. Польза от создания и внедрения именно системы управления состоит в том, что она позволяет достаточно грамотному коллективу специалистов с хорошим уровнем организации иметь перед собой программу действий на все случаи возможных природных, хозяйственных и организационных отклонений от оптимальных условий, оптимальной технологической последовательности, объемов, графиков и сроков работ и с минимальными потерями продуктивности преодолевать эти трудности. Более того, такая система, будучи как бы всеобъемлющим сводом "ноу-хау" в земледелии, позволяет и менее опытному, но старательному специалисту не идти методом "проб и ошибок", накапливаемых годами, а сразу освоить этот опыт с помощью инструкций для системы управления технологическими процессами (СУТП).

Понятно, что уже на этапе СУТП программирование урожая позволит поднять уровень реальных возможностей плодородия земли и урожая сельскохозяйственных культур в зависимости, с одной стороны, от природных условий, дифференцированных как по площади, так и по времени, с другой — от уровня технологической дисциплины, материальной обеспеченности, квалификации кадров и пр.

Важнейшие преимущества АСУ ТП в том, что она требует значительной организованности не только от ее разработчиков, но и от всех участников технологического процесса, включая производственников, что она поддерживает и стимулирует повышение дисциплины, технического уровня и квалификации всех работников хозяйств и производственных организаций, участвующих в системе ПУ.

В современных условиях программирование урожая может значительно расширить сферу своих управленческих воздействий на все составляющие РАО, подчинив их основным требованиям повышения продуктивности земледелия на обслуживаемых РАО угодьях.

В нашей стране программирование урожая получило значительное развитие, в первую очередь, благодаря работам И.С. Матильова, Х.Г. Тромбинга, Н.Ф. Болдаренко и всего коллектива Агрофизического института (АФИ) (С.В. Нериси, Р.А. Полуэктова, В.А. Платонов, И.А. Усков и др.), а также трудам И.Ф. Камкова, О.Д. Сиротенко, Е.П. Галкина и др. [1-8]. Следует иметь в виду, что опыт развернутого програм-

мирования урожая накоплен лишь в отдельных опытных хозяйствах АФН на площади 5,0 тыс. га, а остальными организациями пока охватываются лишь отдельные аспекты этой огромной системой работы.

Создание систем программирования урожая не следует смешивать с проблемой управления факторами жизни растений, которая в десятой пятилетке усиленно разрабатывалась в сельскохозяйственной и мелиоративной научной тематике применительно к управлению отдельными растениями. Модели, создаваемые в процессе этой работы, имели целью выяснить влияние различных природных и антропогенных факторов на поведение растения. Бесспорно, отдельные фрагменты этой работы могут и должны быть использованы при решении проблемы по ПУ, но главная задача программирования урожая — получение максимально возможного и экономически обоснованного урожая в производственных условиях, с определенной степенью неоднородности природных условий, при невозможности одновременно и строго в определенный срок произвести все технологические операции, с учетом многих стохастически возникающих факторов. При всей сложности проблемы современное земледелие имеет возможность в значительной степени управлять большинством из этих факторов. В первую очередь, это относится к арсеналу сортов, видов сельскохозяйственных культур, к средствам и технологическим процессам их возделывания. Мелиорированное земледелие позволяет, кроме того, управлять с помощью дренажа и орошения водно-воздушным и в некоторой степени тепловым режимами приземного слоя и почвогрунтов. Более того, мелиорация дает в руки земледельцев возможность управлять долговременным плодородием почв, что и должно быть учтено при создании системы программирования урожая на мелиорированных землях.

Программирование урожая как часть автоматизированной системы управления сельскохозяйственным производством, ведающая управлением технологическим процессом выращивания сельскохозяйственных культур, есть совокупность организационных, технических, информационных и управленческих мероприятий, которая должна обеспечить максимально возможную экономически целесообразную продуктивность данной культуры в конкретных почвенно-климатических условиях при использовании определенных материальных и людских ресурсов.

Программирование урожая всех культур позволит перейти в масштабе хозяйства к АСУ ТП в хозяйстве, в масштабе района — к АСУ земледелием РАПО и т.д.

Методической основой программирования является системный подход, основанный на рассмотрении данного процесса с позиции управления большими системами. В.А.Платонов и А.Ф.Чудиновский [3] доказы-

вают правомерность такого решения, учитывая присущие процессу управления сельскохозяйственным производством следующие основные черты:

- невозможность описания всей системы формальными математическими моделями;
- необходимость описания части системы специальными приемами;
- отсутствие или нечеткое знание многочисленных критериев управления;
- наличие в системе людей, обладающих свободой действий в пределах их прав;
- наличие многочисленных помех и второстепенных деталей;
- невозможность воспроизвести экспериментально все возможные сочетания ситуаций и необходимые реакции на них.

В связи с этим предусматривается следующая этапность разработки "Программирования урожая" как сложной системы:

- 1) выделение границ исследуемой системы и ее места в общей проблеме;
- 2) определение структуры состава элементов и связей между ними;
- 3) агрегирование элементов и построение системы иерархии подсистем и блоков и т.д.;
- 4) анализ и классификация задач, решаемых на разных временных уровнях;
- 5) выявление состава и взаимосвязей подсистем;
- 6) создание комплекса моделей;
- 7) построение схем комплекса оптимальных управлений на каждом уровне.

ГРАНИЦЫ ПОДСИСТЕМЫ "ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЯ" И ЕЕ МЕСТО В ОБЩЕЙ ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

В соответствии с задачами, которые стоят перед ПУ, это одна из ведущих подсистем в автоматизированной системе управления сельскохозяйственным производством хозяйства — АСУ хозяйством. Естественно, как в любой АСУ социалистического предприятия, в ней должны быть подсистемы, охватывающие виды деятельности этой организационной ячейки нашего общественного производства в соответствии с его внутрихозяйственным разделением труда. С этой точки зрения мы обязаны выделить восемь (а в перспективе — и девятую) подсистемы, охватывающих основные службы хозяйства (рис.1, табл.1).

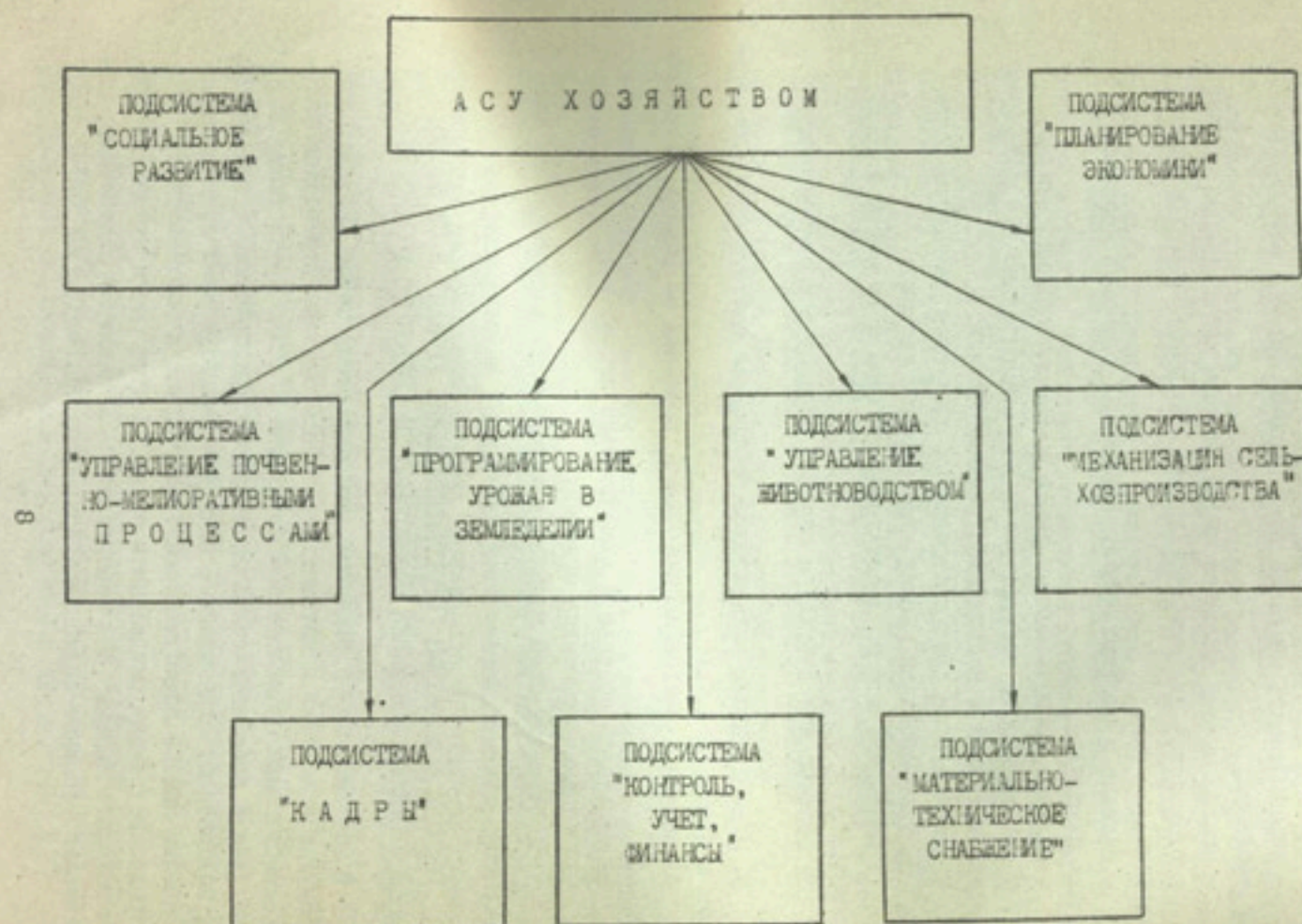


Рис. 1. СОСТАВ ПОДСИСТЕМ АСУ ХОЗЯЙСТВОМ

Таблица I

Подсистема	Цель	Ответственное подразделение
Создание ПУ в земледелии	Рациональное управление выращиванием сельскохозяйственных культур в хозяйстве и получение высоких урожаев	Службы главного агронома
Управление животноводством	Получение заданной продукции животноводства	главного зоотехника
Механизация сельскохозяйственного производства и транспорта	Обеспечение технологических процессов необходимым уровнем механизации и транспортом	главного инженера-механика
Управление почвенно-мелиоративными процессами	Создание необходимых водно-воздушного и водно-солевого режимов почв и планомерное повышение плодородия с помощью комплекса гидромелиоративных мероприятий	главного инженера-мелиоратора и почвенной службы
Материально-техническое обеспечение	Поставка и снабжение всеми необходимыми материалами, удобрениями, сельскохозяйственной техникой и т.д.	Отделы снабжения и главного механика, заместитель директора по общим вопросам
Кадры	Привлечение, подготовка и совершенствование квалификационного уровня кадров	Отдел кадров
Планирование и экономика	Создание систем низового планирования с целью обеспечения роста эффективности сельскохозяйственного производства	Главный экономист
Контроль, учет, финансы	Обеспечение финансирования и контроль за всеми функциональными службами	Главный бухгалтер, диспетчерская служба
Социальное развитие	Создание условий для повышения благосостояния работников	Директор, заместитель директора по быту, партком, профком

Подсистема "Программирование урожаев в земледелии" объединена со всеми остальными подсистемами в АСУ хозяйством как требованиями, так и обеспечивающими, ограничивающими и технологическими связями. Так, подсистемы "ПУ в земледелии" и "Управление животноводством" связаны между собой требованиями на корма и возможности обеспечения почв навозом. К подсистеме "Управление почвенно-мелиоративными процессами" основная подсистема - ПУ - предъявляет, с одной стороны, требования по влагообеспеченности посевов и мелиоративному состоянию земель, а с другой - определяет возможный уровень плодородия почвы и меры по его наращиванию; обе эти подсистемы определяют требования к обеспечивающим подсистемам относительно кадров, техники, транспорта, материально-технического снабжения, финансового обеспечения и т.д.

Программирование урожая как комплексный процесс управления плодородием земель в интересах получения урожая не ограничивается лишь собственно программированием в земледелии, а охватывает и почвенно-мелиоративную, механизированно-технологическую и экономическую и даже финансовую стороны, которыми занимаются соответствующие подсистемы.

Установление состава элементов и детальных связей между ними более четко определит и границы процесса программирования во всех подсистемах АСУ хозяйством.

В то же время предлагаемое построение АСУ хозяйством по подсистемам предопределяет структуру увязки с будущим АСУ РАПО (рис. 2) с его основными 14 подсистемами, с которыми устанавливаются либо функциональные, либо подчиненные и обеспечивающие связи.

СТРУКТУРА СОСТАВЛЯЮЩИХ И СВЯЗИ МЕЖДУ НИМИ

Процесс программирования урожая затрагивает, как уже указывалось, несколько подсистем АСУ хозяйством.

Для оценки структуры и взаимосвязей всех подсистем возьмем за основу методику И.С.Шатилова и А.Ф.Чудновского [1], которые в качестве базиса закладывают три аспекта-агрометеорологический, агрофизический и агротехнический, исчерпывающие в основном задачи "АСУ ПУ в земледелии". При этом рассматриваются не отдельные факторы, а технологические процессы, протекающие на фоне изменяющейся агрометеорологической обстановки, воздействующей на агрофизические условия почв, приземного воздуха и самого растения.

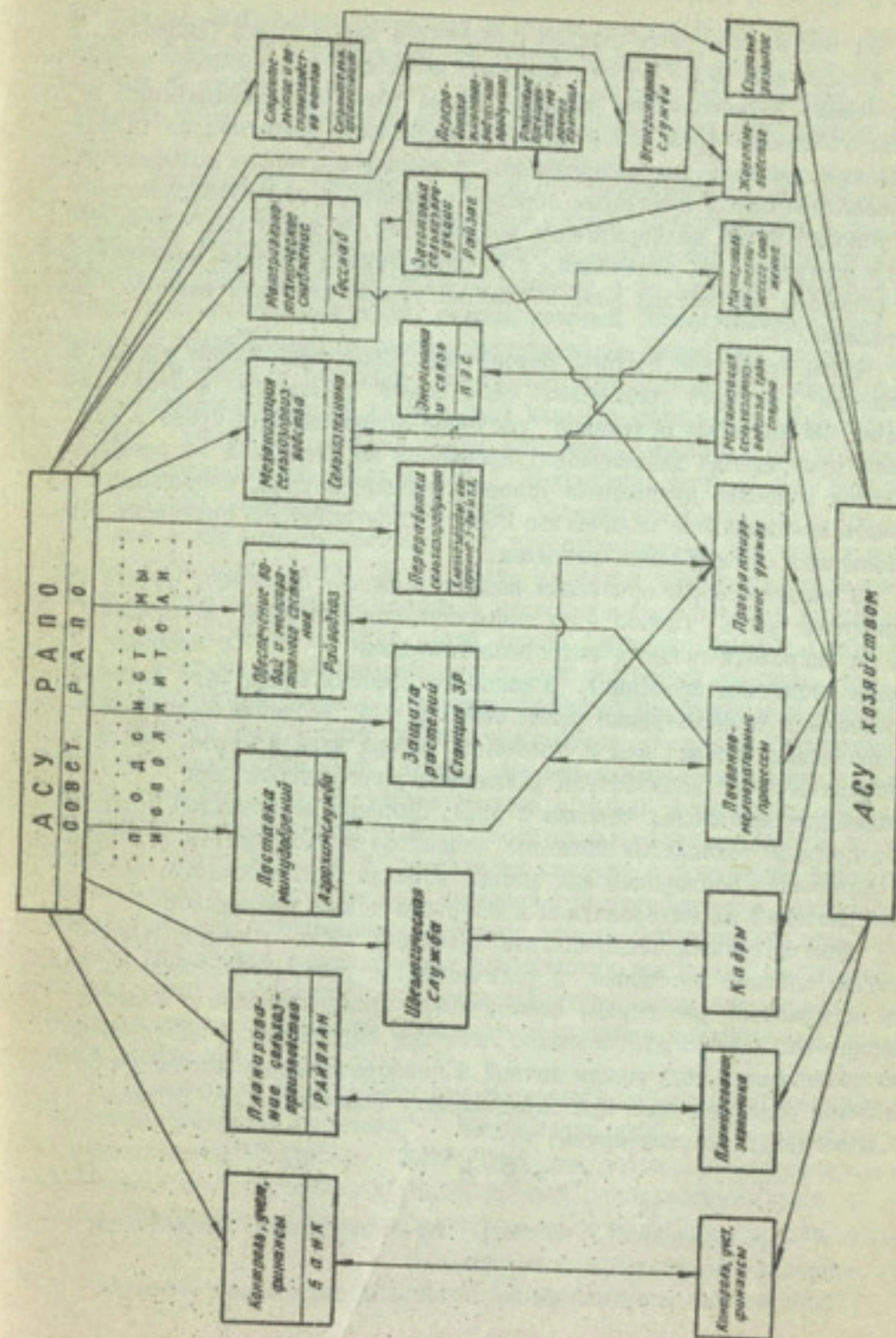


Рис. 2. СОСТАВ ПОДСИСТЕМ АСУ РАПО

На наш взгляд, этот подход справедлив для текущей (данного года) оценки АСУ III, но он не учитывает возможности изменений плодородия земель в многолетнем разрезе. Кроме того, программирование в составе указанных трех аспектов все воздействия возлагает на технологические процессы, их оптимизацию, оставляя в стороне возможность приспособляться и некоторым образом изменять и агрометеорологические условия путем мелиоративных воздействий, а также многолетнего подбора культур и их сочетаний, т.е. включения в систему мелиоративных процессов как метода воздействия на урожай не менее важного, чем агротехника.

Чтобы правильно строить подсистему "Программирование урожая в земледелии", следует представить себе объект управления в этой подсистеме. Им является сочетание "растение-почва-внешняя среда", где по мере прохождения динамических процессов на площади и во времени создаются наиболее приемлемые условия взаимодействия, позволяющие получать максимальное количество сельскохозяйственной продукции при ограниченных общественных затратах.

В вышеуказанном сочетании внешняя среда - наименее, но все же управляемая часть (слабо - по климатическим условиям, в большей мере по гидрологическим и гидрогеологическим с помощью дренажа и системы орошения). В какой-то степени могут быть внесены коррективы в температурный режим почвы и т.д. Растение - достаточно управляемый объект как в отношении выбора вида и сорта, так и непосредственного воздействия различными агротехническими приемами (прореживание, чеканка и пр.). Главным же объектом управления с помощью технологии является почва, ее плодородие. В.В.Егоров [9] определяет плодородие как удовлетворение биологического потенциала растений их материальным и энергетическим требованиям.

Действительно, материальное питание (NPK, гумус, микроэлементы) должно постоянно, в количестве, строго необходимом по режиму переработки растением, обеспечивать продуцирование с помощью фотосинтеза. Однако это возможно лишь при определенном энергетическом потенциале, получаемом почвой и непосредственно растением от солнечной радиации лишь при определенном наличии влаги. Согласно В.Р.Волобуеву, энергия почвы

$$Q_n = R \cdot e^{-k_n \cdot x_n} \quad (I)$$

где R - радиационный баланс; k_n - коэффициент увлажнения; e - основание натуральных логарифмов.

Одновременно энергетический потенциал определяет развитие

биоты, скорость движения влаги в растении и почве, а отсюда и поступление питательных веществ, углеродно-кислородный обмен, разложение удобрений в доступную для растений форму и т.д. Вода при этом играет не менее важную роль, так как переводит все вещества в растворимую форму, работает в фотосинтезе, регулирует температуру растения и т.д.

Урожайность зависит не только от биологических способностей растений и сортов в сочетании со своими материальными и энергетическими потенциалами, но и от способности почвы поддерживать стабильность требований растений во времени и по площади. Во-первых, почва должна быть фильтром, сквозь который "процеживаются" все внешние воздействия: радиация, материальные вещества, влага - прежде, чем попасть к растению. Во-вторых, она должна быть демифером, сглаживающим благодаря характерной для нее буферности, инертности резкие изменения внешней среды (например, температура, содержание и минерализация влаги и т.д.). В-третьих, почва - это резервуар, позволяющий растениям и самой почве постепенно расходовать из своих запасов влагу, тепло, питательные вещества длительный период между их поступлениями извне. Почва также является реактором, перерабатывающим тепловую энергию солнца в кинематическую энергию движения растворов, в живую энергию роста клеток. Наконец, почва - гигантская и постоянно действующая кухня, где готовится та пища, тот "физиологический раствор", которой снабжает растения и одновременно поддерживает биоту, саму по себе являющуюся не только "приправой", но и производителем этой "пищи". Все эти функции выполняются почвой в зависимости от ее механического состава, структурно-агрохимических и агрофизических свойств, содержания солей, гумуса и т.д. Поэтому, если цель АСУ III земледелия состоит в получении максимально возможного урожая при ограниченных или экономически целесообразных совокупных общественных затратах, то достигается это при оперативном управлении с помощью технологических процессов энергетическим и материальным питанием растений через почву при постоянном контроле за ее состоянием с помощью управления почвенно-мелиоративными процессами.

Подсистема "Программирование урожая в земледелии" разбивается на блоки "Развитие растений", "Агрофизический", "Агрометеоблок" и "Технологический" (рис.3). Блок "Развитие растений" описывает как бы "эталонные" растения, характерные для определенного поля. В этом блоке должны быть приведены характеристики культуры и сорта, указа-

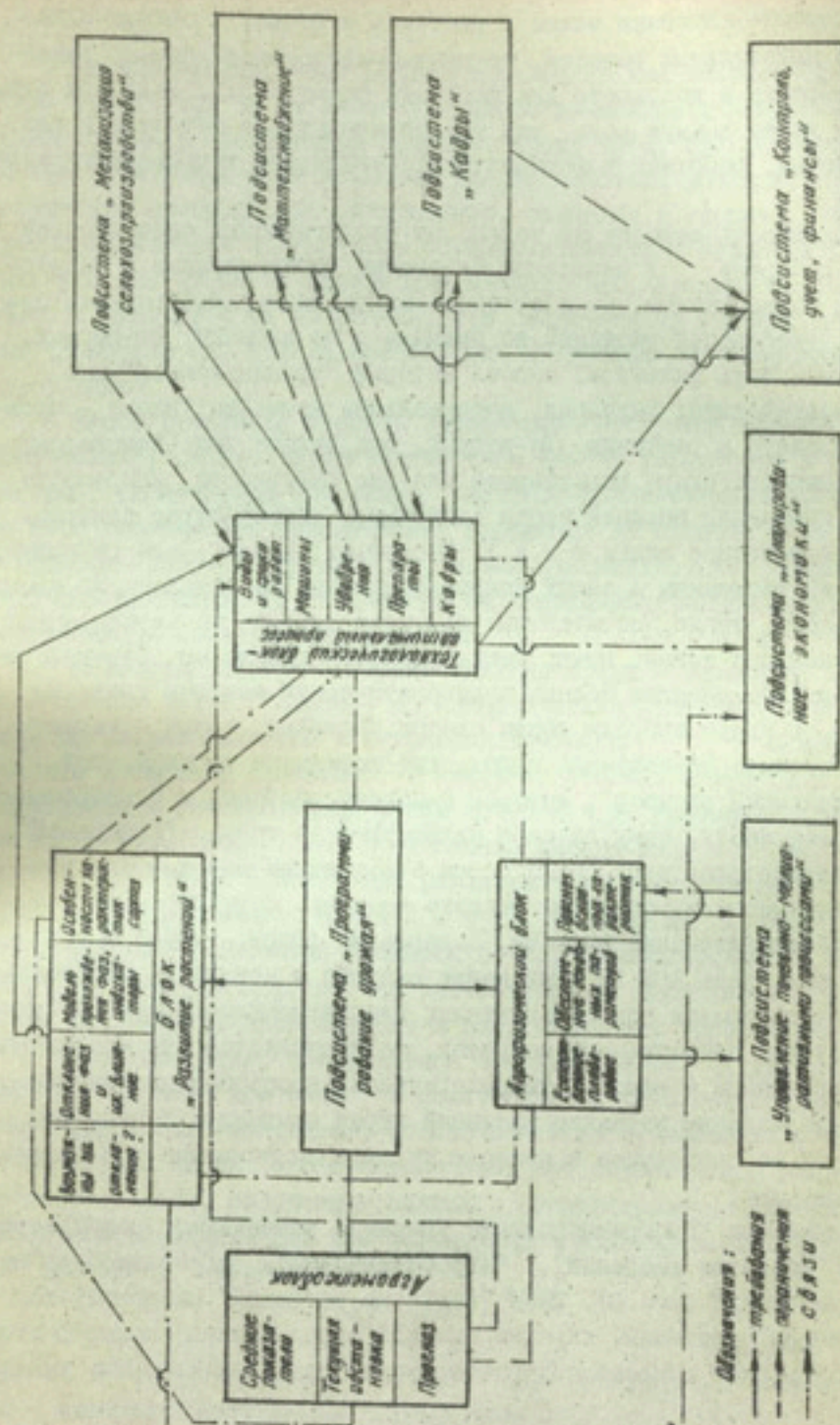


РИС.3. ПОДСИСТЕМА "ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЯ"

ны особенности прохождения ими фаз, влияние возможных отклонений во внешних (погодных) и антропогенных условиях на прохождение фаз и, в конечном счете, на урожай. На основе этих составляющих данного блока формируются требования к блоку "Технологический" и связи, определяющие влияние всех указанных характеристик и отклонений на возможные управляющие воздействия в этом блоке. "Агрометеоблок" дает характеристики средне многолетних и экстремально возможных по реальным условиям местности отклонений в метеоусловиях, оценку текущей обстановки и прогноз её. Характеристика текущей обстановки влияет на оценку стандартного прохождения фаз и возможных отклонений в блоке "Развитие растений", а также в "Агрофизиологическом" блоке, а оба они позволяют выработать требования в блоке "Технологический" к подсистемам "Механизация сельскохозяйственного производства", "Материально-техническое снабжение", "Кадры", каждая из которых создаёт обратную связь в виде возможности удовлетворения этих требований как ограничения. Эти ограничения вновь воздействуют на блок "Технологический" и через него на "Агрофизиологический" и "Развитие растений", требуя оценки той обстановки, которая складывается в них при этих ограничениях, удовлетворяющих первичные требования лишь частично. Если альтернативное решение по удовлетворению требований невозможно, производится корректировка конечного урожая.

В блоке "Агрофизиологический", взаимодействующем в основном с подсистемой "Управление почвенно-мелиоративными процессами", дается оценка естественного плодородия, возможных мер по его наращиванию в долгосрочном (многолетнем) плане, информация о состоянии системы "почва-растение-атмосфера" с учетом мелиоративных воздействий в подсистеме "Почвенно-мелиоративные процессы" (орошение, дренаж, комплексные мелиорации), формируются информация к блоку "Развитие растений", требования к удобрениям, агротехнике и др.

Наконец, блок "Технологический" вместе с подсистемой "Управление почвенно-мелиоративными процессами" определяет состав нормативных затрат в подсистеме "Планирование и экономика" с учетом их возможных отклонений, а блок "Развитие растений" дает размер возможного конечного урожая, его качество, снижение или повышение при соответствующем уровне естественного плодородия на основе задач подсистемы "Управление почвенно-мелиоративными процессами". В подсистему "Контроль, учет, финансы" постоянно поступает информация обо всех затратах в хозяйстве и его подразделениях, об их отклонениях от планируемых в подсистеме "Планирование и экономика" и о необходимости (или возможности) принятия мер по их приведению в по-

рядок.

Блок "Технологический" должен описать технологический процесс (посев, внесение удобрений, полив, культивацию, чеканку и т.д.) таким образом, чтобы он полностью соответствовал требованиям блока "Развитие растений". Здесь, однако, следует учесть три особенности технологических процессов:

- каждая технология рациональна лишь постольку, поскольку она соответствует тому оптимальному диапазону условий, для которых создана. Более того - чрезмерное опережение или опоздание или просто несовпадение заданных и фактических условий процесса грозит не улучшением, а ухудшением произрастания растений. Например, запоздание с последним поливом хлопчатника до 25 августа - 5 сентября приводит к отращиванию листа, ненужному накоплению вегетативной массы, срыву эффекта дефолиации, удлинению фазы плодообразования и, в конечном счете, к снижению урожая; при преждевременном же поливе ухудшается аэрация, нарушаются фотосинтез и отдельные биотические процессы, происходит вынос удобрений, гумуса и т.д.;

- отдельные технологические процессы воздействуют не только положительно, но и отрицательно. Такое отрицательное влияние необходимо знать и предотвращать. Например, глубокая (до 45 см) пахота с оборотом пласта приводит к углублению активного слоя, улучшению аэрации, структуры, снижению засоренности, вовлечению гипса в эту зону. В то же время такая пахота резко ухудшает микробиологическую деятельность, структуру поверхностного слоя, снижает плодородие верхнего горизонта почвы;

- любая технология затратна, поэтому выбор технологии есть всегда оптимизационная задача минимизации затрат при максимуме прироста продуктивности.

Отсюда в блоке "Технологический" мы должны дать ответ на следующие вопросы.

1. Каковы оптимальные условия, время и интенсивность того или иного процесса и каков диапазон возможных отклонений, как они влияют на развитие растений и как это отражается на конечной продуктивности?

2. Каковы возможные отрицательные функции и последствия каждого технологического процесса, какова их формализация?

3. Какова затратная функция технологического процесса?

Нужно учесть, что в реальных хозяйствах отклонения в прохождении каждого технологического процесса уже определены масштабами временного и площадного стохастизма при проведении сельскохозяйст-

венных работ, и это также должно учитываться связью между блоком "Технологический" и подсистемой "Механизация сельскохозяйственного производства и транспорта".

Особое место в процессе ПУ занимает подсистема "Управление почвенно-мелиоративными процессами", включающая

- оценку естественного плодородия и выработку долгосрочных мер по его повышению на основе комплексных мелиораций;

- создание оптимальных текущих почвенно-мелиоративных условий, удовлетворение требований блока "Агрофизический" по влажности и засоленности путем соответствующих мелиоративных воздействий (орошение и дренаж).

На этой основе устанавливаются требования к капитальным мелиоративным, а также ежегодным агротехническим и мелиоративным работам, к проведению поливов, уходу за дренажем и к другим эксплуатационным мероприятиям по мелиоративной сети и текущим культурно-техническим работам.

ОСНОВНЫЕ УРОВНИ ПРОДУКТИВНОСТИ, АГРЕГИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОСТРОЕНИЕ ИЕРАРХИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В соответствии с теоретическими положениями И.С.Шатилова, А.Ф.Чудиновского, В.А.Платонова, Р.А.Полуэктова мы приняли следующие основные уровни продуктивности земель:

ПУ - потенциальный урожай, где учтены долгосрочные показатели зонального и почвенного плодородия;

ДПУ - действительно возможный урожай, где дана оценка максимально возможной технической урожайности в условиях данного климатического года;

УХ - урожай хозяйства, где приведена оценка возможного урожая в хозяйстве, находящегося под воздействием реально складывающихся условий прохождения отдельных фаз развития растений в данном году;

РУ - реальный урожай, сложившийся с учетом всех технологических и управленческих воздействий, фактически проведенных в текущем году работ и отклонений от оптимума.

Задача программирования урожая может быть сведена к выражению

$$PYL_{im} \rightarrow UXL_{im} \rightarrow DBYL_{im} \rightarrow PY.$$

В такой постановке сама проблема управления урожаем распадается на долгосрочные мероприятия, определяющие ПУ, среднесрочные мероприятия, определяющие ДПУ, мероприятия данного года, оценивающие УХ, и оперативно-организационные мероприятия, следствием которых яв-

ляется РУ.

Соответственно каждому уровню продуктивности должна строиться информационная и управленческая части системы (включая нормативную и текущую информацию).

Прежде чем перейти к детальному рассмотрению АСУ ТП, остановимся на описании отдельных этапов формирования продуктивности земель. При этом следует иметь в виду, что на уровне сельскохозяйственного предприятия, по И.С.Шатилову и А.Ф.Чудновскому, "рутинные" стандартные задачи занимают 40 %, структурированные (массового обслуживания и оптимизационные) - 26, слабо структурированные - 24, особо сложные, непредвиденные, структуризация которых невозможна, - 10 %. Таким образом, мы можем рассчитывать на формализацию лишь двух третей всех задач управления технологическими процессами. Следует отметить, что лишь часть задач на разных уровнях будет совпадать.

Размер $\Pi У$ определим с учетом предложения А.А.Нечипоровича [10] и введением поправки на бонитет.

$$\Pi У = \frac{\Sigma Q}{q} q_0 \cdot f_i(\epsilon) K_\epsilon \quad (2)$$

где ΣQ - суммарный приход ФАР за вегетацию, ккал/см² (для Средней Азии - 50+80);
 q - калорийность фитомассы данной культуры ($\approx 4-4,5$ ккал/г);
 q_0 - КПД фотосинтеза данного сорта ($\approx 1 \pm 5$ %);
 K_ϵ - коэффициент перехода от фитомассы к урожаю;
 $f_i(\epsilon)$ - функция, учитывающая влияние на продуктивность долговременных показателей бонитета, в том числе гумусности, механического состава, структуры почвы, развития микроорганизмов, т.е. показателей, которые могут измениться лишь в течение длительного времени.

Так, для повышения гумусности почв требуется интенсивное внесение навоза совместно с внедрением севооборотов на базе многолетних трав; улучшение структуры требует также наряду с внесением навоза рыхления, пескования, целевания, химизации и т.д.

В основу поправки на бонитет принимаем рекомендации УзНИИГА [11] с учетом методики, разработанной ГИЗРом, с вычленением факторов, которые могут быть улучшены в течение года.

Отсюда строится план долговременных мероприятий по повышению

ПУ в данном хозяйстве, зоне. Они должны включать меры по повышению бонитета за счет снижения q и повышения КПД фотосинтеза.

При оценке потенциальной продуктивности урожайности земель, как справедливо указывают И.С.Шатилов и А.Ф.Чудновский [1, с.77-79], большое значение играет подбор культур в севообороте, который позволяет максимально использовать ФАР данной зоны и получать максимально возможную в данных условиях фитомассу.

Известно, что каждый килограмм сухой органической массы аккумулирует в среднем 4000 ккал. Для каждой зоны известна суммарная радиация S , а также ФАР ($\approx 45-50$ % S). Определенное количество ФАР в каждой фазе развития растений дает определенный прирост фитомассы. Каждый сорт в зависимости от степени удовлетворения различных агрофизических условий потребляет различный процент ФАР - от I до 3.

Отсюда фитомасса в среднем

$$FM = \frac{\Sigma Q_0}{q} \quad (3)$$

Таким образом, если ФАР в Средней Азии достигает 7 млрд. ккал/га (80 ккал/см²), то при аккумулировании 3 % ФАР может быть достигнут урожай травы (в сухой массе)

$$\frac{8 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^3} = 600 \text{ ц/га.}$$

Для наиболее полного использования радиации необходимо подбирать растения с наибольшей степенью аккумуляции ФАР (кукуруза, сорго и т.д.), что позволяет получать при всех оптимальных условиях огромные урожаи. Так, по данным Cooke [12], в мире зарегистрированы также максимальные урожаи (ц/га): кукурузы - 222, пшеницы - 145, сорго - 215, риса - 144, ячменя - 114, сои - 56.

Следует иметь в виду, что при оценке ФАР должен учитываться, видимо, не весь объем радиации за вегетацию, а лишь необходимый для потребления растением. В противном случае то количество тепла, которое вызывает перерасход влаги, излишнюю интенсивность транспирационного механизма и даже угнетение растений, засчитывалось бы в положительные свойства данной местности. А ведь известно, что даже такие теплолюбивые растения, как хлопчатник и виноград, при определенной температуре прекращают нормальное развитие.

ДВУ, как уже было сказано, - показатель, характеризующий возможность предельного получения урожая именно в данном году. Сюда должны войти показатели теплообеспеченности данного года, а также

следующие факторы урожайности, которые могут быть значительно изменены за счет проведения соответствующих профилактических или текущих работ:

- степень засоленности (изменяется управлением системой текущих, реже капитальных, промывок, режимов и уровней грунтовых вод на фоне инженерного дренажа);
- степень засоренности почвы (изменяется осуществлением мероприятий по уничтожению корней химическими способами, например, трихлорацетатом натрия или меди вместе с зябью; глубокой пахотой с нижним внутренним оборотом пласта и т.д.);
- степень обеспеченности элементами минерального питания;
- степень пораженности болезнями и вредителями;
- степень ровности фона, зависящая от почвенной однородности и уровня работоспособности оросительной сети.

$$ДВУ = ПУ \cdot K_c \cdot K_{cor} \cdot K_{MPC} \cdot K_{сол} \cdot K_{вр} \cdot K_{\phi} \cdot \frac{\sum Q_{\phi}}{\sum Q_n} \quad (4)$$

где ПУ - потенциальный урожай;

$K_c, K_{cor}, K_{MPC}, K_{сол}, K_{вр}, K_{\phi}$ - коэффициенты влияния на урожай соответственно степени засоления, засоренности поля, обеспеченности элементами минерального питания, пораженности посева болезнями, пораженности посева вредителями, ровности фона;

$\sum Q_{\phi}$ - сумма фактической ФАР;

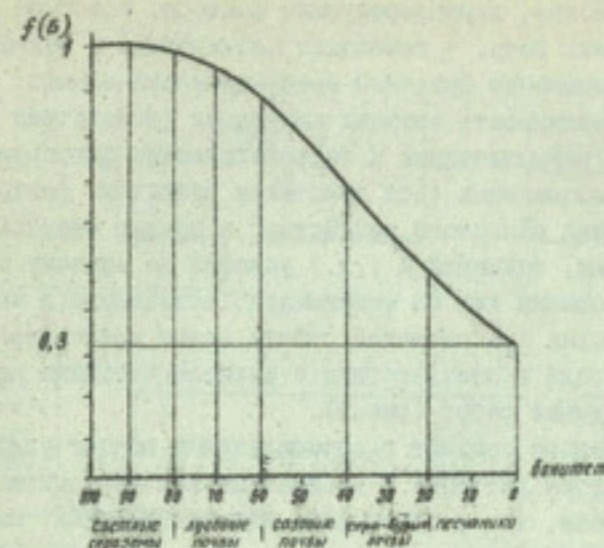
$\sum Q_n$ - сумма среднемультилетней ФАР.

Методической основой оценки указанных коэффициентов от 0 до 1 должны быть обобщения литературных данных или результатов специально поставленных опытов.

В частности, влияние минерализации почвенного раствора может быть определено на основе данных В.М. Жигостова [13] либо Р.М. Горбачева [14] и т.д. (рис. 4). Для оценки ровности фона лучше всего принять дистанционные методы с элементами по идентификации результатов наблюдений.

Отношение $\sum Q_{\phi} / \sum Q_n$ показывает обеспеченность данной культуры ФАР в реальном году в сравнении со среднемультилетними данными. При $Q_{\phi} > Q_n$ отношение следует принимать за единицу.

Основным документом, обеспечивающим переменный массив информации для определения показателей ПУ и ДВУ, является разработанный в САННИИРИ "Агромультиоративный паспорт поля". Его данные, подразделенные на две группы, - свойства, определяющие долговременное пло-



а

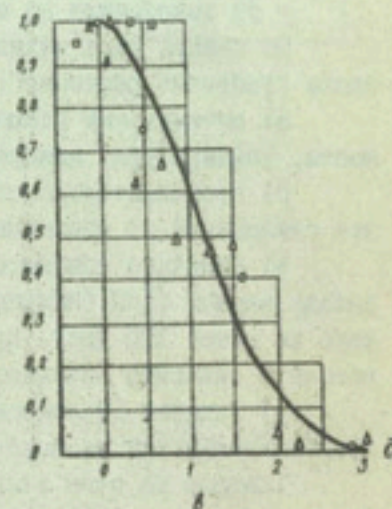
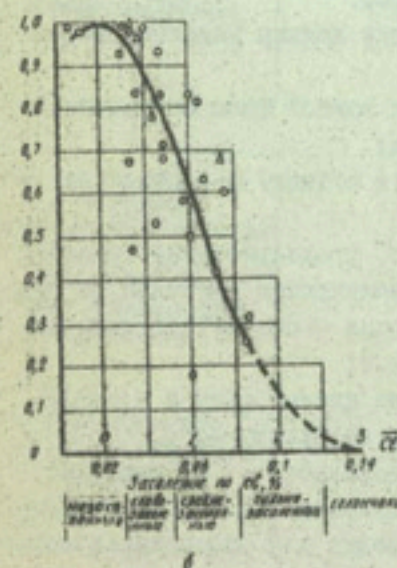


Рис. 4. Влияние бонитета (а), исходного засоления почвы по хлору (б) и токсичности солей в почвенном растворе (в) на урожайность

дородие, и свойства, характеризующие факторы, которыми можно управлять в течение года, — позволяют планировать и осуществлять мероприятия по повышению базисной продуктивности земель.

УХ — изменчивость внешних природных (вследствие вероятностного характера климатических и гидрологических факторов данного периода) и организационных (под действием различных факторов материального снабжения сельского хозяйства, в первую очередь минеральными удобрениями, техникой и т.д.) условий по каждому году-создает необходимость оценки как бы максимально возможного в конкретных условиях года урожая при отличной работе всего коллектива хозяйства, отделения, бригады в соответствии с технологическими картами и нормативами проведения работ (рис.5).

Здесь главное состоит в оптимальном в данных условиях прохождении фаз развития растений и соблюдении как контрольных параметров конца каждой фазы, так и срока фаз. Для хлопчатника, например, характерны следующие фазы:

- от посевов до появления двух-трех настоящих листочков;
- от появления третьего листочка до бутонизации;
- от бутонизации до цветения;
- от цветения до плодообразования;
- от плодообразования до созревания;
- от созревания до завершения уборки.

По каждой фазе технологи-агротехники должны установить (в блоке "Развитие растения"):

- а) оптимальные условия прохождения каждой фазы по увлажненности, температуре, минеральному питанию;
- б) продолжительность каждой фазы (в сутках) и влияние на нее отклонений от оптимума;
- в) конечные показатели нормального, предельно допустимого выхода каждой фазы (например, всходы — количество растений на гектаре не менее 120 тыс., при меньших всходах — соответственные показатели снижения конечного урожая и т.д.);
- г) влияние отклонений в прохождении каждой фазы и в общей продолжительности на конечные показатели по пункту "в".

Главное на этом этапе, как уже говорилось, — установление технологических последовательностей выполнения различных мелиоративных мероприятий и агротехнических приемов для обеспечения нормального развития растений и недопущения потери урожая. Это возможно на основе технологической карты, привязанной к определенным климатическим условиям, в виде скользящего сетевого графика процес-

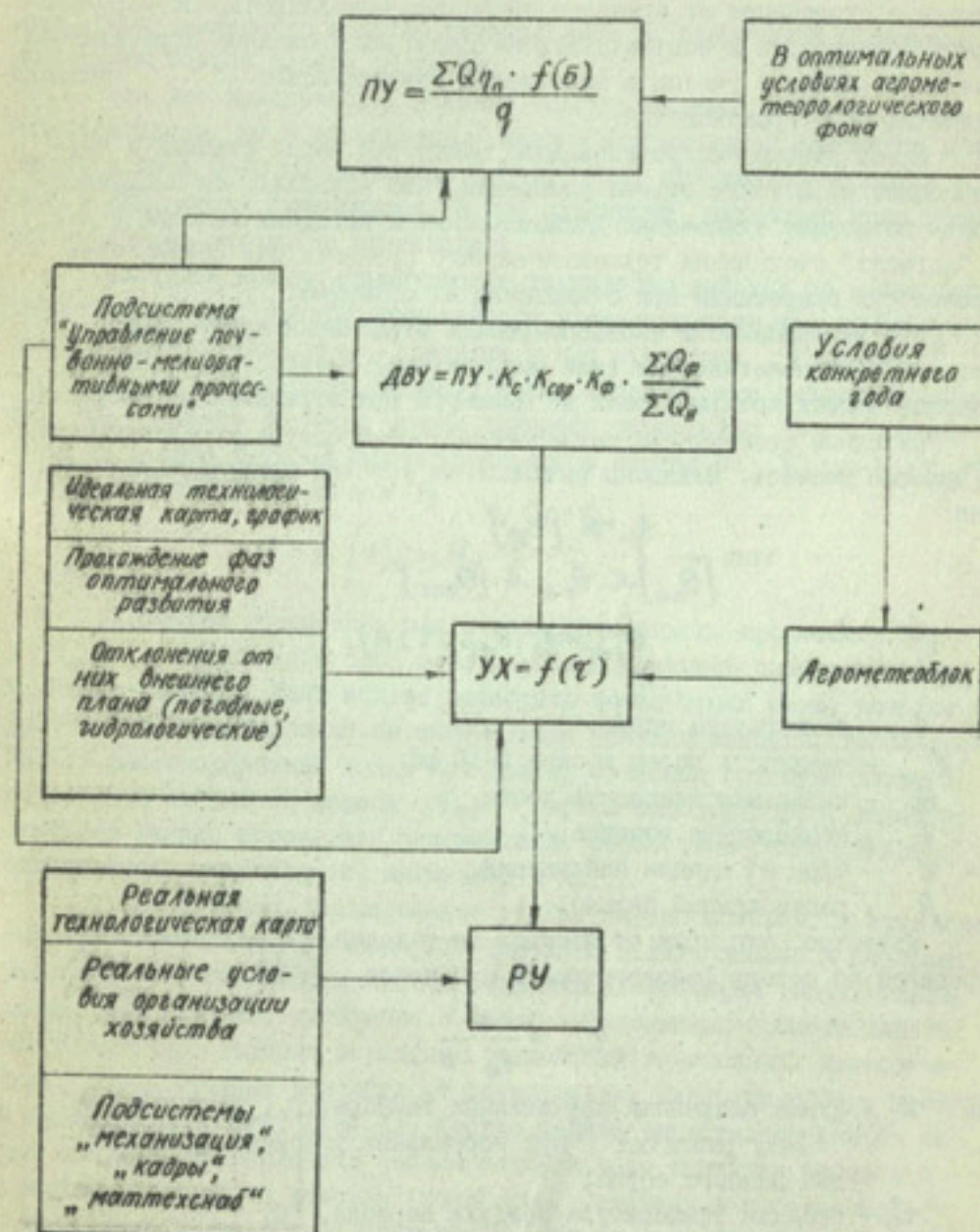


РИС.5. СХЕМА ОЦЕНОК УРОЖАЯ

са. Учитывая, что погодные условия – вероятностный процесс, одновременно должны быть определены с различной расчетной обеспеченностью возможные отклонения от среднего диапазона основных агрометеорологических показателей и соответствующие дифференцированные агротехнические мероприятия с учетом в вариантном графике всего сельскохозяйственного производства.

Здесь необходимо установление мощностей парка техники и других мощностей, а также объема удобрений, что позволило бы скомпенсировать возможные отклонения климатических и погодных условий и как бы "догнать" отставание технологического процесса или осуществить заранее его опережение при отклонении от оптимума.

При невозможности скомпенсировать отклонения нужно выработать такие технологические (или оперативные) воздействия, которые позволят свести потери урожая до минимума при ограниченных ресурсах.

Указанные особенности технологического процесса проиллюстрируем на примере посевов. Известны оптимальные условия произрастания семян:

$$\begin{aligned} t_{so} &\geq [t_{so}] \\ [\theta_{min}] &\leq \theta_{0-10} \leq [\theta_{max}] \\ Q_{0-10} &= f_2(\theta_{0-10}; T; R), \end{aligned} \quad (5)$$

где t_{so} – температура почвы,
 θ_{0-10} – влажность почвы в слое 0–10 см,
 θ_0 – начальная влажность почвы,
 t – температура воздуха,
 T – срок от начала наблюдений,
 R – радиационный баланс.

Известно, что срок от посевов до всходов ($T_{вск}$) может быть определен по методу фенологических прогнозов [15].

$$T_{вск} = \frac{A}{t_p - B}, \quad (6)$$

где A – сумма потребных эффективных температур ($^{\circ}\text{C}$) в данную фазу развития при нормальных условиях влажности для данного сорта;

t_p – средняя температура воздуха периода, $^{\circ}\text{C}$;

B – порог развития (в данном случае всходов), $^{\circ}\text{C}$.

В связи с тем, что в дни, когда $t^{\circ} < B$, растение не развивается, по нашему мнению, надежнее этот срок определить исходя из гра-

жения

$$\sum_{\substack{t \geq T_{вск} \\ (t^{\circ} > B)}} t^{\circ} - T_{вск} \cdot B > A, \quad (7)$$

где сумма температур воздуха берется лишь по сумме дней с дневным значением больше порога развития.

Как уже указывалось, условия всходов определяются не только температурным, но и влажностным режимом (оптимальной считается влажность в слое 0–10 см на уровне 0,8–1,0 ППВ, при влажности между 0,6 и 0,8 ППВ всходы замедляются, а при влажности несколько ниже уровня закладки всходы не происходят).

Построив кривую изменчивости температур воздуха по метеорологическим данным, кривую изменчивости влажности почв по расчетам режима влажности (например, принятая у нас программа „Progwat“ по Баклушину, Духовному, Дудко), можно оценить, как выбрать срок сева $T_{св}$ таким образом, чтобы диапазон температур почв и влажностей ее в слое 0–10 см был оптимальным в период от $T_{св}$ до $T_{св} + T_{вск} + T_{всх}$. Отсюда вероятность всходов P_v

$$P = f_3 \left\{ t_{св}^{\circ}; \theta_{св} \mid T_{св} + T_{вск} + T_{всх} \right\} \rightarrow \max. \quad (8)$$

Параметры управления этого технологического процесса – $T_{св}$ и $T_{св+вск+всх}$. Сам по себе срок сева является функцией наличия техники и режима посевов. Если нельзя подобрать такие сроки сева, которые вероятностно гарантировали бы оптимальные условия всходов, то следует задать влагозарядковый полив как фактор создания оптимума влаги в почве либо сократить период $T_{вск}$ путем подбора сорта, дающего наиболее ранние всходы, или специальной обработкой семян (гидроактивационной, униполярной, магнитной и пр.).

Таким образом, формирование урожая, перед которым, в конечном счете, стоит задача получения УХ, близкого к ДВУ, должно в реальных условиях с помощью определенных управляющих факторов (вода, технология, механизация, удобрения и набор определенных средств защиты) обеспечить преодоление вероятных отклонений в погодных, климатических, хозяйственных условиях от оптимума при минимуме потерь урожая и приведенных затрат (рис. 6). Отсюда задача распадается как бы на два основных направления: оценка оптимального развития посевов в средних для данного участка (хозяйства) условиях и постепенное преодоление всевозможных отклонений, включая хозяйственные (а не только природные) отклонения от оптимума.

В качестве основы "Управления развитием растений" принимаются разделение на фазы и условия прохождения различных фаз в зависимо-

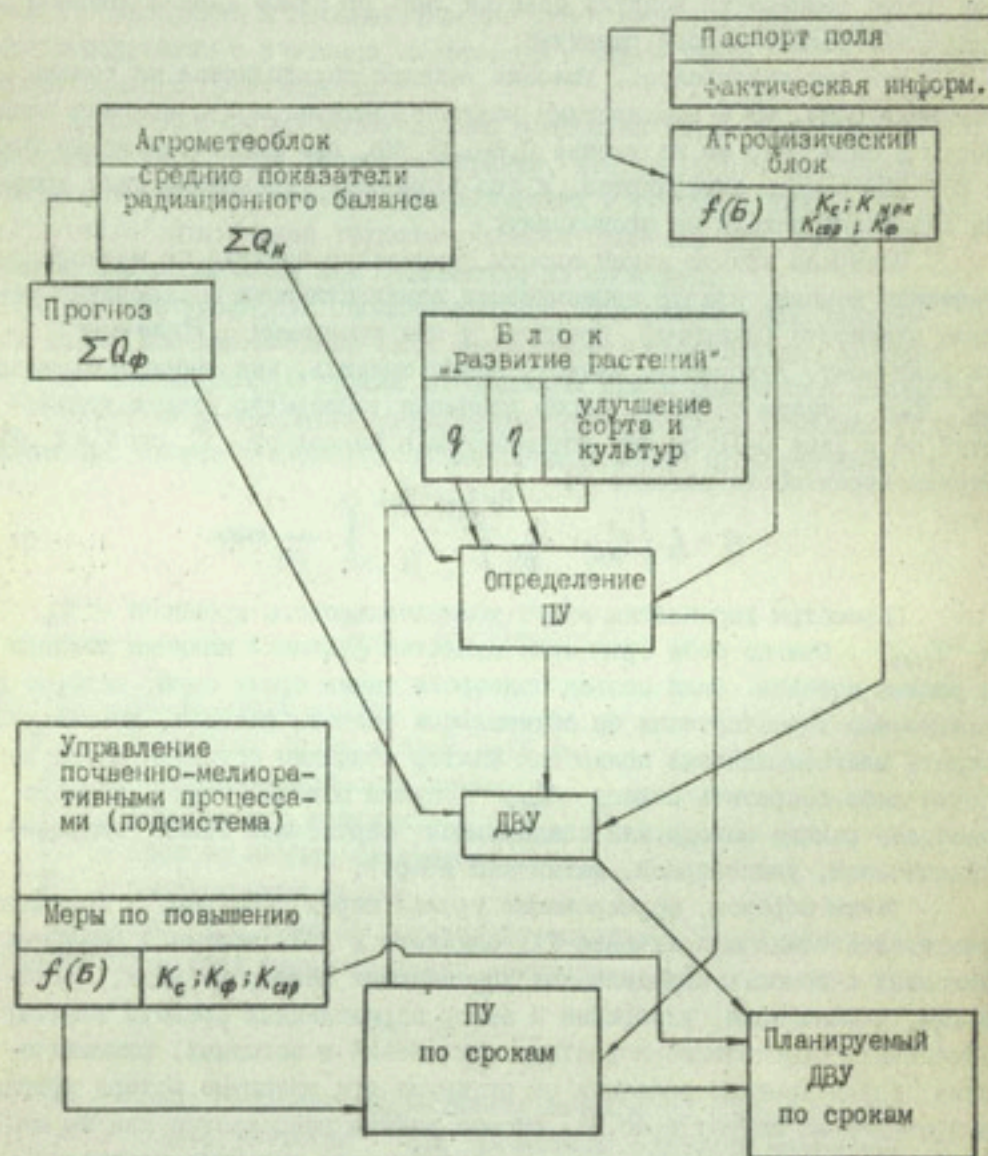


Рис. 6. ОЦЕНКА ПУ и ДВУ и ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПОВЫШЕНИЯ

сти от базового фона (блок "Агрофизический"), условий "Агрометеоблока", обеспеченности мелиоративными воздействиями (подсистема "Управление почвенно-мелиоративными процессами") и технологическими процессами (блок "Технологический").

Есть различные предложения по учету фаз и их влиянию на конечный урожай:

- продолжительность и результативность каждой фазы есть результат прохождения всех предшествующих фаз

$$T = \sum_{\tau \in \Phi} t_{\tau}; \quad t_{\tau} = f'_{\tau}(S_{\tau-1}; R; i; t^0; \theta). \quad (9)$$

$$y_{\tau} = y_0 \cdot f'_{\tau}(\sum_{\tau \in \Phi} t_{\tau} - \langle t_{\tau} \rangle) \quad (10)$$

или

$$y_{\tau} = y_0 \cdot f_1(\tau_1) \cdot f_2(\tau_2) \dots f_n(\tau_n). \quad (11)$$

$$y_{\tau} = y_0 \prod_{\tau \in \Phi} f_i(\tau_i); \quad (12)$$

- продолжительность и результативность каждой последующей фазы зависит лишь от выходных параметров предшествующей и факторов, воздействующих на данную фазу (рис. 7):

$$t_{\tau} = t_{\tau-1} + f''_{\tau}(\tau_n(l; R; t^0; Q_s, \dots)); \quad (13)$$

$$y_{\tau} = y_0 \cdot S_{\tau-1} \cdot f'''_{\tau}(\tau_n(l; R; t^0; Q_s, \dots)). \quad (14)$$

Первая часть этого выражения аналогична принятому В.А.Платоновым и А.Ф.Чудиновским [3, с.87], но они за основу прохождения каждой фазы приняли лишь температурное воздействие. Мы же фиксируем конечные результаты прохождения каждой фазы ($S_{\tau-1}$) и по их отклонениям от нормы планируем снижение первичной урожайности. Поэтому принимаем последний вариант. Отсюда вторая задача подсистемы - формирование нормативного массива выходных данных и их допустимых отклонений.

Здесь создаются требования к другим подсистемам с точки зрения минимизации отклонений от нормы.

Оценка оптимального развития растения должна состоять из прогноза фаз развития растений (сорта) исходя из оптимальных условий по влажности и средних климатических условий, а также установления нормального расчетного режима водопотребления и влажности удов-

летворить его по площади и времени для перехода от эталонного участка к бригаде в соответствии с параметрами оросительной сети.

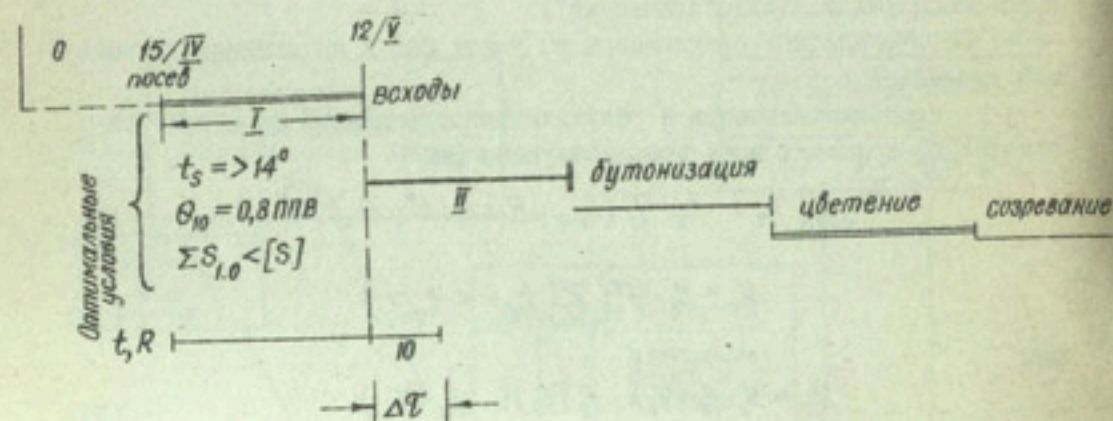


Рис. 7. Фазы биологического развития

Далее должна быть сделана оценка реально возможных отклонений в метеопараметрах (с обеспеченностью 90 %) и хозяйственных условиях (обеспеченность кадрами с учетом их квалификации и опыта, уровень механизации, наличие химикатов и т.д.) и влияния этих отклонений (включая и отклонения в водопотреблении и других физических процессах от оптимума) на нормальное развитие растений.

Для предупреждения отклонений, как было показано ранее, может быть сформирован расчетный резерв мощностей или создано определенное опережение проходящих фаз агротехническими процессами, что также должно быть прогнозировано. Оснащение всех указанных связей и затрат экономическими показателями, реальными для каждой бригады, позволит превратить указанную систему прогноза урожая в экономически осмысленную, увязанную с хозяйством и оптимизацией производства.

Прогонка блока "Развитие растения" в вероятностном имитационном режиме позволит выбрать сорт растения, наиболее приспособленный к температурным, влажностным характеристикам климата, включая

вероятность выпадения осадков, заморозков и т.д. Это очень важно, например, в условиях рано наступающих дождей, заморозков (Каракалпакстан, Хорезмская область и т.д.), где зачастую хлопок высокоурожайных сортов не вызревает, а скороспелые не высевают из-за их более низкой урожайности.

Реальным, учитывающим оперативные отклонения продуктивности земель формируется уже на этапе урожайности РУ. Разница между РУ и УХ показывает, по сути, какова степень оперативного совершенствования управления в данном хозяйстве, отделении, звене. На этой стадии, кроме данных по влиянию отклонений, накопленных в подсистеме "Развитие растений", важно располагать информацией о влиянии факторов организационного характера на указанные отклонения.

Для этого целесообразно в подсистеме "Планирование и экономика" создать массив информации в хозяйстве по обеспечению трудовыми, материальными и другими ресурсами и сопоставить их с полученными в процессе анализа прохождения фаз по каждой бригаде данными об отклонениях. В результате по методу множественной регрессии можно определить влияние этих различных отклонений в обеспеченности организационными факторами на прохождение фаз. Отсюда создается возможность оптимизировать при дефиците тех или иных ресурсов их направленность на преодоление фазовых нарушений. С этой целью разработана соответствующая форма. В результате представляется возможным обработать полученные данные в виде

$$\frac{\tau_f - \langle \tau_f \rangle}{\langle \tau_f \rangle} = a_f A_i + b_f P_{ni} + c_f P_{oi} + d_f P_{yi} + g_f T_{pi} \quad (15)$$

или аналогично получить зависимость снижения урожайности в каждой фазе от этих факторов

$$\frac{y_f}{y_f - 1} = a'_f A_i + b'_f P_{ni} + c'_f P_{oi} + d'_f P_{yi} + g'_f T_{pi} \quad (16)$$

где τ и $\langle \tau \rangle$ — соответственно фактическое и оптимальное время прохождения фаз;

A_i — обеспеченность людскими ресурсами каждой производственной единицы в долях единицы;

P_{ni} ; P_{oi} ; P_{yi} - обеспеченность каждой производственной единицы техникой в период подготовки почвы, обработки посева, уборки урожая;

T_{pi} - обеспеченность транспортом;

a_f ; b_f ; c_f ; d_f ; g_f - матричные коэффициенты показателей обеспеченности ресурсами на определенный срок;

a'_f ; b'_f ; c'_f ; d'_f ; g'_f - матричные коэффициенты влияния обеспеченности ресурсами на относительное снижение урожайности;

$\frac{y_f}{y_f - 1}$ - относительное снижение урожайности в каждой фазе.

$$\left. \begin{aligned} a'_f + b'_f + c'_f + d'_f + g'_f \\ a_f + b_f + c_f + d_f + g_f \end{aligned} \right\} = 1. \quad (17)$$

Такие набранные в хозяйстве справочные данные позволяют, учитывая оперативную обстановку в хозяйстве, прогнозировать возможные отклонения сроков проведения работ, а отсюда прохождение фаз и урожайность или оценить объем необходимого запаса в технике, транспорте и других ресурсах для покрытия возможных сбоях.

Здесь нам представляется и выход в будущем на определенную оптимизацию не только в распределении дефицитных ресурсов, но и в установлении необходимого резерва на уровне хозяйства, а может быть, и РАО по покрытию дефицита, создаваемого организационными "шумами" в хозяйстве.

Предлагаемый четырехступенчатый подход к формированию урожая позволит дифференцировать затраты и себестоимость продукции по причинам их возникновения и принимать меры по снижению себестоимости и одновременно повышению продуктивности сельскохозяйственной продукции; таким образом, программирование урожая получает экономическую оценку и выход на планирование объемов и рентабельности производства.

Таблица 1
Иерархия задач по программированию урожая по четырехступенчатой схеме

Иерархия задач	IV	III	II	I
Нормативная база	1. Характеристики сортов и культур по потребности в радиации, их КИД 2. Среднеголетный радиационный индет: а) структура; б) густота	Влияние на ДДУ а) степени засоренности; б) степени засоренности; в) фонности (или степени радиационности систем); г) НРК	1. Оптимальные условия прохождения стадии развития и допустимые отклонения 2. Факторы, влияющие на прохождение фаз: а) агрометеорологические; б) технологические; в) вредители; г) НРК; д) влажность 3. Показатели задержания фаз 4. Средние агрометеорологические показатели	1. Нормативная технологическая база 2. Потребность техники на каждом поле а) в нормальных условиях; б) с учетом возможных отклонений 3. Наличие техники 4. Наличие кадров и резервов их
Контрольная база	1. Показатели: а) густоты; б) структуры почвы 2. Возможные меры по повышению солончата на очередную культуру 3. Данные о фактическом осуществлении мер по повышению	1. Возможные меры по улучшению агрофона: а) устранение засоренности; б) снижение засоренности, улучшение работ дренажа; в) повышение ровности фона; г) внесение НРК	1. Фактическая информация о состоянии почвы 2. Контроль метеорологических, химических НРК, влажности почвы	1. Технологический контроль 2. Выполнение оперативных заданий

Вид задач	IV	ДВ	УХ	РУ
Управляющие задачи	2. Контрольные данные по осуществлению предельных мер 1. План работы по борьбе с сорняками путем внесения гербицидов и глубинной обработки почвы 2. Мероприятия по улучшению эксплутации дренажа, организации текущих проливов земель 3. План текущих и плановых иригаций 4. План внесения навоза и минеральных удобрений 5. План ремонтно-эксплуатационных работ по оросительной сети	1. План работы по борьбе с сорняками путем внесения гербицидов и глубинной обработки почвы 2. Мероприятия по улучшению эксплутации дренажа, организации текущих проливов земель 3. План текущих и плановых иригаций 4. План внесения навоза и минеральных удобрений 5. План ремонтно-эксплуатационных работ по оросительной сети	Оргтехзаготовки текущего года 1. Посевной план 2. План агрохимических мероприятий 3. План колхоза и полхоза техники 4. Потребность в технике по срокам и графикам покрытия по году 5. План новых технических и опытное внедрение 6. План материально-технического снабжения 7. План подготовки кадров	Оперативные мероприятия 1. Оперативные задания на агрохимические работы 2. Оперативный план подготовки и расстановки техники 3. Оперативный план работ агрохимического 4. Оперативный план повышения квалификации кадров 5. Мероприятия по созданию необходимых технологических и материальных условий

Исходя из предложенных подходов, все основные задачи (кроме финансовых, экономических и статистических) можно систематизировать в зависимости от распределения по подсистемам и блокам (табл. I, 2). Они разбиты на информационные задачи и управляющие воздействия. При этом информационные задачи делятся на две подгруппы — нормативной информации и контрольной.

В то же время нужно помнить, что с учетом наших предложений на основе ранее приведенных предложений И.С. Шатилова и А.Ф. Чудновского [1, с. 85] все информационные задачи относятся в основном к блокам "Агрофизический", "Агрометеорологический", "Развитие растений", дающим характеристику объекту регулирования "почва — растение — атмосфера", а регуляторами являются блок "Агротехнический" и подсистема "Управление почвенно-мелиоративными процессами".

Таблица 2

Карта учета отклонений плановых и фактических затрат (план факт)

№ п/п	Бригада	Обеспеченность людьми A_1	Отклонения от технологии			Транспорт T_{pi}
			подготовительные работы P_{pi}	обработка почвы P_{ei}	уборка урожая P_{yi}	
		A_1	A_2	A_3		A_4

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.

СОСТАВ И ВЗАИМОСВЯЗИ В ПОДСИСТЕМАХ

Рассмотрим взаимосвязи структуры АСУ хозяйством в интересах

программировании урожая с учетом состава подсистем и составляющих блоков.

Определяющая подсистема "Создание программированного урожая" на первом временном этапе целей - оценка и повышение ПУ и ДВУ - состоит из задач разового использования - раз в году (см. рис. 6, 7). На основе задачи "Среднегодовое значение показателя радиационного баланса" из "Агрометеоблока", соответствующих задач определения q и η сорта и культуры, а также оценки бонитета почв на базе "Паспорта поля" для каждого поля, бригады устанавливается ПУ. С введением соответствующих корректив на прогнозируемую ОАР текущего года и коэффициентов, уменьшающих продуктивность растений с учетом засоренности, засоленности фона и пр., получаем ДВУ.

Далее в подсистеме "Управление почвенно-мелиоративными процессами" оцениваются меры по повышению бонитета, а в блоке "Развитие растений" - возможное улучшение культуры и сорта. На основе этого дается прогноз повышения ПУ по срокам долговременных мероприятий.

При оценке целесообразности культуры и сорта можно применять метод, рекомендуемый И.С.Шатиловым, А.Ф.Чудновским [1, с.88], - по наиболее высокому использованию радиации. Коэффициент использования радиации

$$m = \frac{R_n}{R} = \frac{R_n}{R_n + R_p} \rightarrow 1, \quad (18)$$

где R - общая радиация ($R_n + R_p$);

R_n - радиация, использованная в слое H (высота растения);

R_p - радиация, приходящаяся на почву.

Учитывая, что $R_n + R_p = Q \cdot K_r$, функция (18) - максимальное использование ресурсов радиации данной местности - может быть сформулирована таким образом:

$$\frac{R_n}{Q} \rightarrow \max. \quad (19)$$

Для оценки поэтапного увеличения ДВУ из подсистемы "Управление почвенно-мелиоративными процессами" должны быть введены меры по увеличению коэффициентов K_c , K_p и т.д. в соответствии с планом среднесуточных мероприятий по повышению плодородия земель, планом борьбы с сорняками, мероприятиями по навозообороту. В отличие от разовой оценки уровней ПУ и ДВУ (раз в год) на этапе установления УХ, так же, как и для РУ, должно осуществляться постоянное слежение за всеми факторами формирования продуктивности - как природными, так и антропогенными.

При этом следует исходить из положений И.С.Шатилова и А.Ф.Чуд-

новского [1, с.79] о необходимости учитывать основные законы земледелия и растениеводства:

- о разноточности и незаменимости факторов жизни (тепло, вода, свет, пища и др.);

- о минимуме - урожай определяется фактором, находящимся в минимуме;

- об оптимуме - наилучшее развитие обеспечивается при оптимальном соотношении между факторами;

- о возврате - взятые из почвы питательные вещества должны быть восстановлены;

- о плодосмене, особенно с учетом кнжых культур;

- о том, что само растение является "сложной природно-климатической системой", четко реагирующей на все изменения внешней среды и умело (в пределах своих возможностей) приспосабливающейся к ней; это свойство имеет особенно важное значение, так как создает диапазон отклонений от того расчетного узкого предела оптимумов, который устанавливается для растений обычно.

При оценке уровня УХ главным в подсистеме ПУ является блок "Развитие растений", где основное внимание уделяется оценке продукционного процесса создания урожая в "эталонном растении", характеризующем состояние всех посевов участка. Блок "Развитие растений" должен ориентироваться, видимо, на уровень обеспеченности 75% площади всего поля или бригады (а в будущем и 90%).

Цель этого блока:

- установить нормальный (безо всяких нарушений) ход развития растений для данных условий, ориентируясь на среднегодовое метеорологические условия (возможно, на два уровня предельной обеспеченности климатическими параметрами - 10 и 90 %). Для этого желательно подобрать год-аналог и сделать расчет нормального развития растений, не отягощенных никакими агротехническими, мелиоративными и организационными отрицательными показателями, за исключением климатических и погодных;

- накапливать фенологическую информацию о фактическом развитии растений в условиях конкретных лет и конкретных отклонений;

- систематически поставлять управляющим органам информацию о состоянии посевов и давать им сравнительную оценку;

- выработать модель развития сельскохозяйственных культур и зависимости прохождения фаз от различных нарушений;

- давать материал для прогноза продуктивности на стадии УХ. Схема постоянной текущей оценки формирования продуктивности

УХ представляется следующим образом (рис.8).

Для каждой фазы блок "Развитие растений" определяет требования к естественным условиям с точки зрения тепла, света, ветровой деятельности и т.д. Для условий среднего года задаются средние и крайние нормативные параметры прохождения агрофазы. Затем на основе оценки текущей обстановки и многолетнего ряда формируется прогноз агрометеофакторов, выводится из блока "Развитие растений" оценка предшествующей фазы состояния посевов и прогнозируется возможное развитие следующей фазы с учетом состояния блока "Агрофизический" (влажность, температура почвы, параметры минерализации почвенного раствора, минерального питания). Отсюда формируются требования к подсистеме "Управление почвенно-мелиоративными процессами" и к блоку "Технологический". В зависимости от возможности их удовлетворения корректируется прогноз фазы, намечаются меры по ликвидации отставания либо вносится поправка на конечный урожай.

В основу блока "Агрофизический" должны быть положены закономерности взаимодействия системы "почва (зона аэрации) - растение - приземный слой", разработанные С.В.Нерпиным и А.Ф.Чудновским [16] (рис.9).

Задача "Почвенные, грунтовые и другие константы" должна содержать информацию о неизменных показателях водно-физических и физико-химических свойств почвы (удельный и объемный вес, параметры Пекле, Фика, полная влагоемкость, коэффициент фильтрации и т.д.). В задачу Долговременные трансформирующиеся показатели наряду с агрегатным составом, гумусом, содержанием микроорганизмов могут войти и показатели предыдущей задачи, если в соответствии с информацией подсистемы "Управление почвенно-мелиоративными процессами" должны осуществляться меры по улучшению водно-физических свойств, механического состава и т.п.

На основе моделей влагопереноса и теплообмена С.В.Нерпина и А.Ф.Чудновского [16] с некоторым упрощением может постоянно регистрироваться динамика влажности почв, температуры, минерализации почвенного раствора, соленакопления и т.д. В результате сопоставления изменения этих показателей с требованиями к почве блока "Развитие растений" устанавливаются требования блока "Агрофизический" к подсистеме "Управление почвенно-мелиоративными процессами" с точки зрения орошения, дренажа и промывок, а к блоку "Технологический" - по НРК.

Блок "Технологический" ("Технология сельскохозяйственного производства"), по определению В.А.Платонова [3], имеет целью

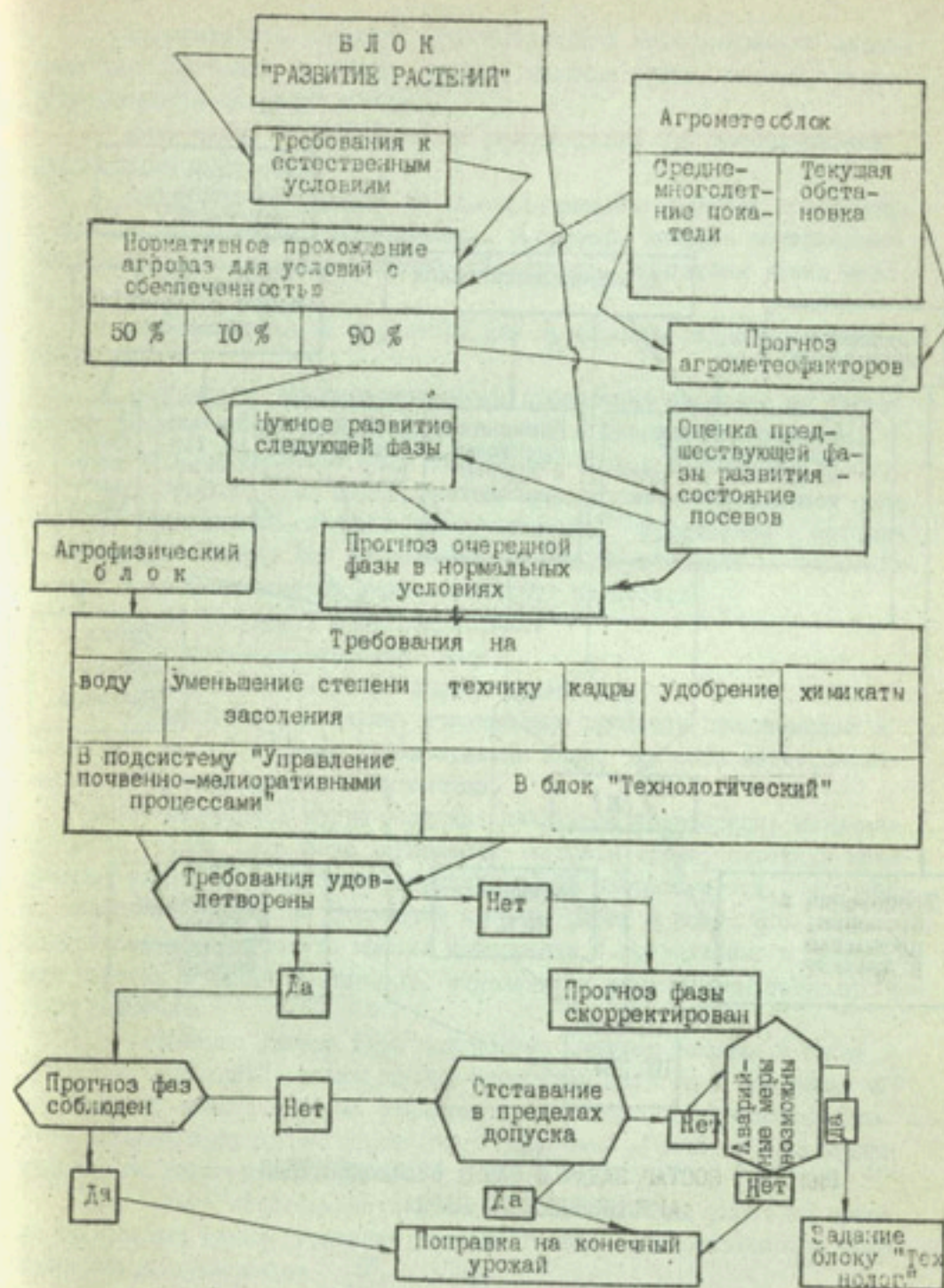


РИС.8. СХЕМА МОДЕЛЕЙ ТЕКУЩЕЙ ПРОДУКТИВНОСТИ УХ

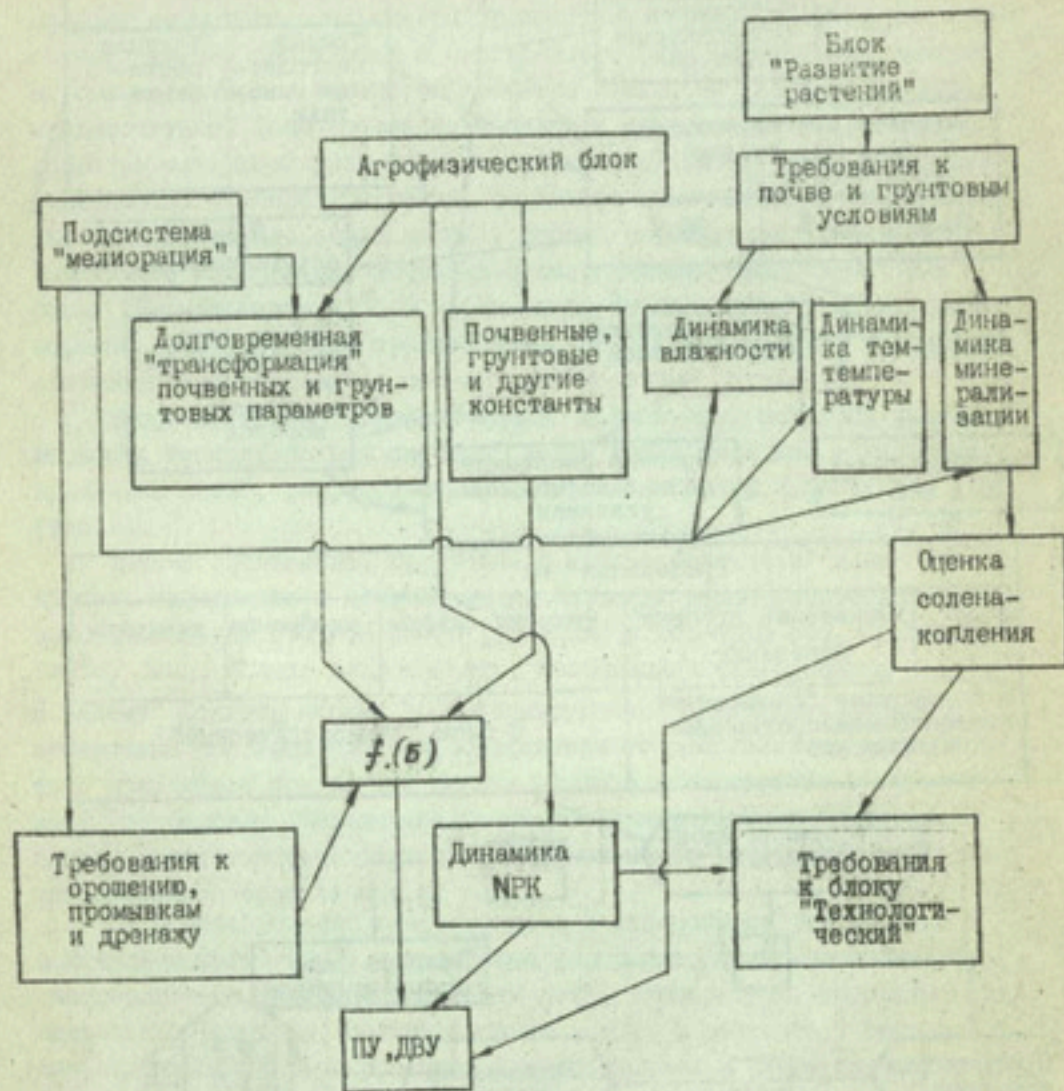


Рис. 9. СОСТАВ ЗАДАЧ И СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГРОФИЗИЧЕСКОГО БЛОКА

- спланировать комплекс агротехнических мероприятий на каждом поле для получения заданного урожая, включая сроки, объемы, последовательность операций и т.д.;

- дать набор технологических рекомендаций при возникновении нестандартных условий;

- позволить рассчитывать на любой промежуток времени требования к другим подсистемам, охватывающим, например, вопросы материально-технического и организационного обеспечения, выявления узких мест и т.д.;

- дать контрольные параметры для проведения технологических операций;

- рассчитать календарные сроки проведения операций по уходу за посевами в связи с изменением внешних и оперативных условий;

- вести оперативный учет выполнения сроков и качества работ.

Через данный блок подсистема ПУ предъявляет требования к подсистеме "Управление почвенно-мелиоративными процессами", которая должна дать аппарат для оптимизации (и предварительной классификации) всех предлагаемых технологических процессов.

Главные документы этой подсистемы:

- карточка-характеристика поля,

- входящие параметры из других подсистем,

- технологическая карта, учитывающая процессы стационарные и зависящие как от текущих характеристик поля, так и от метеорологической и организационной обстановки.

Технологическая карта содержит следующие показатели: название процесса, срок, параметры управления, затраты труда, перечень механизмов, удельная стоимость операций, общие затраты и т.д., - а также карточку-задание на очередной процесс работ в поле. Это дает возможность сформировать массив информации о проведенных и планируемых работах в целом по совхозу, отделению и даже мелким технологическим единицам.

Одновременно данные этой подсистемы диктуют условия и блоку "Развитие растений", давая оценку состоянию культур и возможности дальнейшего воздействия на сельскохозяйственное производство. При этом главным документом должна быть карточка - отчет о выполнении задания по данному виду работ.

При оценке необходимости уточнения проведенных работ на основе требований блока "Развитие растений" можно воспользоваться предложением В.А.Платонова [3, с.108].

Подсистема "Управление почвенно-мелиоративными процес-

сами" должны обеспечить разработку мер по обеспечению повышения продуктивности земель (долговременные планы), созданию необходимых мелиоративных условий (по влажности, солесодержанию) для выращивания высокого урожая, а также планировке и осуществлению комплекса эксплуатационных, капитальных и агротехнических работ, направленных на эти цели. Поэтому подсистема как бы распадается на две части: долговременных и текущих мероприятий (рис.10).

Комплекс инженерных и агротехнических мелиораций, направленных на долговременное постепенное повышение плодородия земель, должен быть выбран на основе анализа хода почвообразовательного процесса и соответствия ему мелиоративного режима. Для систематизации такого анализа и выработки соответствующих мер нами рекомендована блок-схема, которая может быть использована здесь [17].

Оценки возможных мер по повышению плодородия для различных полей и участков позволяет с использованием оптимизационного аппарата определить первоочередные объекты, дающие наибольшую эффективность как наряду с реконструкцией оросительных систем, так и без нее, лишь за счет мер по повышению плодородия земель. На этой основе должен быть составлен план долговременных мероприятий по повышению плодородия земель путем инженерных и других мелиораций и среднесрочных за счет навозооборота, текущих планировок, борьбы с сорняками, промывок, усиления дренажа или улучшения эксплуатации мелиоративных систем.

Другая часть подсистемы охватывает поддержание необходимых режимов увлажнения и рассоления. По данным "Агрометеоблока", блок "Агрофизический" и "Развитие растений", постоянно оценивается влагообеспеченность посевов. Для этого используется разработанный нами блок-задача "Прогнозирование подопотребления". В этом комплексе программы, в основу которой положено постоянное определение агро- и гидрометеорологических и агрофизических показателей на эталонных водобалансовых станциях, применяется несколько своеобразный способ оценки влагообеспеченности посевов, отличающийся от всех используемых.

В УкрНИИГиМ (И.В.Останчик) за основу информационно-советующих систем принимают динамику влажности на точках-представителях (1 точка на 500-1000 га). Достоверность такой оценки в наших условиях крайне мала.

И.С.Шаталов, А.Ф.Чудновский [1, с.88] рекомендуют другой показатель - относительную увлажненность.

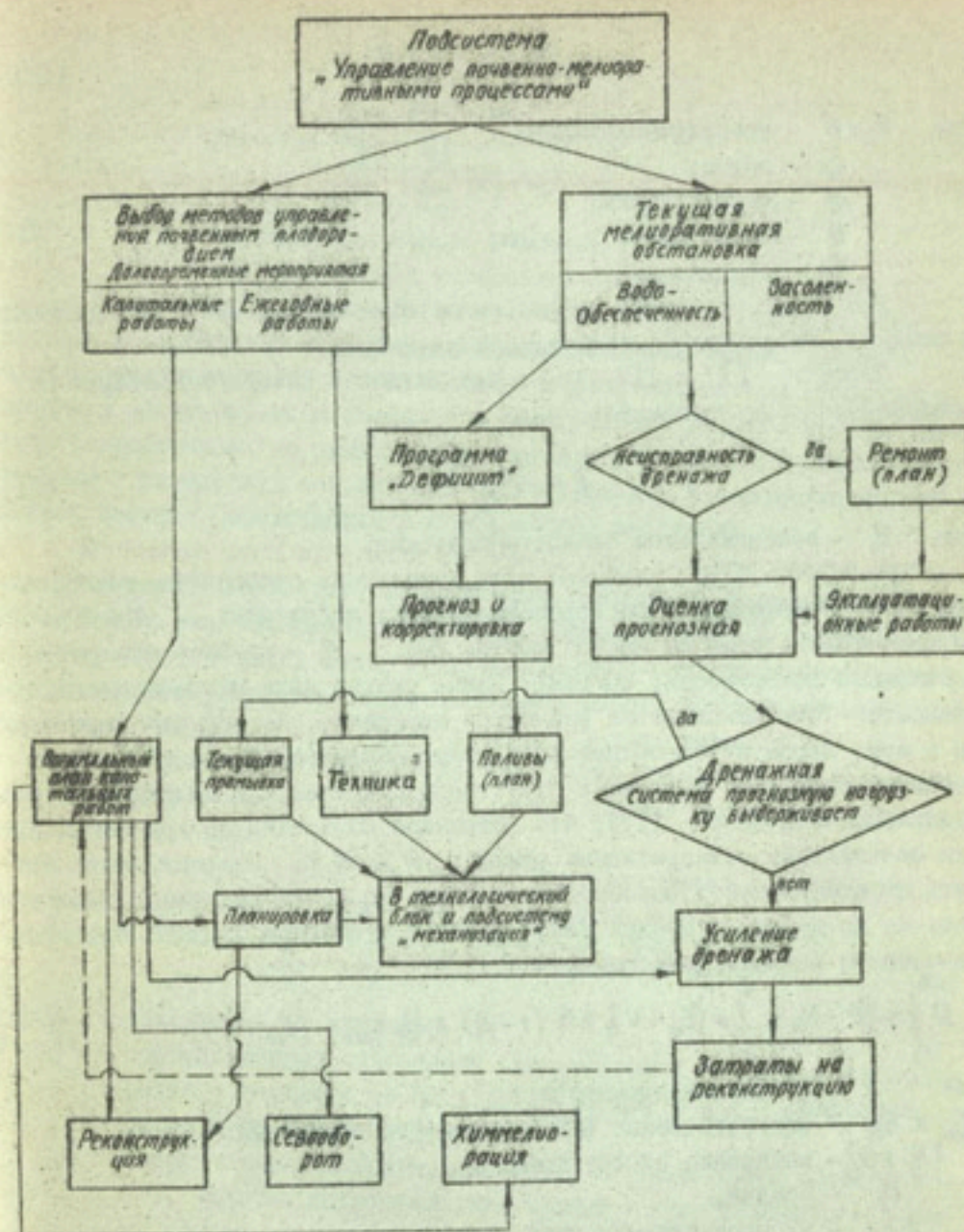


РИС.10. ПОДСИСТЕМА "УПРАВЛЕНИЕ ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫМИ ПРОЦЕССАМИ"

$$n = \frac{(E_m + U) + C_f + \Phi}{\Sigma \theta + Q_c + \Phi}, \quad (20)$$

где $E_m + U$ - эвапотранспирация;
 C_f - сброс;
 Φ - инфильтрация;
 θ - запас влаги в почве;
 Q_c - осадки.

Это отношение суммы эвапотранспирации плюс сброс и инфильтрация к осадкам, инфильтрации и начальной влажности.

Тооминг [2, с. II7-II8] предлагает в качестве критерия водообеспеченности показатель

$$\beta = \frac{E_m + U}{E_p}, \quad (21)$$

где E_p - потенциальная эвапотранспирация.

De Witt [18] заменяет этот показатель отношением mt/E_p' , где m - коэффициент пропорциональности, кг/га·день, T - суммарная транспирация за период роста, см; E_p' - среднее испарение с открытой поверхности, см/день. Такой подход явно неправилен. Испаряемость - это максимально возможное испарение, а мы заинтересованы в том, чтобы путем оптимизации мелиоративного режима обеспечить необходимое водное питание в допустимых пределах при минимуме затрат воды. Нами показано [17], что потребное испарение из грунтовых вод для оптимальных мелиоративных режимов $\approx 0,65 E_p$. Поэтому, если исходить из стабильности водообеспеченности, то более правильно оценивать ее по дефициту продуктивной влаги в суммарном балансе водообеспеченности в любой фазе развития

$$D_j = (\theta - \theta_{n_j})_1 + (E_m + U)_2 + Q_c (1 - \alpha) + Q_p \eta_{mn} - (E_m + U), \quad (22)$$

где θ - начальная влажность;
 θ_{n_j} и θ_{n_j} - соответственно ППВ и влажность завядания;
 $(E_m + U)_2$ - испарение из грунтовых вод;
 Q_c - осадки,
 $1 - \alpha$ - их продуктивная доля,
 Q_p - оросительная водоподача,
 η_{mn} - КПД техники полива.

Тогда коэффициент водообеспеченности

$$n = 1 - \frac{\sum_{j=0}^f \sum_{t_n=t_{n-1}}^{t_n} D_{tj}}{\sum_{j=0}^f \sum_{t_n=t_{n-1}}^{t_n} (E_p + U)}, \quad (23)$$

где f - площадь единичного участка;
 t_{n-1} - до t_n - период наибольшей потребности во влаге.

Дело в том, что для нас важна обеспеченность водой по всей площади в определенный период времени. Суммарная оценка дефицита за всю вегетацию может сгладить наличие остродефицитных моментов в развитии растений, хотя именно они резко влияют на урожайность. Комплекс разработанных по нашему алгоритму программ блока "дефицит воды" позволяет установить оперативный режим орошения и одновременно оценивает дефицит, возникающий в любой период вегетации.

На основе этой программы рассчитывается режим орошения, затем план поливов по хозяйству. Одновременно приводимый в прогнозе и в учете баланс вод позволяет рассчитать соленакопление и потребные промазки. Другой выход этой части подсистемы - на улучшение дренажа, на оптимизацию ремонтно-эксплуатационных работ. Соответственно график полива выдвигает требования к блоку "Технологический".

Не останавливаясь на построении других вспомогательных подсистем, рассмотрим основные положения по построению подсистемы "Планирование и экономика".

В общем виде доходность каждого гектара земель в хозяйстве (или его подразделении) может быть определена как

$$\bar{D}_j = C_j \cdot p_y + (\bar{z}_j^c + \bar{z}_j^d + \bar{z}_j^o), \quad (24)$$

где $\bar{D}_j$ - доходность от культуры j ,
 $\bar{z}_j^c$ и $\bar{z}_j^d$ - соответственно постоянные (не зависящие от факторов плодородия - перехода от ПУ к ДДУ и от ДДУ к УХ) и зависящие затраты на получение урожая;
 $\bar{z}_j^o$ - сверхплановые затраты, связанные с увеличением объемов работ, включая устранение отставаний в программируемом уровне урожая.

Соответственно себестоимость единицы продукции при этом составит

$$CC_j = \frac{\bar{z}_j^c + \bar{z}_j^d + \bar{z}_j^o}{p_y}, \quad (25)$$

иначе

$$D_j = (C_j - CC_j) \cdot p_y. \quad (26)$$

Устранение факторов, мешающих приближению ДВУ к ПУ, должно увеличить значение конечной РУ и одновременно снизить переменные затраты, хотя на какой-то период эти затраты могут быть и больше.

В результате представляется возможным оценить и предполагаемые изменения доходности программируемого урожая.

$$\Delta \bar{D}_j = [C_j - (CC_j - \Delta CC_j)] (PY + \Delta PY) - (C_j - CC_j) PY = (C_j - CC_j) \Delta PY + \Delta CC_j (PY + \Delta PY), \quad (27)$$

где ΔCC_j - изменение себестоимости единицы урожая;
 ΔPY - изменение реального урожая.

Легко показать, что

$$\Delta CC_j = \frac{\bar{z}_j^c + \bar{z}_j^d + \bar{z}_j^e}{PY} - \frac{\bar{z}_j^c + (\bar{z}_j^d \pm \Delta \bar{z}_j) + \bar{z}_j^e}{PY + \Delta PY} = \frac{\bar{z}_j^c \cdot \Delta PY + \bar{z}_j^d \Delta PY \pm \bar{z}_j^d PY + \bar{z}_j^e \Delta PY}{(PY + \Delta PY) PY}; \quad (28)$$

$$\Delta D_j = C_j \Delta PY \pm \Delta \bar{z}_j^d + \bar{z}_j^e - \frac{2(\bar{z}_j^c + \bar{z}_j^d + \bar{z}_j^e)}{PY} \Delta PY. \quad (29)$$

Здесь не принято во внимание некоторое увеличение C_j в связи с перевыполнением плановой продукции.

В результате программирования получает экономическое значение и выходит на эффективность сельскохозяйственного производства.

Отсюда вытекают основные задачи указанной подсистемы:

- оценка валового производства каждого поля, недобора продукции под влиянием каждого фактора снижения плодородия;
- возможное повышение продуктивности земель по каждому фактору, его стоимостная оценка и эффективность;
- распределение всех затрат на необходимые технологические работы, зависящие от площади и урожая, и на дополнительные, связанные с устранением затрат, снижающих продуктивность (засорение, засоление, ровность фона);
- оценка влияния обеспеченности людьми, техникой, машинами, удобрениями, основными фондами на конечную продукцию - производство сельскохозяйственных культур.

Решение перечисленных задач позволит установить точную связь уменьшения разрыва между РУ и ПУ с увеличением продуктивности земель, с одной стороны, и снижением затрат - с другой, а также определять

оптимальные ресурсы хозяйства, которые позволяют не допускать снижения урожайности по организационным причинам.

Непрерывный учет всех статей себестоимости позволяет создать подсистему "Планирование и экономика", в задачу которой входит установление всех связей между себестоимостью и повышением продуктивности от РУ до ПУ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СНИЖЕНИЕ РЕАЛЬНОГО УРОЖАЯ

Исходя из сказанного, легко установить соотношение между факторами, снижающими урожайность от уровня ПУ до РУ:

$$\frac{DВУ}{PY} = 1 - (a_1 \cdot K_{ср} \cdot a_2 \cdot K_{зс} \cdot a_3 \cdot K_{н} \cdot a_4 \cdot K_{р} \cdot a_5 \cdot K_{л} \cdot a_6 \cdot K_{ф}); \quad (30)$$

$$\frac{YX}{DВУ} = \left[1 - \left(\frac{D}{E_r + U} \right)^A \right]; \quad (31)$$

$$\frac{PY}{YX} = (a_7 \cdot \Lambda_t + a_8 \cdot P_t + a_9 \cdot T_p) S_x, \quad (32)$$

где $a_1; a_2; a_3; a_4; a_5; a_6$ - соответственно матричные коэффициенты влияния засоренности, засоленности, содержания NPK и ровности фона (все факторы выражены в долях от единицы в виде снижающих функций);

D - дефицит суммарного обеспечения влаги;

Λ - коэффициент культуры;

$a_7; a_8; a_9$ - соответственно матричные коэффициенты организационного обеспечения урожая людьми, механизмами, транспортом;

$a \Lambda_t; P_t; T_p$ - соответственно обеспеченность в долях единицы людьми, механизмами, транспортом.

Отсюда следует, что

$$PY = YX (a_7 \cdot \Lambda_t + a_8 \cdot P_t + a_9 \cdot T_p) S_x; \quad (33)$$

$$YX = DВУ \left[1 - \left(\frac{D}{E_r + U} \right)^A \right]; \quad (34)$$

$$DВУ = PY [1 - (a_1 K_{ср} \cdot a_2 K_{зс} \cdot a_3 K_{н} \cdot a_4 K_{р} \cdot a_5 K_{л} \cdot a_6 K_{ф})] \quad (35)$$

при

$$\Lambda_t = 1; P_t = 1; T_p = 1$$

$$PY = S_x Y_x.$$

где S_s - фактор субъективного руководства.

Используя эти зависимости, получим

$$P_y = P_y \left[1 - (a_1 K_{1p} \cdot a_2 K_{2ac} \cdot a_3 K_{3c} \cdot a_4 K_{4p} \cdot a_5 K_{5c} \cdot a_6 K_{6p}) \right] \times \\ \times \left[1 - \left(\frac{D}{E_r + U} \right)^2 \right] \cdot (a_7 L_c + a_8 P_c + a_9 T_p). \quad (36)$$

Зная по каждой бригаде значения указанных факторов, можно определить при уровне IV и V влияние этих факторов на снижение урожайности методом множественной регрессии с использованием матричных коэффициентов.

5. МЕТОДИКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЯ

Наиболее широкое распространение среди методов программирования получили статистические методы. Они использованы в работах ЮжНИИТДиМ, Волгоградского СХИ, Белорусского института почвоведения, Института кибернетики АН УССР и др. Отличаются они количеством учитываемых факторов и видом многочлена (линейный в ЮжНИИТДиМ, Белорусском институте почвоведения и ИК АН УССР; степенной с биналами в Волгоградском СХИ). Однако, как отмечают И.С. Шатылов и А.Ф. Чудновский [1], эмпирико-статистическому методу программирования урожая свойственна локальная ограниченность во времени и пространстве. Действительность его реальна лишь при достаточно широкой и разносторонней представительности взятого в основу материала наблюдений, опробовании его на случайность, однородность, оценку по статистическим характеристикам и на повторяемость и достоверность. При недостаточной представительности для каждого временного этапа для каждой площадной точки необходимо строить свои зависимости с собственными коэффициентами и даже видом связей.

Нами этот метод используется лишь для оценки влияния отдельных факторов на показатели экономической подсистемы, характеристики продуктивности почвообразовательных процессов на новых землях на основе обработки данных по различным почвенным разностям и разным бонитетам, для получения ряда обосновываемых зависимостей взаимодействия влагопереноса и развития растений.

Один из наиболее широко применяемых в программировании методов - имитационное моделирование, особенно выделяли имитационными блоками с достаточной степенью автономности. При этом по степени точности и адекватности они должны соответствовать поставленным в блоке задачам.

Имитационно-модельный подход позволяет представлять физические закономерности происходящих процессов в их укрупненном или углубленном виде потому, что точные решения для большинства агрофизических и агрометеорологических процессов достаточно сложны и, как подчеркивает И.С. Шатылов, "во многих случаях микроскопичны, а необходимые для их анализа и отсчета параметры часто неизвестны и трудно доступны для измерения" [1, с. 73]. Имитационно-модельный метод в программировании урожая должен сочетаться с системой непрерывного агромелиоративного мониторинга, который позволяет не только корректировать эти имитационные модели, но и углублять степень нашего представления о взаимодействии всех элементов, входящих в разрабатываемую АСУ ТП.

В методическом отношении большое значение для постоянного почвенно-мелиоративного, агроклиматического и агрофизического мониторинга имеют стационарные точки наблюдений на воднобалансовых станциях (ВЭС), рекомендуемые САННИРИ. М.И. Гоголев, В.П. Шуштин [19] называют эти точки УСН (участки стационарных наблюдений). Однако главная сложность - в пространственной изменчивости состава и свойств почв.

Эталонирование УСН на массивы рекомендуется проводить по аэрокосмической информации в широком диапазоне волн электромагнитного спектра, т.е. в видимом спектре ($\lambda = 0,4+0,7$ мкм), инфракрасном ($\lambda = 0,8+12,5$ мкм), сверхвысокочастотном ($\lambda = 0,8+30$ см).

Для ВЭС нами разработаны принципы таксономического районирования, основанные на том, что ВЭС представительна для определенного мелиоративного таксона, для которого обязательны

- идентичность ландшафтных (по Дунину-Боровскому) и гидрогеологических (по Кацу) критериев;
- соблюдение критериев почвенного подобия (по Степанову);
- полное совпадение стадий мелиоративного и почвообразовательного процесса;
- идентичность параметров мелиоративного режима q_p/D ; h_c/h_k ; C_g/C_p (где q_p - оросительная норма, D - дренажный сток, h_c и h_k - глубина грунтовых вод и высота капиллярного поднятия, C_g/C_p - минерализация грунтовых и оросительных вод) и конструкции мелиоративных систем.

Моделирование блока "Развитие растений" в увязке с программами "Режим влажности почвы" ("Prog watt") и "Работа дренажа" проводится в имитационном режиме по данным, систематически получаемым

на основе наблюдений эталонных воднобалансовых станций (ЭВЭС). Адаптация моделей осуществляется на тех же ЭВЭС в условиях, близких к оптимальным. Для оценки влияния отклонений на прохождение фаз в реальном режиме на ЭВЭС и опытных полях необходимы статистические данные для установления поправочных коэффициентов и длины фазы и влияния на конечные показатели урожаев.

Применение оптимизационных моделей в программировании относится в основном к тем случаям, когда лимитирует данный этап или в данной обстановке лишь один или несколько детерминированных факторов, особенно в технологическом процессе.

Мы уже приводили пример вероятностно-оптимизационной задачи при выборе оптимальных сроков сева хлопчатника (рис.11). Другим таким же примером сложной технологической задачи является выбор срока и метода дефолиации хлопчатника (рис.12).

По аналогии с фазой всходов фаза созревания (от массового цветения до массового созревания) характеризуется определенными константами - суммой фазовых активных температур (например, для хлопчатника сорта 108-Ф $A_{созр.} = 1800^{\circ}\text{C}$) и порогом развития растений ($B_{созр.} = 15^{\circ}$). Тогда время от массового цветения до массового созревания коробочек $T_{созр.}$ составит

$$\sum_{t \in T_{созр.}} t^{\circ} - T_{созр.} \cdot B_{созр.} \geq A_{созр.}, \text{ при } \theta_s \geq [\theta_{smin}]. \quad (37)$$

При $\theta_s < [\theta_{smin}]$ в определение сроков созревания вносятся коррективы на изменение увлажнения:

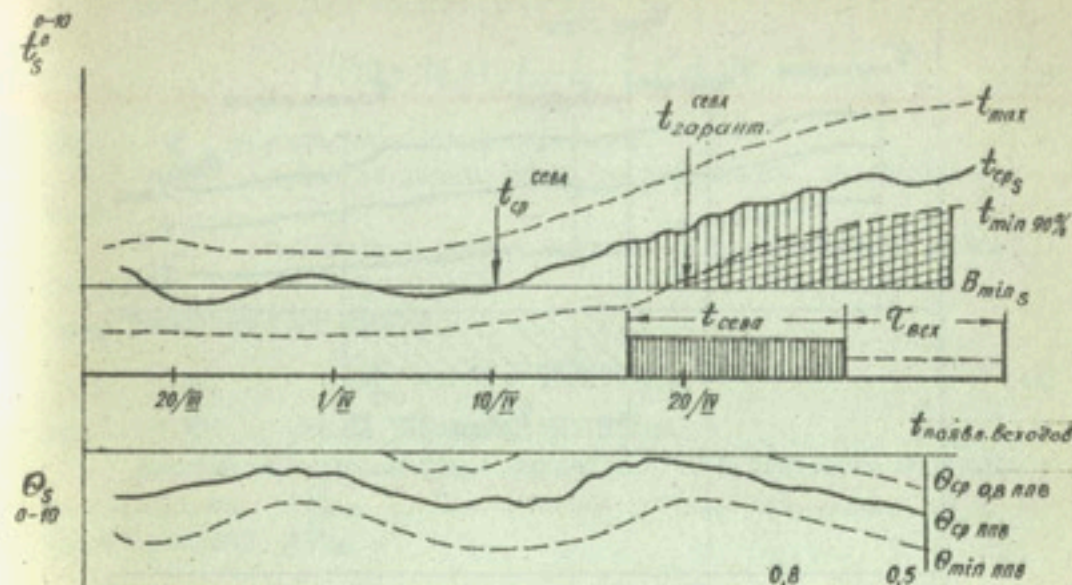
$$T_{созр.}(\theta) = T_{созр.} \cdot f^{\theta} \left(\frac{[\theta_{smin}] - \theta_s}{[\theta_{smin}]} \right). \quad (38)$$

Биологический урожай зависит от числа плодоеlementов, сформировавшихся на конец фазы массового цветения ($n_{фл.}$), уменьшающегося в зависимости от степени оптимальности условий прохождения фазы.

$T_{созр.}$ по влажности, температуре, площади листовой поверхности и т.д. Переменными здесь же являются время прохождения фазы n_{τ} и средняя масса коробочки $\bar{v}(\tau)$. $n(\tau)$ может быть выражено в виде бинала

$$n(\tau) = n_{фл.} \left(\frac{\sum t^{\circ} - T_{созр.} B}{A} \right)^{D_1} \cdot \left\{ \frac{[\theta] - \theta_s}{[\theta]} \right\}^{D_2} \cdot \left\{ \frac{LAJ}{[LAJ]} \right\}^{D_3}, \quad (39)$$

где LAJ - листовой индекс.



При различных
всходах

$$P_i = a_i \left\{ \frac{t_s^{\circ}}{[t_s]} \right\}^{A_i} + b_i \frac{[\theta_n] - \theta^{\theta_i}}{[\theta_n]};$$

при $t_s > [t_s]$ отношение равно 1.

$$T_{всх} = \frac{A}{t_s^{\circ} - B} \quad (\text{А.С. Подольский})$$

A - константная сумма эффективных температур, $^{\circ}\text{C}$ на фазу;

B - порог развития, $^{\circ}\text{C}$ (для хлопчатника $11,6^{\circ}\text{C}$);

t_s° - средняя температура воздуха.

РИС.11. К ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНЫХ СРОКОВ СЕВА

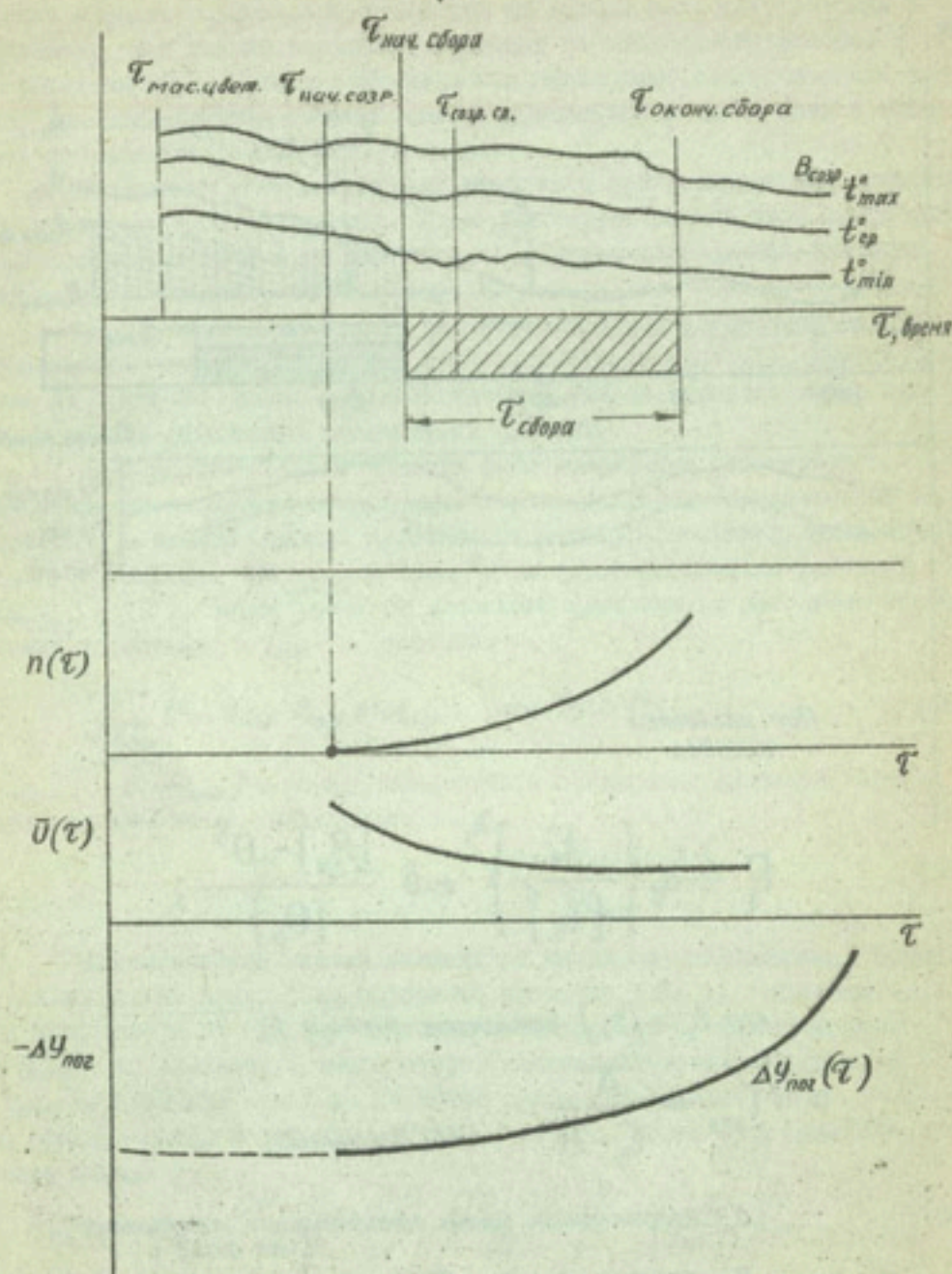


Рис. 12. К выбору сроков и методов дефолиации

Функция средней массы коробочки

$$\bar{U}(\tau) = U_0 \left[1 - \left(\frac{\tau}{\tau_{ср-созр}} \right)^{\lambda} \right], \quad (40)$$

где U_0 — начальная масса коробочки,
 τ — время от начала сбора до созревания последней коробочки;
 λ — показатель гиперболической функции снижения массы коробочек.

Биологический урожай

$$y_{биол} = n(\tau) \cdot \bar{U}(\tau) \cdot \xi, \quad (41)$$

где ξ — густота растений, тыс. шт./га.

Фактический урожай будет отличаться от прогнозного потерями от дефолиации $\Delta y_{деф}$, механических повреждений $\Delta y_{мех}$ и от погодных условий $\Delta y_{пог}$.

$$y_{ср} = y_{биол} - \Delta y_{деф} - \Delta y_{мех} - \Delta y_{пог}. \quad (42)$$

Сроки и методы уборки должны быть выбраны исходя из того, что по мере оттяжки сроков уборки от массового созревания урожая (60–80 % коробочек на растении) потери возрастают из-за дождей, заморозков и т.д. Кроме того, должны быть оценены потери от дефолиации в зависимости от метода и сроков обработки растений и от механических повреждений при уборке шпидельными или другими машинами. В результате срок и метод должен быть установлен исходя из условия:

$$y_f - y_{ср} \rightarrow \min,$$

но $\Delta y \cdot c_j \leq \Delta z_{sj}$,

т.е. сокращение потерь должно быть меньше, чем затраты на это сокращение.

Одновременно при построении технологических карт следует применять эвристический подход или метод экспертных оценок с возможной его проверкой на достоверность либо сопоставление эвристического подхода (основанного на содержательных реальных решениях) с методом экспертных оценок или аналогов.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДА ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Отличительная черта метода ПУ – учет особенностей каждого конкретного поля и дифференциации агротехнических приемов по складывающимся погодным условиям. В этом и состоит то существенно новое, что вносит с собой программирование по сравнению с традиционной технологией, разрабатываемой, как правило, с расчетом на "среднее" поле и среднепогодные агрометеорологические условия.

В рамках разработки этой проблемы НИО САННИИРи предложен к внедрению типовой макет паспорта поля, содержащий основную агрометеорологическую документацию участка, а также отдельные справочные данные и нормативные материалы, необходимые при разработке индивидуальных и научно обоснованных агротехнических мероприятий для конкретного поля. Агрометеорологический паспорт поля рассчитан на 10 лет для записей фактических характеристик данного участка и отдельных наблюдений с целью объективного анализа его состояния, динамики сельскохозяйственного производства и совершенствования технологии возделывания хлопчатника. В паспорте содержится информация о схеме участка, техническом состоянии коллекторно-дренажной сети (КДС), почвенная карта, карты обеспеченности участка фосфором, калием, гумусом, сведения о засоленности и засоренности поля, поражении болезнями и вредителями, фактической водоподаче и уровне грунтовых вод, материалы для оценки экономической эффективности, сведения об урожайности.

Знание основных почвенно-мелиоративных характеристик участка помогает бригадиром правильно вносить удобрения, совершенствовать структуру посевных площадей, применять эффективные схемы полива и промывок засоленных земель, в лучшие сроки проводить обработку почвы, эффективно использовать технику и, в конечном итоге, повышать урожайность. Стоимость паспортизации ≈ 10 руб./га, а годовой экономический эффект – 80–140. НИО САННИИРи уже провело на договорной основе паспортизацию полей на площади 23 тыс. га. Разработаны "Методические рекомендации по агрометеорологической паспортизации земель", намечено в 1969 г. провести эту работу на площади более 40 тыс. га. Закончилась разработка машинного варианта паспорта поля и создания информационной основы для программирования индивидуальной технологии на ЭВМ.

Для внедрения нового метода в широких масштабах в совхозе I^а им. Г. Тулупа Ильичевского района Сырдарьинской области установлен

вычислительный комплекс, состоящий из процессора СМ-2104, устройства оперативной памяти СМ 3102, устройств внешней памяти: классического СМ-5208, на магнитных дисках СМ-5402, на магнитных лентах СМ-5301, – устройства ввода – вывода (перфоленточное) СМ-6202, печатающего АЦПУ СМ-6300.01, видеотерминала СМ-7204, комплекта адаптеров КАМОН.

В 1986–1987 гг. нами решены две задачи блока "Технологический" и внедрены соответствующие машинные программы в хлопководских бригадах (площадь 2 тыс. га) данного совхоза. Это "Лимитная карта прямых затрат на сельскохозяйственное производство" и "Механизированный учет прямых затрат" на бригаду.

При разработке внешним машинным информационным обеспечением для лимитной карты были созданы следующие входные документы:

- 1) справочник прямых затрат на единицу объема;
- 2) ведомость объемов агроработ на конкретное поле;
- 3) кодификаторы оборудования агроработ и отдельных агротехнических операций.

Программная часть задачи, представленная на языке PL, следующая: программы 1) записи классификаторов (BF08), 2) ввода объема работ (BF08) в файл объемов (F08), 3) формирования лимитной карты (LIMK); описание программ печати справочника прямых затрат на единицу объема (SPRZP).

Результат работы программ, печатающийся в виде машинограммы на АЦПУ, представлен в виде фрагмента "предпосевные – посевные работы" на конкретную бригаду.

Для оперативной информации хозяйства и отдельных бригад о складывающихся реальных затратах была разработана и внедрена программа механизированного учета прямых затрат.

Главный источник информации – бригадный документ "Лимитная карта затрат" за текущий месяц, дополнительный – сводный чек бригады, который ежемесячно заполняется бригадиром по сложившимся затратам (на ГСМ, семена, удобрения, химические средства, транспорт, проведение работ другими подразделениями совхоза и пр.). Вся указанная информация передается в вычислительный комплекс совхоза.

Задача состоит из двух программ:

ASHI – по созданию файла прямых затрат по видам за текущий месяц;

ASH – по расчету и выдаче анализа прямых затрат за текущий месяц.

По запросу (как правило, раз в месяц) проводится машинный

анализ в форме сравнения лимита с фактическими затратами. Полученная информация является одновременно и бухгалтерским документом.

Приводим исходный документ (табл.3), который после распечатки поступает в бригаду, плановый отдел и бухгалтерию хозяйства, что позволяет указанным подразделениям осуществлять действенный учет и контроль за отпущенными средствами.

Т а б л и ц а 3

Анализ прямых затрат по хлопчатнику на август 1987 г.,
тыс.руб.

Совхоз 1^а им.Г.Гуляш
Отделение № 5
Бригада № 3
Бригадир Н.Зухуров

Статья затрат	Лимит по плану	Фактический расход с начала года	Остаток	Расходы за текущий месяц
Зарплата	39,970	16,877	-23,093	8,360
Семена	0,800	0,657	-0,143	0,000
ГСМ	2,330	0,698	-1,632	0,186
Удобрения	6,300	3,375	-2,925	3,375
Текущий ремонт	7,310	1,854	-5,456	0,269
Амортизация	8,430	6,944	-1,486	2,184
Химические средства	13,300	2,968	-10,332	2,968
Итого	78,440	33,373	-45,067	17,342

Внедрение в бригадах лимитной карты затрат, чековой системы и механизированного учета прямых затрат позволило хозяйству наладить четкий и гласный учет и контроль использования средств, сократить 5 штатных единиц, избежать приписок по расходованию материальных ресурсов, на 16 % снизить прямые затраты на сельскохозяйственное производство.

В 1987 г. разработан упрощенный способ выдачи "Индивидуальной технологической карты на поле" в привязке к уже внедренной в совхозе 1^а программе оперативного прогнозирования водопотребления.

По алгоритму, разработанному в САНИИГи, определяется суммарный запас влагообеспеченности растений, учитывающий все элементы водного баланса. Расчет и прогнозирование водопотребления (программа *PROGWAT*) происходят в следующем порядке:

1) в начальный период вегетации определяют послойно исходную влажность зоны аэрации до уровня грунтовых вод;

2) рассчитывают суммарный дефицит водопотребления на определенный интервал времени (декаду);

3) вычисляют прогнозируемое на декаду значение дефицита водопотребления;

4) определяют дату начала полива, поливную норму и потребность в поливе.

Зная количество дней, необходимое для межполвных агротехнических операций, и их последовательность, можно легко рассчитать и выдать на ЭВМ конкретные сроки проведения каждой операции (качественные показатели и их очередность берут из бригадной лимитной карты).

Подготовка данных для формирования таблицы мероприятий проводится в процедуре *OL* и *PROB*-10, печать осуществляется процедурой *TAB*. Исходный документ представлен в табл.4.

Упрощенный вариант выдачи индивидуальной технологической карты на конкретное поле, использованный в 1987 г. в трех бригадах совхоза 1^а, показал практическую нужность, высокую эффективность и получил одобрение специалистов хозяйства. Однако такой вариант расчета технологической карты - мера временная, так как основным методом является системный подход (в частности, принятый в блоке "Технологический"). В НИО САНИИГи проанализированы существующие динамические модели роста, развития и урожайности хлопчатника, осуществлены настройка и идентификация блока "Развитие растений", разработаны машинные программы для расчета потенциального и действительного возможного урожая на конкретном поле, на основе экспериментальных исследований и литературных материалов оценено влияние основных факторов на ростовые функции хлопчатника, рассчитаны потери урожая хлопка-сырца в зависимости от качественных и количественных показателей лимитирующих факторов, разработаны методика использования дистанционной информации (аэрокосмическая фотосъемка) для прогноза урожайности, алгоритмы технологических операций и машинные программы расчета норм внесения удобрений под уровень запланированного урожая, норм проливных поливов по контурам отдельного поля, сроков сева хлопчатника по складывающимся погодным условиям.

Закончить реализацию описанного системного подхода намечено в 1990 г. В этой работе принимает участие ряд научных подразделений НИО САНИИГи и группа сотрудников САНИИ им.Бугаева.

Программа проведения агротехнических мероприятий на поле
 Сокхоз 1^а им. Г. Гуляя
 Отделение 3
 Бригада 4
 Бригадир М. Джураев

Культура - хлопчатник
 Площадь - 60,0 га
 Прогнозируемая урожайность - 26,0 ц/га

Транспорт- ные удобрения	Разгрузка минеральных удобрений	Нарезка борозд с поперечной (P = 50 м/га)	Расклевка пшеницы	Начало посева	Поливная норма, м ³ /га	Уборка пшеницы	Начало уборки пшеницы без потерь	Начало второй сборки
07.06.87	07.06.87	08.06.87	10.06.87	11.06.87	870	16.06.87	18.06.87	19.06.87

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цели настоящей работы - осветить перспективы технологии программирования урожаев, пути ее практической реализации, а также ознакомить с методологическими основами создания АСУ ТП в хлопководстве.

Основными составляющими такой системы должны стать:

- автоматизированная база данных;
- система диалогового общения с ЭВМ;
- пакет программ, анализирующий агрономическую информацию и

вырабатывающий научно обоснованные технологические рекомендации.

Предлагаемые технологические операции должны основываться на высокоэффективном использовании имеющихся в хозяйстве средств и быть направлены на получение максимального экономически оправданного урожая сельскохозяйственных культур.

Разработка АСУ ТП в хлопководстве обещает внести радикальные изменения в технологическое обслуживание, приведет к упорядочению научных исследований, придав им строгую направленность на решение первоочередных задач, вытекающих в процессе обобщения накопленных наукой знаний.

В современном хлопководстве решение всего комплекса задач уже невозможно без широкого использования математического моделирования, ЭВМ, системного анализа, механизации и автоматизации процессов сбора и обработки данных. В развитии отрасли наступил такой момент, когда на поля вместе с комбайнами и другой техникой выходят компьютеры, помогающие специалистам хозяйства в организации и управлении сельскохозяйственными процессами, получении высоких и стабильных урожаев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивтилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические основы программирования урожая. - Л.: Гидрометеоиздат, 1980. - 318 с.
2. Тромбинг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1984. - 264 с.
3. Ивтилов В.А., Чудновский А.Ф. Моделирование агрометеорологических условий и оптимизация агротехники (АСУ ТП в земледелии). - Л.: Гидрометеоиздат, 1984. - 260 с.

4. Галлямин Е.П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 272 с.
5. Бондаренко Н.Ф., Жуковский В.Е. Моделирование продуктивности агроэкосистем. - Л.: Гидрометеоиздат, 1982. - 264 с.
6. Полуэктов Р.А. Имитационные модели продуктивности агроэкосистем // Науч. тр. / АЭИ. - Л., 1979. - С.14-23.
7. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплого режима и продуктивности агроэкосистем. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 164 с.
8. Справочник по программированию урожаев / Кикимов М.Ф. - М.: Россельхозиздат, 1977. - 187 с.
9. Егоров В.В. Единство материального и энергетического в плодородии почв // Вестник сельскохозяйственной науки. - 1985. - № 11. - С.33-36.
10. Нечипорович А.А. Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. - М., 1963. - 41 с.
11. Уразбаев И.У., Ли В.Н. Гумус как критерий бонитировки орошаемых почв // Тез. докл. VII съезда Всесоюз. общ-ва почвоведов. - Ташкент, 1985. - С.80.
12. Cooke G.W. Fertilising for maximum yield. - London. - 1992. - 453 p.
13. Дегостаев В.М. Мелиорация засоленных земель. - Т.: Госиздат УзССР, 1959. - 160 с.
14. Горбачев Р.М. Разработка вопросов эффективности переустройства ГМС в нижнем течении Амударьи // Науч.-техн. отчет САНБИРИ, № 5258. - 1960. - 130 с.
15. Подольский А.С. Фенологический прогноз. - М.: Колос, 1974. - 120 с.
16. Нерзин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе "растение - почва - воздух". - Л.: Гидрометеоиздат, 1975. - 385 с.
17. Духовный В.А. Водохозяйственный комплекс в зоне орошения. - М.: Колос, 1984. - 107 с.
18. Witt C.T. de. Transpiration and crop yields. - Agr. Res. Rep., - 1958. - P. 87.
19. Гоголев М.Н., Чудиш В.П. Контроль орошаемых земель степной зоны при программировании урожаев сельскохозяйственных культур // Науч. тр. / ВАСХНИЛ. - 1985. - № 6. - С.39-41.

Материал поступил 24.II.88

В.А.Духовный, С.А.Нерзин

Введение	3
Границы подсистемы "Программирование урожая" и ее место в общей проблеме повышения эффективности сельского хозяйства	7
Структура составляющих и связи между ними	10
Основные уровни продуктивности, агрегирование элементов и построение иерархии программирования	17
Состав и взаимосвязи в подсистемах	33
Определение факторов, влияющих на снижение реального урожая	45
Методика программирования урожая	46
Разработка и внедрение элементов метода программирования урожая в сельскохозяйственное производство	52
Заключение	57
Список литературы	57

Виктор Абрамович Духовный,
Сергей Алексеевич Нерозин
Программирование урожая (системный под-
ход в приложении к мелиорации) (обзор)
Ответственная за выпуск Э.В.Крайнова
Редактор М.Р.Шакирова

Техред-машинистка О.А.Фадеева
УзНИИНТИ, 700003, Ташкент, Алмазар, 171

Подписано в печать 13.02.89	Формат бумаги 60x84 1/16
Печ.л. 3,75 Усл.п.л. 3,49 Уч.-изд.л. 3,4	Усл.кр.-от. 3,95 Р 04550
Изд. № 836/88	Тираж 540

Печатно-множительный отдел

Заказ № 201