

АГРОНОМИЯ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 631.559

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЯ: ОТ ИДЕИ К ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИЯМ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В.И. Филин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Волгоградский государственный аграрный университет

В статье изложены основные результаты НИР по проблеме программирования урожая учёных Волгоградского СХИ – ВГСХА (ныне ВолГАУ) в 1952-2010 гг.

Ключевые слова: программирование урожая, теория, технологии, системный подход, моделирование, управление, фотосинтез, водный режим, удобрение.

Во второй половине XX столетия одной из самых актуальных проблем аграрной науки являлось программирование урожая сельскохозяйственных культур. Впервые идея «оптимального программирования урожая» была сформулирована и высказана учёными Волгоградского СХИ А.А. Климовым и Г.П. Устенко в 1952 г. на научной конференции. В последующие годы успешные эксперименты волгоградских учёных способствовали активной трансформации этой новаторской идеи сначала в теоретические гипотезы, а затем и методику по получению заранее рассчитанных урожаев сельскохозяйственных культур в агроклиматических условиях Нижнего Поволжья. С 1965 г. проблема программирования урожая в Волгоградском сельскохозяйственном институте становится важнейшей по значимости, что позволило более широко развернуть теоретические и прикладные исследования, направленные на обоснование и совершенствование методологии оптимального программирования урожая и разработку технологических программ формирования максимально возможных урожаев озимой пшеницы, кукурузы на зерно и зеленую массу, люцерны на сено и др.

В 1971 г. профессора А.А. Климов, Г.Е. Листопад и Г.П. Устенко публикуют первую в стране монографию «Программирование урожая (Постановка и обоснования проблемы)», в которой предлагается как вариант решения крупной фундаментальной проблемы современного земледелия новый научный метод, позволяющий на основе общей концепции связывать между собой обширные знания, накопленные наукой и передовой практикой в области современной биологии (физиология растений, селекция и семеноводство, генетика, морфофизиология и др.) и агрономии (земледелие, растениеводство, агрохимия и др.), чтобы в каждом конкретном случае находить наиболее выгодные оптимальные их сочетания и тем достигать наибольших урожаев и других производственных результатов. Можно считать, что в данной монографии подведены итоги первого этапа многолетних научно-исследовательских работ коллектива ученых Волгоградского СХИ по решению проблемы программирования урожая (1952-1971 гг.) [2].

Следует отметить, что в 60-х годах XX в. к экспериментам по программированию урожая приступили многие ведущие сельскохозяйственные вузы, НИИ АН СССР, ВАСХНИЛ. Однако учитывая, что инициаторами проблемы программирования урожая в нашей стране являются волгоградские учёные, к тому времени имевшие уже впечатляющие научные и практические достижения, Научный совет по проблемам почвоведения и мелиорации почв совместно с секцией «Теоретические проблемы земледелия будущего» АН СССР провели в декабре 1971 г. на базе Волгоградского сельскохозяйственного института первое в истории Всесоюзное совещание по проблеме «Оптимальное программирование урожая сельскохозяйственных культур».

Высокая эффективность программированного выращивания урожая, обеспечивающего в производственных условиях увеличение продуктивности посевов ведущих сельскохозяйственных культур в 1,5-2,0 раза по сравнению с уровнем, достигнутым хозяйствами Поволжья, а также многочисленные просьбы научных сотрудников, преподавателей вузов, специалистов и руководителей хозяйств послужили объективными предпосылками и стимулом к опубликованию в 1975 г. второй монографии «Программирование урожая: Сущность метода» (авторы Г.Е. Листопад, А.А. Климов, А.Ф. Иванов, Г.П. Устенко). В этой книге подведены итоги второго этапа научно-исследовательских работ, который характеризовался не только усиленной разработкой теоретических основ программирования, но и появлением новых технологий - агрокомплексов возделывания сельскохозяйственных культур, создаваемых с помощью и на основе метода оптимального программирования урожая. В монографии в логической последовательности изложены сущность метода программированного возделывания сельскохозяйственных культур, его общие теоретические и агробиологические основы, функциональное моделирование посевов с использованием ЭВМ, технические средства получения исходной информации, сетевые графики планирования работ, а также технологии программированного выращивания урожая в производственных условиях [7].

Научные труды волгоградских учёных-программистов были широко известны в стране и за рубежом, они получили признание и высокую оценку учёных, специалистов и работников сельского хозяйства. В 1980 г. вторая монография «Программирование урожая: Сущность метода» была переведена на немецкий язык и издана в Берлине [2, 7, 8, 1, 3].

Отмечая большую народнохозяйственную значимость проблемы программирования урожая и весомый вклад волгоградских учёных в ее обоснование и разработку, Государственный Комитет Совета Министров СССР принял решение (от 13 августа 1974 г. №49) об открытии при Волгоградском сельскохозяйственном институте первой в нашей стране специализированной Опытной станции по программированию урожая. В соответствии с приказом Министра сельского хозяйства СССР от 4 декабря 1974 г. №553 Опытная станция по программированию урожая организована на базе существовавшей в вузе научно-исследовательской лаборатории.

Директором Опытной станции по программированию урожая (ОСПУ ВСХИ) был назначен Филин В.И., который со дня организации беспрерывно на протяжении 1975-1998 гг. руководил научно-исследовательской работой коллектива научных сотрудников, преподавателей и аспирантов.

В 80-е годы XX столетия уже не было в Советском Союзе ни одной республики, края и области, в которых бы не проводились научно-исследовательские работы, так или иначе связанные с программированным возделыванием сельскохозяйственных культур. В решении этой актуальной проблемы современного земледелия участвовали около 60 вузов, научных учреждений и вычислительных центров ВАСХНИЛ, АН СССР, Министерства сельского хозяйства СССР, РСФСР и других союзных республик, Минводхоза СССР, Гидромета и других государственных ведомств [5, 9, 10, 13].

В результате многолетних исследований, координируемых Советами «Программирование урожая сельскохозяйственных культур» при Президиумах ВАСХНИЛ и ВРО ВАСХНИЛ (в состав координационных Советов входили Г.Е. Листопад, А.Ф. Иванов, А.А. Климов, В.И. Филин), были созданы общая теория программирования урожая и методология разработки принципиально новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур, подготовлены

региональные руководства, методические указания и рекомендации по программированию продуктивности посевов во всех почвенно-климатических зонах страны [2, 7, 8, 14, 19, 20, 5, 9, 10].

Согласно концепции, разработанной волгоградскими учеными, программирование урожая должно основываться на научно обоснованном прогнозировании поэтапного его формирования, предусматривать возможные приемы и средства оптимизации основных факторов жизни растений с целью управляющих воздействий на процессы формирования урожая на основе оперативной информации, обрабатываемой ЭВМ по специальным компьютерным программам [2, 7, 8, 1]. Такая постановка задачи является вполне корректной, так как в качестве биологической основы оптимального программирования урожая приняты уже установленные закономерности фотосинтетической деятельности растений в посевах, определяющей максимально возможную величину первичного образования органических веществ [6, 15, 12].

В прямых экспериментах получило подтверждение, что величина потенциальной урожайности в благоприятных (оптимальных или близких к оптимуму) агрометеорологических условиях (прежде всего тепло- и влагообеспеченность, относительная влажность воздуха) зависит от прихода фотосинтетически активной радиации - ФАР, генотипа культуры (C_3 – растения, C_4 – растения, сорт, гибрид) и технологии возделывания. При этом показано, что в сравнимых условиях радиационного режима при нормальных уровнях влагообеспеченности и минерального питания, разные культурные растения, существенно различающиеся по морфологии, образуют агрофитоценозы, поглощающие до 90-95% энергии ФАР входящей в посев, и формируют при этом площадь листьев, которая в большинстве случаев оказывается близкой к оптимальной [1, 2, 7, 8, 3].

Таким образом, агрофитоценозы, как любые биологические системы, имеют вполне определенные параметры функционирования, при которых оно осуществляется с максимальным эффектом. В ходе оптимизационных воздействий на растения и среду их произрастания важное значение имеет правильный выбор и обоснование критерия оптимальности продукционного процесса агрофитоценозов. Наиболее корректно урожаям различных культур сравнивать между собой, рассматривая их как определенную часть накопленной в процессе фотосинтеза энергии (КПД приходящий и поглощенный ФАР).

Выбор КПД приходящий ФАР в качестве главного критерия оптимальности функционирования агрофитоценозов обусловлен еще и тем, что солнечная радиация является не только движущей силой фотосинтеза, но и определяющим фактором многих важнейших процессов в жизни растений (транспирация, поглощение элементов питания, фотопериодизм, морфогенез, онтогенез и др.) [2, 7, 6, 10, 15].

Теоретически высокопродуктивные агрофитоценозы в состоянии поглощать до 50-60% ресурсов ФАР, поступающей в течение вегетации и могут аккумулировать в своей биомассе до 11,4% поглощенной (при допущении восьмиквантового расхода фотосинтеза, независимо от интенсивности освещения). Однако в работах А.А. Ничипоровича [12], Г.П. Устенко [2, 7] указывается, что в реальных посевах в полевых опытах квантовый расход фотосинтеза величина переменная (от 13-14 до 30-40 и более). Учитывая экспериментальные данные, полученные учеными разных стран и доложенные на Международном симпозиуме «Продуктивность фотосинтезирующих систем» максимально возможный коэффициент использования самыми совершенными агрофитоценозами приходящей ФАР для C_3 – растений принимается равным 5-6 %, а для C_4 – растений он может достигать 6-8% [12].

Необходимо отметить, что в настоящее время в большинстве случаев производственными посевами сельскохозяйственных культур в нашей стране

используется на формирование урожаев всего лишь 1,0-1,5% ресурсов поступающей ФАР [18].

Следовательно, теория программирования урожая научно обосновывает принципиальную возможность многократного увеличения урожайности всех выращиваемых культур в Российской Федерации. Для того, чтобы практически реализовать указанную возможность, прежде всего надо знать и уметь как создавать на поле агрофитоценозы, обладающие мощным фотосинтетическим потенциалом (ФП), способные поглотить заданное количество лучистой энергии (ФАР). Многолетние исследования коллектива ученых Волгоградского СХИ (ВГСХА – Волгоградского ГАУ) позволили теоретически обосновать и экспериментально подтвердить положение, что посевы сельскохозяйственных культур потенциально способны сформировать урожаи, аккумулирующие 3-4 % приходящей ФАР и более, должны иметь фотосинтетический потенциал (ФП) не ниже 2,5 млн м²·дней в расчете на каждые 100 суток фактической вегетации.

В полевых опытах ОСПУ ВСХИ при комплексной оптимизации всех регулируемых факторов жизни растений с использованием научных разработок по программированию урожая удалось резко увеличить продуктивность посевов всех изучаемых сельскохозяйственных культур (в 2-3 раза и более) [16].

Таким образом, принимая, что биологической основой формирования урожаев является фотосинтетическая деятельность растений, эффективность которой оценивается значением КПД приходящей ФАР, можно логику программирования урожая представить в виде нескольких связанных между собой этапов: 1) определение величины потенциальных урожаев (ПУ) сельскохозяйственных культур в конкретном регионе; 2) определение действительно возможных урожаев сельскохозяйственных культур (ДВУ); 3) выявление причин несоответствия фактических урожаев (в опытах, в хозяйствах) величине ДВУ; 4) разработка и осуществление комплексов агромероприятий (более совершенных технологий), обеспечивающих формирование действительно возможных урожаев (ДВУ).

Величина потенциального урожая (ПУ биол.) рассчитывается по следующей формуле:

$$ПУ_{биол.} = \frac{K \sum Q_{ФАР}}{k \cdot 10^5},$$

где ПУ биол. – биологический урожай абсолютно сухой биомассы, т/га; Q_{ФАР} – поступление ФАР в течение вегетации культуры, кДж/га; K – коэффициент использования ФАР агрофитоценозом, %; k – калорийность органического вещества данной культуры, кДж/кг.

В таблице 1 приведены данные, характеризующие теоретически возможную продуктивность агрофитоценозов, непрерывно вегетирующих в течение всего теплого периода года (t >10 °С) в Поволжье при различном уровне использования ресурсов приходящей ФАР. Следует пояснить, что в теории программирования понятие «потенциальная продуктивность» означает величину урожайности определенной культуры, которая энергетически обеспечивается при заданном коэффициенте использования приходящей ФАР в оптимальных для нее условиях произрастания в течение всего вегетационного периода.

Таблица 1 – Теоретически возможная продуктивность агрофитоценозов в зависимости от использования поступающей ФАР, т/га абсолютно сухой биомассы

Область, республика	Технический КПД ФАР за период с температурой t>10 °С, %					
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Самарская	4,19	8,38	16,76	25,14	33,52	41,90
Саратовская	4,31	8,62	17,24	25,86	34,48	43,10
Волгоградская	4,50	9,00	18,00	27,00	36,00	45,00
Астраханская	4,88	9,76	19,52	29,28	39,04	48,80

Республика Калмыкия	4,81	9,62	19,24	28,86	38,48	48,10
------------------------	------	------	-------	-------	-------	-------

В таблице 2 показана потенциальная продуктивность посевов ряда зерновых и кормовых культур, возделываемых в Нижнем Поволжье.

Таблица 2 – Потенциальная урожайность сельскохозяйственных культур при разных КПД приходящей за вегетацию ФАР, т/га

Культура	Приход ФАР за вегетацию, млрд. кДж/га	Технический КПД ФАР за вегетацию, %					
		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Яровая пшеница, зерно	8,67	1,07	2,14	4,28	6,42	8,56	10,70
Озимая пшеница, зерно	9,84	1,20	2,40	4,80	7,20	9,60	12,00
Кукуруза, зеленая масса	10,26	10,50	21,00	42,00	63,00	84,00	105,00
Люцерна, зеленая масса	12,57	16,70	33,40	66,80	100,20	133,60	167,00

Степень благоприятности климата и погодных условий для конкретных сельскохозяйственных культур может быть охарактеризована отношением реального урожая к потенциальной продуктивности посевов. Величину урожая, недополучаемого в любом регионе из-за неблагоприятных агрометеорологических факторов и явлений, определяют по следующей формуле:

$$Y = (1 - K_{БК}) \cdot Y_{ПВ},$$

где $K_{БК}$ – коэффициент благоприятности климата, изменяющийся в интервале 0-1,0; $Y_{ПВ}$ – потенциальный урожай при заданном КПД приходящей ФАР, т/га.

Таким образом, реально возможные урожаи любой культуры в конкретных агроклиматических условиях природной зоны всегда ниже потенциальных урожаев, рассчитанных по поступлению и утилизации энергетического фактора фотосинтеза (ресурсы ФАР) на определенную величину, зависящую от степени благоприятности для неё условий произрастания.

Теория программирования урожая позволяет обосновать и экспериментально установить в каждой природной зоне комплексе наиболее значимых факторов, оказывающих в полевых условиях совокупное действие, обеспечивающее гарантированное получение, как минимум, 85-90 % реально достижимой урожайности. В многолетних экспериментах учёными Волгоградского СХИ было доказано, что при программировании урожаев зерновых, кормовых, технических и овощных культур, аккумулирующих до 3,5-5,0 % приходящей ФАР, можно из всего множества факторов ограничиваться комплексным учётом следующих: биологического потенциала продуктивности культуры (сорта, гибриды) и структуры посева (густота стояния растений, размещение их по площади); агрофизических свойств почвы и влагообеспеченности растений; наличия в почве доступных растениям питательных веществ и ресурсов органических и минеральных удобрений (НРК, микроэлементы); поступления фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР), тепловых ресурсов и температурного режима территории (продолжительность периодов со среднесуточной температурой воздуха выше 0 °С, +5 °С, +10 °С); способа и глубины обработки почвы; концентрации углекислого газа (CO₂) в приземном слое атмосферы (активная зона посева) [2, 7, 8, 3, 1].

В разных экологических условиях любой из вышеперечисленных факторов способен в той или иной степени ограничивать реальную продуктивность агрофитоценозов. Однако в большинстве природных зон страны главными факторами, лимитирующими урожайность сельскохозяйственных культур, являются влагообеспеченность и уровень минерального питания растений [9, 5, 10, 13].

Условия влагообеспеченности и тепловой режим, складывающиеся в конкретном регионе (хозяйстве) могут быть в первом приближении охарактеризованы отношением эвапотранспирации за периоды вегетации E (мм) к испаряемости за то же время E_o , известным в агрометеорологии как коэффициент увлажнения K_v :

$$K_v = \frac{E}{E_o} = \frac{W_H - W_K + P}{E_o},$$

где W_H и W_K – запас продуктивной влаги в активном слое почвы в начале и конце вегетации, мм; P – сумма атмосферных осадков за расчетный период, мм.

Величину испаряемости E_o определяют по формуле Н.Н. Иванова:

$$E_o = 0,0018(25 + t^\circ)^2(100 - \alpha),$$

где E_o – испаряемость за месяц, мм; t° – среднемесячная температура воздуха, $^\circ\text{C}$; α – средняя за месяц относительная влажность воздуха, %.

Потребность агрофитоценоза в воде в численном выражении принимается равной эвапотранспирации (суммарному испарению с поверхности почвы и транспирации) при оптимальной влагообеспеченности растений. В специальных исследованиях установлено, что если в целом за вегетацию сельскохозяйственных культур между величинами эвапотранспирации и испаряемости отмечается прямая корреляционная зависимость, то по отдельным периодам формирования урожая на динамику эвапотранспирации, помимо факторов внешней среды, существенное влияние оказывает характер роста и развития растений [7, 8, 16].

В связи с этим при определении эвапотранспирации E по отдельным этапам органогенеза или фенологическим фазам (периодам вегетации) более точные результаты дает использование биоклиматических коэффициентов в следующих уравнениях:

$$E = K_t \cdot \sum t \text{ и } E = K_d \cdot \sum d$$

где K_t – модуль расхода влаги в расчете на 1°C , мм; $\sum t$ – сумма среднесуточных температур воздуха за расчетный период, $^\circ\text{C}$; K_d – модуль расхода влаги в расчете на 1 гПа, мм; $\sum d$ – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за расчетный период, гПа.

В полевых экспериментах установлено, что при влагозапасах 75-100% наименьшей влагоемкости почвы (НВ) агрофитоценозы как саморегулирующиеся биологические системы способны осуществлять фотосинтетическую деятельность на высоком уровне, успешно адаптируясь к изменяющимся условиям влагообеспеченности [7, 16, 18].

Теория управления водным режимом агрофитоценозов позволяет достаточно точно решать две взаимосвязанные оптимизационные задачи: во-первых, определять необходимые для получения запрограммированного урожая ресурсы воды и, во-вторых, обеспечивать путем поливов своевременное восполнение дефицита водного баланса в системе «почва-растение-атмосфера». Варианты решения первой задачи показаны выше, а для второй задачи успешно использованы осредненные за 4-10 лет биоклиматические коэффициенты K_t и K_d и кривые суммарного испарения, совмещенные со шкалой биологического времени вегетации конкретных сельскохозяйственных культур, в качестве которого принята нарастающая сумма среднесуточных температур с даты посева или всходов [16].

На Опытной станции по программированию урожая для управления водным режимом агрофитоценозов разработаны более 20 комплексных биолого-математических моделей прогнозирования эвапотранспирации посевов зерновых, кормовых и овощных культур [16, 17]. Структура и параметры одной из них приведены в таблице 3 (точность прогностических расчетов даты полива $\pm 1-2$ суток).

Таблица 3 – Параметры комплексной биолого-математической модели прогнозирования эвапотранспирации посевов среднеспелых гибридов кукурузы в процессе формирования урожая зерна в Нижнем Поволжье

Период вегетации	Средняя продолжительность периода, дни	Формула прогнозирования эвапотранспирации, мм	Сумма температур за межфазный период, °С	Нормативное водопотребление за расчетный период, мм
Посев – всходы	13 \pm 3	$E_0=0,090\Sigma t_1$	238	21,4
Всходы – 6 листьев	16 \pm 3	$E_0=0,130\Sigma t_2$	284	36,9
7-12 листьев	20 \pm 4	$E_0=0,186\Sigma t_3$	395	73,5
13-17 листьев	18 \pm 2	$E_0=0,200\Sigma t_4$	408	81,6
Выметывание – цветение початка	10 \pm 2	$E_0=0,226\Sigma t_5$	219	49,5
Формирование зерна – молочная спелость	22 \pm 2	$E_0=0,195\Sigma t_6$	503	98,1
Молочная спелость – созревание	31 \pm 2	$E_0=0,160\Sigma t_7$	625	100,0
Посев – созревание	130	$E_0=0,173\Sigma t_{1-7}$	2672	461,0

При оптимальной влагообеспеченности посевов (75-100 % НВ) продуктивность растений в решающей степени зависит от условий минерального питания. Согласно теории программирования урожая оптимизация минерального питания растений осуществляется на основе точного учёта их потребностей в элементах питания для формирования заданной урожайности и уровня почвенного плодородия [1, 3, 16]. При разработке системы применения удобрений в севообороте, обеспечивающей формирование планируемых урожаев, в принципе теоретически возможны следующие концепции:

1) внесение под все культуры севооборота умеренных доз удобрений, в сочетаниях, способствующих, с одной стороны, получению сравнительно высоких урожаев, а с другой – максимальной мобилизации и использованию почвенных ресурсов элементов питания;

2) применение удобрений в дозах, обеспечивающих получение высоких урожаев хорошего качества и поддержание эффективного плодородия почвы на

исходном уровне (в этом случае дозы NPK – удобрений должны соответствовать выносу элементов питания полученными урожаями);

3) насыщение севооборота удобрениями до состояния, необходимого не только для получения максимальных урожаев высокого качества, но и одновременного повышения эффективного плодородия почвы.

Многолетние исследования, проведенные нами на зональных почвах Нижнего Поволжья, подтверждают целесообразность дифференцированного подхода к определению доз каждого из элементов питания. Так, при установлении доз калия под программируемый урожай можно использовать первую концепцию, так как почвы региона имеют повышенную и высокую обеспеченность подвижным калием, и допустим отрицательный баланс по этому элементу без ущерба для эффективного плодородия. При определении доз фосфора под программируемый урожай приемлемо использование всех трёх концепций: всё зависит от обеспеченности почв конкретных полей подвижным фосфором, которая даже в пределах одного хозяйства (севооборота) может варьировать от низкой до очень высокой. Для стабильного получения высоких урожаев всех культур при орошении в зональных почвах необходимо создавать и поддерживать бездефицитный баланс азота. При определении доз азота руководствуются второй и третьей концепциями, предусматривая оптимальное сочетание азотных минеральных удобрений с органическими, бактериальными удобрениями и возделыванием бобовых культур. Для системы орошаемого земледелия Волгоградской области с программным выращиванием урожаев сельскохозяйственных культур нами разработана специальная методика расчёта доз удобрений по нормативному выносу NPK урожаями с использованием коэффициентов дифференцированного возмещения элементов питания в почву [14, 11, 4].

Расчет доз удобрений под программируемый урожай ведется по следующему алгоритму, реализованному в виде программного обеспечения к современным компьютерам:

1) по зональным данным определяется нормативный вынос каждого элемента питания возделываемой культуры, в кг на 1 т основной продукции урожая, характеризующий биологическую потребность растений в минеральном питании ($N_{БП}$, $P_{БП}$, $K_{БП}$);

2) нормативный вынос элемента питания (NPK), кг/т, умножается на величину планируемого урожая $U_{ПЛАН}$, т/га, для определения общего выноса (кг/га д.в.), который принимается за исходную дозу соответствующего удобрения (H_N , $H_{P_2O_5}$, H_{K_2O}):

$$H_N = N_{БП} \cdot U_{ПЛАН}; \quad H_{P_2O_5} = P_{БП} \cdot U_{ПЛАН}; \quad H_{K_2O} = K_{БП} \cdot U_{ПЛАН};$$

3) по агрохимическим картограмм устанавливают классы обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия на конкретном поле (или его части). В зависимости от фактического содержания подвижного фосфора и калия осуществляют дифференциацию исходных доз удобрений ($P_{РАСЧ.}$, $K_{РАСЧ.}$), применяя специально разработанную шкалу коэффициентов возмещения выноса этих элементов из почвы урожаями ($K_{ВР} = 0,5-1,75$; $K_{ВК} = 0,25-1,50$):

$$P_{РАСЧ.} = H_{P_2O_5} \cdot K_{ВР}; \quad K_{РАСЧ.} = H_{K_2O} \cdot K_{ВК};$$

4) исходную дозу азотного удобрения (H_N) корректируют в зависимости от степени окультуренности почвы, ее гранулометрического состава, вида предшественника и выращиваемой культуры (сорт, гибрид), уровня планируемой урожайности путем применения коэффициентов возмещения выноса азота ($K_{ВН}$):

$N_{\text{РАСЧ.}} = N_N \cdot K_{\text{ВН}}$ (при этом $K_{\text{ВН}}$ для небобовых культур изменяются в пределах 0,7-1,1, а для бобовых - 0,4-0,5);

5) дифференцированные в зависимости от комплекса факторов расчетные дозы НРК используют при составлении технологических планов применения удобрений для получения запрограммированных урожаев сельскохозяйственных культур на конкретных полях севооборотов.

Согласно теории программирования для оптимального управления продукционным процессом агрофитоценозов требуются математико-статистические или функциональные динамические модели формирования урожая конкретных сельскохозяйственных культур (сорта, гибриды). Таких моделей разработано уже довольно много, и они успешно применяются в практических и исследовательских целях по оптимизации регулируемых факторов во время вегетации растений [2, 7, 20, 16, 17].

Однако, чтобы осуществлять оптимальное управление ходом формирования урожая, необходимо своевременно получать и обрабатывать всю нужную для этого информацию о состоянии посева на данном поле. По своей сути и приемам управления методология программирования урожая близка к автоматизированным системам управления технологическими процессами (АСУ ТП). В качестве примера приведем одну из разработанных и апробированных схем управления запрограммированным выращиванием сельскохозяйственных культур: 1) информация о факторах, обуславливающих урожай, поступает к агроному-оператору, который после проверки данных вводит цифровой материал в компьютер; 2) компьютер по соответствующим программам обрабатывает поступившую информацию и выдает результаты агроному-технологу; 3) на основе полученных данных агроном-технолог принимает решение о проведении необходимого агротехнического, агрометеорологического приема или защитного мероприятия на конкретном поле и передает его непосредственным исполнителям, которые в указанные сроки приступают к нужному воздействию (проведению полива, внесению удобрений, рыхлению почвы, химической прополке и т.п.) [7].

Получение запрограммированного урожая обеспечивается согласованным взаимодействием прогностической, оперативно-текущей и корректирующей компьютерных программ. Прогностическая программа просчитывает в динамике планируемое нарастание общей биомассы урожая (или его хозяйственно-ценной части) от даты всходов до созревания или достижения укосной спелости. Расчёты могут производиться по динамической (имитационной) модели с использованием самых разных производственных функций (линейных, квадратных, степенных, экспоненциально-степенных и др.), удовлетворительно описывающих закономерности нарастания биомассы растений в течение вегетационного периода в зависимости от математических ожиданий всех учитываемых факторов. Оперативно-текущая программа просчитывает то же самое уже по фактическим значениям всех факторов и отражает реальное нарастание биомассы растений в сложившихся условиях. В случае существенного расхождения на том или ином этапе данных по формированию урожая, предусмотренных прогностической программой и фактически полученных по оперативно-текущей программе применяется специальная программа коррекции. Её главная задача заключается в быстром определении минимально достаточного и максимально допустимого времени, требующегося для осуществления тех или иных воздействий на посев, и расчете нужных для коррекции численных значений регулируемых факторов [7].

В ходе многолетних исследований, выполненных в 1975-2010 гг. на Опытной станции по программированию урожая и кафедре агрохимии Волгоградской ГСХА

(ныне ВолГАУ), теоретически обоснованы, разработаны и успешно апробированы в производственных условиях базовые модели технологий для получения максимальных действительно возможных урожаев зерновых, зернобобовых, кормовых, овощных культур и картофеля на орошаемых землях Нижнего Поволжья: озимой пшеницы – 7,5-9,5 т/га, кукурузы на зерно – 10,0-15,0 т/га, зернового сорго – 7,5-8,0 т/га, яровой пшеницы – 5,5-6,5 т/га, сои – 3,2-3,5 т/га, люцерны – 20-27 т/га сена, кукурузы – 100-157 т/га зеленой массы, кукурузы в смеси с сахарным сорго – 100-120 т/га, однолетних кормовых культур за 2-3 урожая в год – до 140-160 т/га зеленой массы, столовой моркови – 80-90 т/га, лука репчатого – 80-100 т/га, картофеля – 50-60 т/га.

Производственная проверка базовых моделей программированных технологий, проведенная в учебно-опытном хозяйстве «Горная Поляна» и других сельскохозяйственных предприятиях Волгоградской области, показала, что при квалифицированном выполнении всего комплекса технологических операций при орошении обеспечивается высокая вероятность получения заданной продуктивности посевов (не менее 0,90-0,95 в зависимости от возделываемой культуры) в разные по погодным условиям годы.

На основе базовых моделей технологий по специальным алгоритмам в 1977-1987 гг. разрабатывались для конкретных хозяйств с учетом их ресурсного и технического потенциала дифференцированные по полям севооборотов организационно-технологические проекты для получения запрограммированных урожаев. Организация внедрения программированного выращивания урожаев была возложена в Волгоградской области на областной информационно-вычислительный центр, Опытную станцию ВГСХА и ВНИИОЗ. В 1983-1990 гг. площадь программированных посевов возросла с 29,5 до 100 тыс.га, обеспечив существенное повышение урожайности зерновых, кормовых и овощных культур (на 20-30% и более). Примерно такими же темпами увеличивались площади освоения программированных технологий в стране, успешно решая задачу получения на мелиорированных землях, как минимум, проектной урожайности сельскохозяйственных культур. В 1983 г. программирование урожая было осуществлено на 1,0 млн га, в 1985 г. – на 3,34 млн га, а в 1990 г. на 6,49 млн га.

Таким образом, общая теория оптимального программирования урожая в создание которой большой вклад внесли волгоградские учёные, и базовые модели технологий программированного возделывания сельскохозяйственных культур впервые позволили в значительной мере преодолеть эмпиризм в агротехнике и на основе системного подхода обосновать комплекс взаимосвязанных мероприятий для достижения максимальной продуктивности агрофитоценозов. В конце XX века скоординированными усилиями коллективов учёных, специалистов и практических работников во всех основных регионах нашей страны впервые в отечественном и мировом земледелии было достаточно убедительно показано, что широкое освоение технологий программированного возделывания сельскохозяйственных культур открывает реальную возможность значительного повышения эффективности земледелия и способно придать ему характер четко регулируемого и управляемого производства.

Библиографический список

1. Иванов, А.Ф. Теоретические основы программирования урожаев [Текст] / А.Ф. Иванов, В.И. Филин // Сельскохозяйственная биология. – 1979. - №3. – С. 323-330.
2. Климов, А.А. Программирование урожая: Постановка и обоснование проблемы [Текст] / А.А. Климов, Г.Е. Листопад, Г.П. Устенко // Труды Волгоградского СХИ. – Т. 36. – Волгоград, 1971. – 574 с.
3. Листопад, Г.Е. Теоретические основы программирования высоких урожаев и технология возделывания сельскохозяйственных культур [Текст] / Г.Е. Листопад, А.Ф.

Иванов, В.И. Филин // Биологические и агротехнические основы орошаемого земледелия. – М.: Наука, 1983. – С. 185-192.

4. Научно обоснованные системы ведения агропромышленного производства Волгоградской области на 13-ю пятилетку [Текст] / Коллектив авторов. – Волгоград: Изд-во «Универсал», 1991. – 112 с.

5. Научные основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур: Научные труды ВАСХНИЛ [Текст] / Под ред. акад. И.С. Шатилова и канд. с.-х. н. М.К. Каюмова. – М.: Колос, 1978. – 336 с.

6. Ничипорович, А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев: XV Тимирязевское чтение [Текст] / А.А. Ничипорович. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 93 с.

7. Программирование урожая: Сущность метода [Текст] / Г.Е. Листопад, А.А. Климов, А.Ф. Иванов, Г.П. Устенко // Труды Волгоградского СХИ. – Т. 55. – Волгоград, 1975. – 367 с.

8. Программирование урожая: Разработка и внедрение программированных технологий в производство [Текст] / Г.Е. Листопад, А.Ф. Иванов, А.А. Климов, В.И. Филин // Труды Волгоградского СХИ. – Т. 67. – Волгоград, 1978. – 303 с.

9. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур [Текст] // Научные труды ВАСХНИЛ / Под ред. акад. ВАСХНИЛ И.С. Шатилова, канд. с.-х. наук, М.К. Каюмова. – М.: Колос, 1975. – 429 с.

10. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: межвузовский сборник научных трудов [Текст] / Под ред. проф. А.Ф. Иванова. – Т. 87. – Волгоград: Волгоградский СХИ, 1984. – 194 с.

11. Система орошаемого земледелия Волгоградской области с программированным выращиванием урожаев сельскохозяйственных культур [Текст] / Коллектив авторов; под общей ред. И.П. Кружилина. – Волгоград: Нижн.-Волж. кн. изд-во, 1987. – 240 с.

12. Теоретические основы фотосинтетической продуктивности: Сборник докладов на Международном симпозиуме [Текст] / Отв. ред. проф. А.А. Ничипорович. – М.: Наука, 1972. – 547 с.

13. Технология орошения и программирования урожая: сборник научных трудов [Текст] / Под ред. проф. Г.Ю. Шейнкина. – М.: ВНИИГиМ, 1986. – 243 с.

14. Управление процессами формирования урожаев в полевых условиях: сборник научных трудов [Текст] / Под ред. В.И. Филина. – Т. 88. – Волгоград: Волгоградский СХИ, 1984. – 128 с.

15. Устенко, Г.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах как основа формирования высоких урожаев [Текст] / Г.П. Устенко // Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 37-70.

16. Филин, В.И. Биологические и технологические основы программированного возделывания сельскохозяйственных культур при орошении в зоне сухих степей Нижнего Поволжья [Текст]: автореф. дис. докт. с.-х. наук: 06.01.09 / Филин Валентин Иванович. – Волгоград, 1987. – 49 с.

17. Филин, В.И. Справочная книга по растениеводству с основами программирования урожая [Текст] / В.И. Филин. – Волгоград: Волгоградская ГСХА, 1994. – 274 с.

18. Филин, В.И. Теория программирование урожая в приложении к современному земледелию [Текст] / В.И. Филин // Учёные записки агрономического факультета ВГСХА. – Волгоград: Изд-во ВГСХА, 2005. – С. 97-122.

19. Шатилов, И.С. Принципы программирования урожайности [Текст] / И.С. Шатилов // Вестник с.-х. наук. – 1973. – № 3. – С. 8-14.

20. Шатилов, И.С. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая (принципы АСУ ТП в земледелии) [Текст] / И.С. Шатилов, А.Ф. Чудновский. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. – 320 с.

E-mail: agrovgsa@mail.ru