

В.В.Набока (СибНИГМИ)

О развитии прикладного динамико-статистического моделирования для агрометеорологического обеспечения земледелия Урало-Сибирского региона в ГУ «СибНИГМИ»

Территория сельскохозяйственного освоения Урало-Сибирского региона расположена в так называемой зоне рискованного земледелия. Степень рисков в отдельных ее частях характеризуется комплексом факторов негативного воздействия природной среды, их интенсивностью и продолжительностью воздействия на совокупность физиологических процессов сельскохозяйственных культур, определяющих урожай.

В этой связи агрометеорологическая оценка условий формирования урожая в течение вегетационного периода и прогнозы урожайности основных сельскохозяйственных культур приобретают существенную важность для принятия хозяйственных и административных мер по обеспечению продовольственной безопасности региона.

Уровень достоверности оценок всего комплекса сложившихся и ожидаемых погодных условий на любой момент вегетационного периода, и успешность прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур зависят от полноты и объективности учета комплекса факторов внешней среды, влияющих на продуктивность растений.

В сложившейся практике агрометеорологического обеспечения для оценки условий формирования урожая основных сельскохозяйственных культур специалистами оперативных подразделений Росгидромета применяются преимущественно качественные характеристики на основе анализа данных наблюдательной сети станций по общепринятым критериям. Такая оценка существенно зависит от квалификации и опыта работы специалистов.

При составлении агрометеорологических прогнозов урожайности в пределах отдельных субъектов региона используются методы, большинство которых основаны на физико-статистических моделях - регрессионных уравнениях связи продуктивности сельскохозяйственных культур и ряда основных параметров внешней среды, характеризующих условия ее формирования. Эти исследования имеют большую прикладную ценность. Однако, учет всего комплекса наблюдаемых факторов, определяющих урожай в регрессионных моделях практически невозможен, в силу известных свойств и существующих ограничений в применении методов математической статистики.

Новые условия хозяйствования, сложившиеся с 90-х годов прошлого века, повлекли за собой как смещение структуры посевных площадей, преимущественно в частный сектор производства, так и изменение относительной однородности агротехнических приемов и экономических условий возделывания. Как отмечалось в обзоре состояния и проблем агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства (Страшная А.И., 2007) за последние 10-15 лет существенно снизилась освещенность территории данными агрометеорологических наблюдений, вследствие сокращения не только наблюдательной сети, но и объемов агрометеорологических наблюдений на сохранных станциях.

Все это требует создания новых информационно-прогностических методов, в которых, в частности, недостаточная освещенность территории данными

агрометеорологических наблюдений могла бы в определенной степени компенсироваться более детальным учетом метеорологических условий вегетационного периода.

Успешное развитие разработок в области динамического моделирования продукционного процесса растительного покрова во второй половине двадцатого столетия открыли возможности более полного учета всего комплекса наблюдаемых факторов влияющих на урожай (Сиротенко О.Д., 2009г.).

Революционному скачку в развитии методов агрометеорологических расчетов и прогнозов в системе отечественной гидрометеорологической службы в 70-х годах способствовало создание ведущими учеными ГУ «ВНИИСХМ» теоретической базы и прикладных динамических моделей формирования урожая сельскохозяйственных культур, разработанных специально с целью совершенствования агрометеорологического обеспечения земледелия (монографии О.Д.Сиротенко, 1981г.; А.Н.Полевой, 1983г.). Они аккумулировали в себе все существующие на тот момент научные знания о взаимосвязях и о взаимообусловленности сложнейшей природной системы ”почва-растение-атмосфера”, являющейся предметом изучения агрометеорологии. Необходимыми предпосылками создания динамических моделей агроценозов стали достижения биофизики, экологии, физики сред обитания растений, разработанные модели важнейших процессов, происходящих в растительном покрове – фотосинтеза, дыхания, водопотребления, минерального питания процессов энерго- и массообмена, а также вычислительной техники. Динамические модели в агрометеорологии рассматриваются как неотъемлемая часть создаваемой автоматизированной системы гидрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства.

Для практической агрометеорологии динамические модели открывают возможность наиболее полного учета наблюдаемого сетью гидрометеорологических станций комплекса факторов внешней среды, влияющих на продукционный процесс растений. Кроме того, с помощью хорошо обусловленных динамических моделей, адаптированных для конкретных культур и природно-климатических условий их возделывания, при любых реально заданных условиях периода вегетации можно рассчитать характеристики продуктивности посевов и комплексные показатели условий ее формирования на любой момент, в зависимости от шага модели по времени. Таким образом, используя заданные необходимым образом сценарии агрометеорологических условий, динамические модели позволяют дать объективную сравнительную количественную оценку, как всего комплекса факторов, так и отдельных его элементов, за любой отрезок и за весь вегетационный период, относительно выбранного эталона.

Опыт практического применения и развитие прикладного динамико-статистического моделирования в ГУ «СибНИГМИ» связан с освоением в качестве базового средства расчета необходимых параметров и характеристик посевов динамико-статистической модели продукционного процесса агроценоза «Погода-Урожай» с суточным разрешением. Она разработана коллективом авторов ГУ «ВНИИСХМ» (А.П.Бойко, Е.В. Абашина, А.Г.Просвиркина, В.Н.Павлова и др.) под руководством О.Д.Сиротенко – 1977-1981гг. Выбор модели высокого разрешения для условий резко континентального климата рассматриваемого региона с коротким вегетационным периодом наиболее приемлем. Применяя модель меньшей детализации по времени, сложно учесть влияние на рост и развитие растений характерные для региона значительные амплитуды колебаний величин метеорологических параметров за короткие отрезки времени.

Работа с динамическими моделями для целей практической агрометеорологии в ГУ «СибНИГМИ» начались в конце 70-х годов прошлого века с испытания одной из первых прикладных моделей продукционного процесса с суточным разрешением, базирующейся на универсальной модели агроценоза «Погода-Урожай» (1979 г.). Модель предназначалась для расчета комплексной количественной оценки

агрометеорологических условий формирования урожая ярового ячменя относительно среднего многолетнего эталона. Динамическая модель формирования урожая этого класса представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих изменение во времени состояния внешней среды и связанные с ним изменения состояния растений, начиная от даты всходов. Она позволяет рассчитать при любых реально заданных до конца вегетации метеорологических условиях на каждые сутки вегетационного периода следующие характеристики посева и среды его обитания:

- биомассу отдельных органов: листьев, стеблей, корней, запасующих органов (колосья, клубни и т.п.), ц/га;
 - относительную площадь листьев (листовой индекс);
 - влагосодержание отдельных слоев почвы, мм;
- в том числе нарастающим итогом от даты всходов:
- сумму эффективных температур воздуха, °С;
 - сумму осадков, мм;
 - транспирацию, мм;
 - испарение с поверхности почвы, мм.

Совокупность входных данных модели составляют:

- константы времени и места: широта пункта, календарное время суток, отсчитываемое от 21 марта до даты всходов включительно, биологическое время в виде суммы эффективных температур воздуха от даты всходов до начала расчетного периода;
- водно-физические свойства почвы: полная влагоёмкость, влажность завядания, наименьшая полевая влагоёмкость по 10-сантиметровым слоям корнеобитаемой зоны;
- начальное состояние растительного покрова и почвы: исходные биомассы листьев, стеблей, корней, запасующих органов, исходные влагозапасы почвы по 10 – сантиметровым слоям;
- метеорологические данные: средняя суточная температура воздуха, число часов солнечного сияния, суточная сумма осадков, средний суточный дефицит влажности воздуха.

Для корректировки ряда параметров модели, ее привязки к местным сортам и природно-климатическим условиям в 1979-80 гг. были проведены специальные полевые экспериментальные наблюдения по динамике биомассы отдельных органов ярового ячменя на агрометеорологической станции Огурцово. Методика расчета комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая ярового ячменя после успешных испытаний передана в отдел агрометеорологических прогнозов ЗСУГМС.

Параллельно испытаниям проводились работы по созданию информационного обеспечения и разработке прикладной динамической модели продукционного процесса картофеля для условий Западной Сибири на той же базовой модели агроценоза «Погода-Урожай». В вопросе моделирования продукционного процесса культура картофеля представляла интерес и тем, что в отличие от злаков хозяйственно ценный орган формируется не репродуктивным, а вегетативным путем. Для создания прикладной динамической модели продукционного процесса картофеля применительно к условиям Западной Сибири надо было решить задачу оценки параметров модели на конкретном экспериментальном материале. Значения определенной части параметров модели для картофеля позаимствованы из литературных источников или непосредственно определялись для конкретного расчета. Целый ряд параметров оценен на основании экспериментальных данных путем решения задач оптимизации. Он включает в себя параметры биологических функций (ростовые отдельных органов, потерь биомассы, в том числе перераспределения ассимилянтов, пожелтения листьев, поверхностной плотности листьев, распределения корней в почве, потока “материнский клубень-наземная часть растений”), параметры блока расчета влажности почвы (кардинальное

значение гидравлической проводимости насыщенной почвы, коэффициент, определяющий эффективную увлажненность почвы при обильных осадках), параметры, ответственные за расчет фотосинтеза (угол наклона световой кривой фотосинтеза, константа для расчета устьичного сопротивления потоку углекислого газа).

В 1976-78 гг. на агрометеорологических станциях Огурцово и Кемерово проведены полевые экспериментальные наблюдения. Программа наблюдений охватывала весь период вегетации и содержала помимо стандартных агрометеорологических, учащенные (каждые пять дней) биометрические наблюдения и анализ растительной массы. Исследовалась динамика глубины проникновения корневой системы, площади фотосинтезирующего аппарата, веса сырой и абсолютно сухой биомассы отдельных органов растений, естественных и причинных потерь биомассы. Сопряженные стандартные наблюдения включали фенологию, инструментальное определение влажности почвы, регистрацию среднесуточных величин основных метеорологических элементов, данных полевых дождемеров и почвенных термометров-щупов.

Для решения задач оптимизации использовался алгоритм Розенброка и программы для ЕС ЭВМ, заимствованные в ГУ «ВНИИСХМ». Достигнутый уровень адекватности динамической модели формирования урожая картофеля (В.В.Набока, 1983г.) и доступность необходимого информационного обеспечения расчетов позволили в последующие годы рассматривать ее, в качестве средства агрометеорологических расчетов оперативного и справочного назначения.

В трудах ЗапСибНИГМИ (1989г.) опубликованы результаты численных экспериментов по оценке влияния на урожай картофеля всего комплекса сложившихся условий формирования урожая картофеля за разные периоды вегетации и отдельных элементов этого комплекса (например, влагозапасов почвы на период всходов) относительно средних многолетних условий. Там же представлены итоги численных экспериментов на модели по оценке эффективности поливов картофеля в зависимости от нормы и времени их проведения в течение вегетации. В следующей серии численных экспериментов оценены возможные изменения продуктивности картофеля по территории Западной Сибири в связи с вероятными изменениями климатических условий по одному из сценариев ГГО.

Полученные результаты засвидетельствовали перспективность практического применения динамических моделей такого типа для агрометеорологических расчетов.

В начале 90-х годов прошедшего столетия на основе динамической модели разработан способ интерпретации содержания средне- и долгосрочных прогнозов погоды на предстоящую неделю в виде агрометеорологических параметров, характеризующих ожидаемые условия формирования урожая картофеля и их комплексной оценки, относительно прошлого года. Модель адаптирована для двух уровней осреднения характеристик продуктивности - средней районной урожайности и средней биологической продуктивности, определяемой по приросту клубней перед уборкой. Лучший результат получен по согласованию расчетных и наблюдаемых величин биологической продуктивности. В Уральское УГМС переданы рекомендации, в которых изложена технология расчета ожидаемых величин агрометеорологических параметров, характеризующих условия формирования урожая картофеля и их комплексную количественную оценку на основе прогноза погоды.

В последующие годы в ГУ «СибНИГМИ» разрабатывалась методология применения рассмотренных динамических моделей формирования урожая в качестве средства расчетов при прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур. Первые результаты практического использования динамической модели формирования урожая картофеля с суточным разрешением для целей агрометеорологического прогнозирования средней урожайности картофеля по территории Новосибирской области и Красноярского края обсуждаются в Трудах СибНИГМИ, вып.105. В этой работе

предварительная адаптация модели выполнена также для расчетов на двух уровнях продуктивности картофеля - биологической продуктивности (версия модели "Прирост") и фактической урожайности по всем категориям хозяйств (версии модели "Урожай"). Методом итерационного подбора получены оптимальные величины параметров, наиболее сильно влияющих на расчет текущих значений биомассы и влажности почвы. Решалась задача максимального пошагового приближения рассчитанных при помощи модели и фактически наблюдаемых на конец вегетации величин показателей продуктивности картофеля, а так же соответствующих величин запасов продуктивной влаги в почве. Достигнутая степень согласования рассчитанных и фактических средних величин рассмотренных характеристик представлены в **таблице 1**.

Результаты верификации моделей, выполненной на материалах независимых наблюдений, показаны на **рис. 1 и 2**.

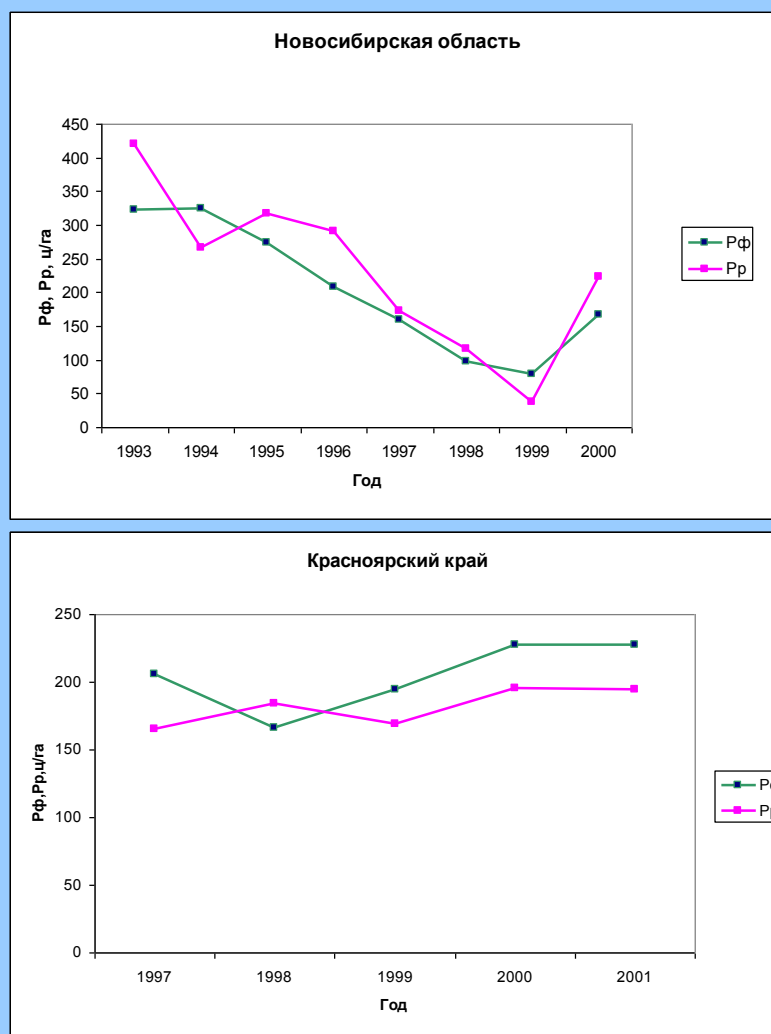


Рисунок 1 - Сравнение рассчитанной (Pр) и фактической (Pф) средней биологической продуктивности картофеля по независимым данным.

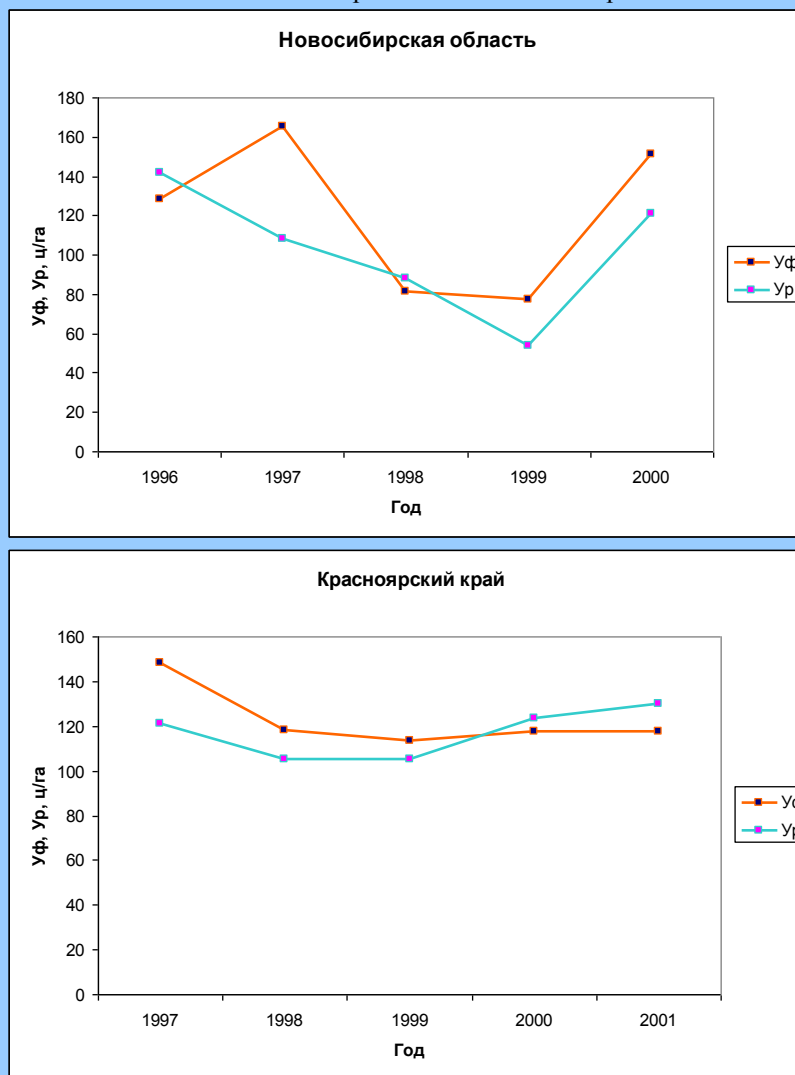


Рисунок 2 - Сравнение рассчитанной (У_р) и фактической (У_ф) средней урожайности картофеля по независимым данным.

В ходе разработки метода и технологии расчета ожидаемой урожайности картофеля на уровне всех категорий хозяйств было отработано несколько вариантов использования полученных версий динамической модели для этих целей. В двух вариантах для расчета ожидаемой величины урожайности использован модельный расчет комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая картофеля, - “сложившихся” и “сложившихся и ожидаемых” на момент составления прогноза. При этом в качестве эталона выступают реальные условия аналогичного периода прошлого года.

Согласно (О.Д.Сиротенко, 1981г.), рассматривая урожай в качестве интегральной характеристики агрометеорологических условий вегетационного периода, мерой отличия оцениваемых условий текущей вегетации от прошлогодних будет отношение (η_p) конечных урожаев, рассчитанных по условиям текущего (U_0) и прошлого года (U_p) за оцениваемый период:

$$\eta_p = \frac{U_0}{U_p} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Следовательно, чтобы дать количественную оценку агрометеорологических условий формирования урожая, например, по состоянию на 20 июля текущего года относительно условий прошлого года, необходимо рассчитать отношение (1), где:
У_о - урожай, рассчитанный по фактическим данным текущего года от всходов до 20 июля, и данным прошлого года от 21 июля до условного конца вегетации;
У_р - урожай, рассчитанный полностью по данным прошлого года.

Таблица 1

Теснота согласования рассчитанных и фактических средних величин продуктивности картофеля и увлажнения почвы перед уборкой

Показатель	Коэффициент корреляции	
	R	r _{знач.}
ВЕРСИЯ МОДЕЛИ "ПРИРОСТ" Новосибирская область		
Биологическая продуктивность картофеля перед уборкой	0,704	0,396
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см 0-50 см	0,381	0,456
	0,556	0,456
Красноярский край		
Биологическая продуктивность картофеля перед уборкой	0,320	0,388
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см 0-50 см	0,347	0,396
	0,516	0,396
ВЕРСИЯ МОДЕЛИ "УРОЖАЙ" Новосибирская область		
Урожайность картофеля по всем категориям хозяйств	0,533	0,396
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см 0-50 см	0,143	0,404
	0,205	0,404
Красноярский край		
Урожайность картофеля по всем категориям хозяйств	0,566	0,388
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см 0-50 см	0,502	0,388
	0,514	0,388

Оценка условий формирования урожая относительно прошлого года на качественном уровне, наряду со средними многолетними, является наиболее часто применяемой в практической агрометеорологии. Использование в качестве эталонных условий прошлого года удобно и с точки зрения технологии подготовки данных. Кроме того, отсутствие значимого тренда урожайности по рассматриваемым территориям затрудняет применение в качестве эталонных условий традиционные климатические нормы и разработку технологии прогноза урожайности по методологии, предложенной А.Н.Полевым (1983г.). Кроме того доказано (О.Д.Сиротенко,1981; Ю.В.Сепп, Х.Г.Тооминг,1987), что использование в динамической модели в качестве исходных данных климатических норм вызывает методическую ошибку - существенное повышение рассчитанных значений урожайности. В случае применения моделей высокой

разрешающей способности, сценарий “средние многолетние” нереален, ему нет аналогов в природных условиях.

Оценки, рассчитанные при помощи версии модели “Прирост”, универсальны. Они применимы для любой статистической категории урожайности и наиболее объективны для характеристики собственно комплекса агрометеорологических условий формирования урожая картофеля в динамике вегетационного периода при определенном уровне культуры земледелия. К сожалению, в настоящее время затруднительно создать репрезентативную базу данных наблюдений за приростом картофеля для необходимой корректировки модели в процессе ее эксплуатации.

Версия модели “Урожай” опосредованно учитывает условия уборки культуры, исходя из того, что средняя урожайность, на расчет которой настроена модель, является интегральным показателем как агрометеорологических, так и хозяйственных условий возделывания и в большой степени зависит от качества уборки.

В последующих двух вариантах применения динамической модели продукционного процесса картофеля для целей прогнозирования урожайности использована версия модели “Урожай”. В этих вариантах применен прием построения сценариев будущих метеорологических условий от даты составления прогноза до конца вегетации: инерционный прогноз метеозлементов в виде фактических данных наблюдений за аналогичный период прошлого года или в виде фактических данных года-аналога по долгосрочному прогнозу погоды на предстоящий месяц, пролонгированного до условного окончания вегетационного периода.

Анализ результатов расчетов показал, что приоритетным по большинству субъектов территории региона можно считать сценарий года-аналога по долгосрочному прогнозу погоды на предстоящий месяц, пролонгированный до условного окончания вегетационного периода.

Методы количественной оценки условий формирования урожая и прогноза урожайности картофеля, разработанные на основе динамической модели суточного разрешения, впервые испытаны и внедрены в оперативную практику по Новосибирской области в 2003 году в качестве основного расчетного метода и по Красноярскому краю в 2006 в качестве вспомогательного. Представленные методы прогнозов реализованы на персональном компьютере.

Внедрение в оперативную практику разработанных методов в значительной степени зависит от возможности автоматизированного сбора агрометеорологической информации на обслуживаемой территории. Развитие вычислительной и технологической оснащенности областных и краевых Центров Гидрометеорологической службы региона за последние годы способствует внедрению в практику методов агрометеорологической оценки условий вегетации и прогнозов урожайности на основе динамических моделей.

Аналогичный подход апробирован при разработке методов оценки условий формирования урожая и прогноза средней урожайности основной зерновой культуры региона - яровой пшеницы по территории Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края. В качестве базового средства расчета необходимых параметров и характеристик в представленной работе применен один из вариантов динамико-статистической модели продукционного процесса яровых злаковых культур «Погода–Урожай» с суточным разрешением (О.Д.Сиротенко, Е.В.Абашина, В.Н. Павлова, 1987г.). Адекватное модельное отражение влияния изменений условий внешней среды на продукционный процесс яровой пшеницы в природно-климатических условиях юго-восточной части Западной Сибири достигнуто путем адаптации базовой модели на материалах агрометеорологических наблюдений и данных статистических управлений по каждому субъекту исследуемой территории.

На **рис. 3** показано сравнение рассчитанных и фактических величин комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования

19-20 апреля 2011 г. Новосибирск

урожая яровой пшеницы за полный вегетационный период относительно условий прошлого года по независимым данным, включая годы авторских и оперативных испытаний.

Для расчета прогнозов урожайности яровой пшеницы на основе динамико-статистической модели «Погода-Урожай» путем статистического анализа подобраны наиболее показательные варианты сценариев ожидаемых метеорологических условий от даты составления прогноза до конца вегетации. Для Томской, Новосибирской, Кемеровской областей – это пролонгированный до конца вегетации сценарий года-аналога по долгосрочному прогнозу погоды на июль – для предварительного прогноза урожайности и на август – для уточненного. По Алтайскому краю рекомендован сценарий инерционного прогноза метеорологических условий – по прошлому году.

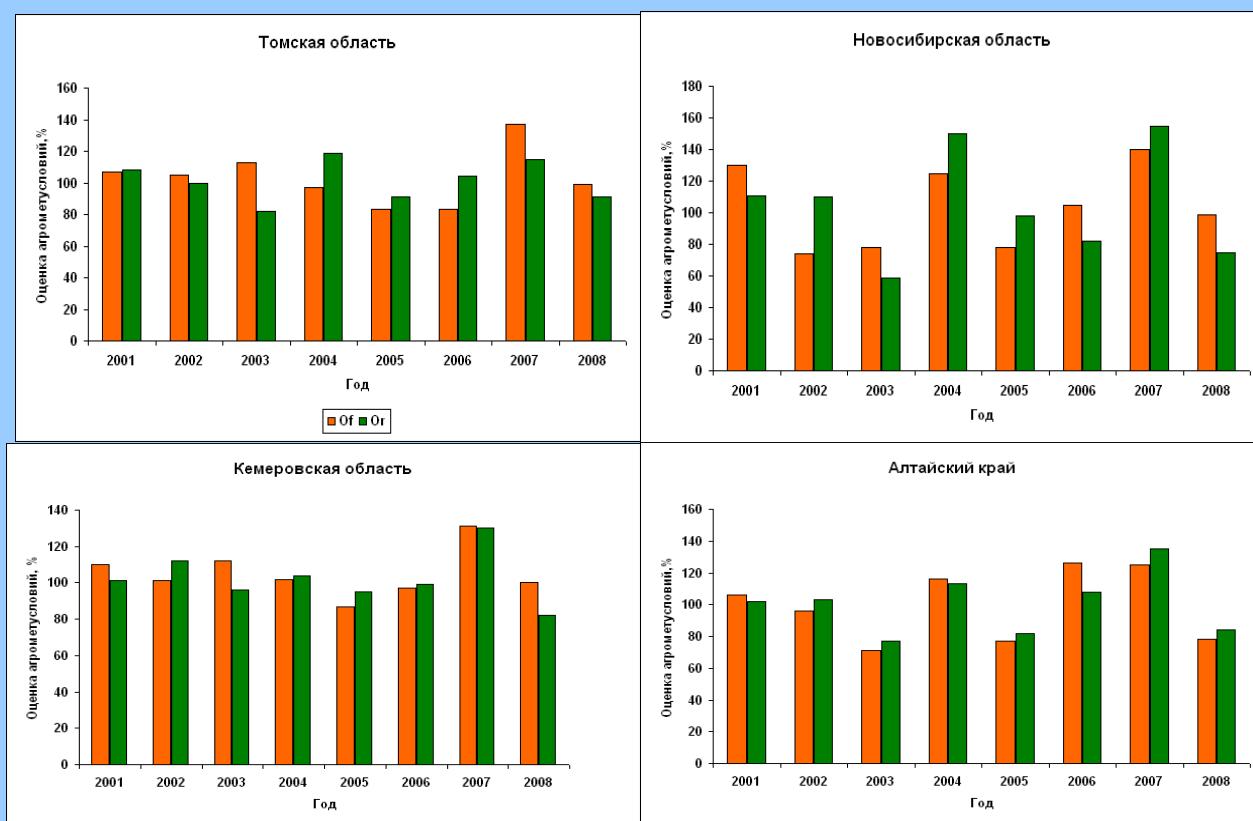


Рисунок 3 - Сравнение рассчитанных (Or) и фактических (Of) величин комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая яровой пшеницы за полный вегетационный период относительно условий прошлого года.

**2001-2005гг. – авторские испытания;
2006-2008гг.– оперативные испытания.**

На **рис 4.** представлено сравнение фактических величин и ожидаемой средней урожайности яровой пшеницы по методическому (предварительному и уточненному), инерционному и климатологическому прогнозам по независимым данным за годы авторских и производственных испытаний.

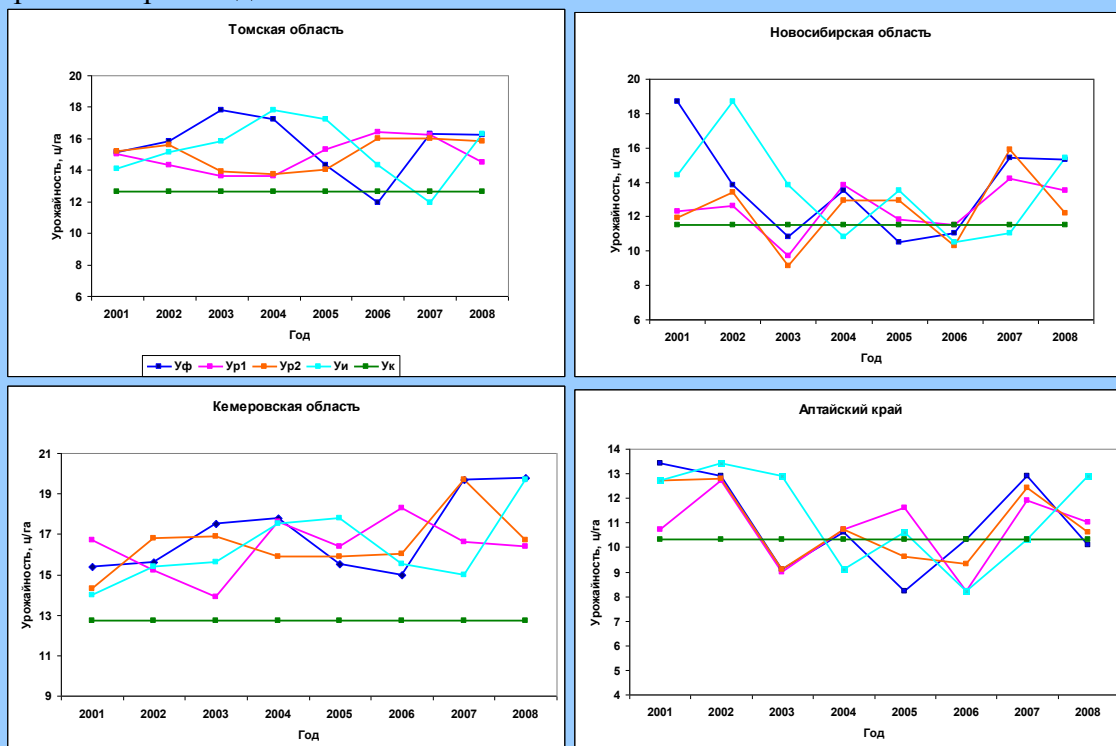


Рисунок 4 - Сравнение величин ожидаемой урожайности яровой пшеницы по методическому (предварительный - Ур1, уточненный - Ур2), инерционному (Уи) и климатологическому (Ук) прогнозам с фактической (Уф).

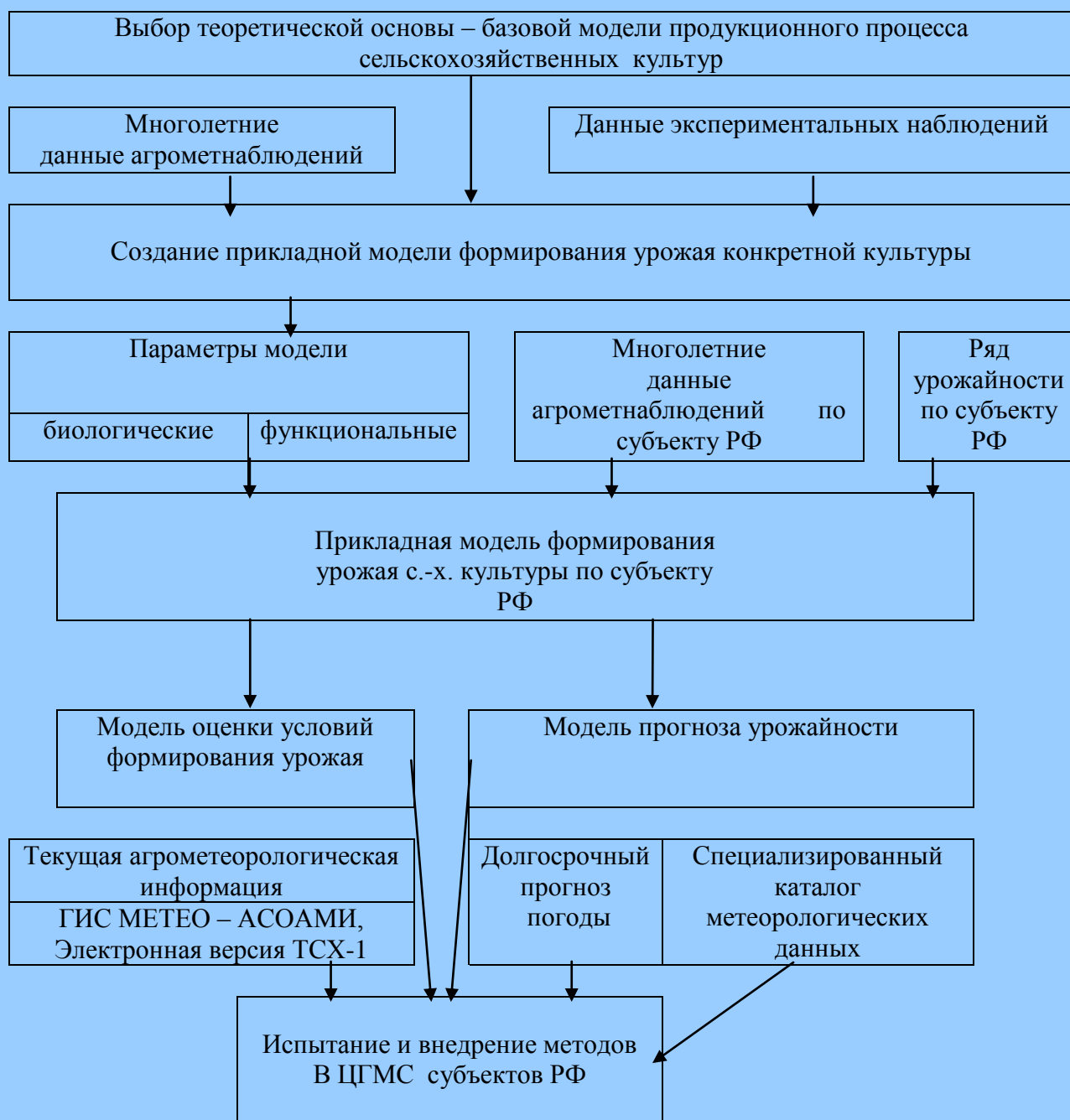
Разработанные методы полностью автоматизированы. Технологическая линия включает выборку текущей информации из ГИС МЕТЕО (Базы данных автоматизированной системы обработки агрометеорологической информации – АСОАМИ для Новосибирского ГМЦ) и из электронной версии ТСХ-1 (для Томского, Кемеровского, и Алтайского ЦГМС), выборку данных по прогнозируемым годам-аналогам из специализированного, автоматически пополняемого, каталога, составление рабочих наборов данных (РНД), расчет оценок сложившихся условий формирования урожая и прогнозов урожайности на заданную дату. По результатам испытаний Технический Совет ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» в сентябре 2009 года постановил рекомендовать новые методы к внедрению в качестве основных расчетных методов по всей территории Западно-Сибирского УГМС.

В настоящее время в ГУ «СибНИГМИ» на основе динамико-статистической модели завершена разработка и переданы на производственные испытания методы оценки агрометеорологических условий формирования урожая и прогноза урожайности картофеля по территории Томской, Кемеровской областей и Алтайского края. По Новосибирской области после семи лет применения в оперативном режиме метода прогноза урожайности картофеля произведена корректировка параметров модели и создана новая технологическая линия прогноза урожайности и расчета оценки сложившихся условий формирования урожая в режиме реального времени.

Представленная на **рис. 5** блок-схема иллюстрирует сложившуюся в ГУ «СибНИГМИ» и реализуемую на практике технологию разработки и внедрения новых методов агрометеорологической оценки условий формирования и прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур на основе динамико-статистического подхода.

Приведенные результаты первых опытов применения динамических моделей формирования урожая с суточным разрешением для целей агрометеорологического обеспечения производства сельскохозяйственных культур по субъектам Урало-Сибирского региона показали гибкость и многогранность динамических моделей такого класса, как средства расчетов, перспективность и конкурентоспособность новой методологии прогнозирования. Развитие динамико-статистического направления в агрометеорологии предполагает, как совершенствование теоретической базы и соответствующих прикладных моделей, так и расширение информационного обеспечения, что в свою очередь требует современного вычислительного оснащения.

Рис. 5 - Блок-схема технологии разработки и внедрения новых методов агрометеорологической оценки условий формирования и прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур



О.Д.Сиротенко (2009 г.), освещая трудности и возможные пути совершенствования моделей продуктивности агроценозов, отмечает, что за последние 20 лет нет заметного прогресса в развитии методов расчета большого ряда характеристик процессов, происходящих в растительном покрове и оказывающих существенное влияние на урожай. Надо полагать, что базовые динамико-статистические модели ВНИИСХМ 80-90-х годов и в настоящее время вполне современны. Потенциальные возможности этих моделей для агрометеорологического обеспечения земледелия в регионе далеко не исчерпаны.

Существующие прикладные динамические модели и технологии их применения находятся в процессе дальнейшего совершенствования. На сегодня в регионе заметно внедрение новых сортов сельскохозяйственных культур, новой техники и, кардинально отличающихся от принятых ранее, технологий обработки почвы и ухода за растениями. Поэтому, для надежной работы и дальнейшего развития методов агрометеорологического обеспечения производства сельскохозяйственных культур и, в частности, разработанных на основе динамико-статистического подхода, необходима их систематическая корректировка. Своевременные рекомендации по этой проблеме были выработаны участниками Международной научно-практической конференции «Агрометеорологическое обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата» (г.Обнинск, 9-13 октября 2006 г.).

Выражаю глубокую благодарность руководителю отдела математического моделирования ГУ «ВНИИСХМ» Сиротенко Олегу Дмитриевичу, его ведущим сотрудникам Абашиной Елене Владимировне, Павловой Вере Николаевне и всем сотрудникам отдела за полученные знания в области динамического моделирования в агрометеорологии и неоценимую помощь в освоении работ по их применению на практике.

Благодарю за внимание.