



О РАЗВИТИИ В СИБНИГМИ ПРИКЛАДНОГО ДИНАМИКО- СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

НАБОКА Валентина Васильевна

Научно-практическая школа-семинар молодых ученых и
специалистов в области гидрометеорологии

31 октября – 2 ноября 2012 года

г. Новосибирск

Практический тренинг : Агрометеорология

Освоенная в сельскохозяйственном отношении территория ответственности СибНИГМИ расположена в так называемой зоне рискованного земледелия. Степень рисков для сельскохозяйственного производства 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 существенное значение 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.

Большинство агрометеорологических прогнозов основаны на 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 неоднократно отмечалось в обзорах состояния и проблем агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства (Страшная А.И., и др.), за последние 20 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.).

Значительный прогресс в развитии методов агрометеорологических расчетов и прогнозов в системе отечественной гидрометеорологической службы в 70-80-х годах был достигнут с созданием 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.).

Созданные ими модели 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. Это достижения в области 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 успехи в разработке вычислительной техники.

Для практической агрометеорологии динамические модели открыли возможность наиболее полного учета наблюдаемого сетью гидрометеорологических станций комплекса факторов внешней среды, влияющих на продукционный процесс растений.

С помощью хорошо обусловленных динамических моделей, адаптированных для конкретных культур и природно-климатических условий их возделывания, открывается возможность в количественном выражении оценить влияние на урожай, как всего комплекса наблюдаемых факторов внешней среды, 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 Сибири с коротким вегетационным периодом предпочтителен тем, что открывает возможность учесть влияние на рост и развитие растений характерных для региона значительных амплитуд колебаний величин метеорологических параметров за короткие отрезки времени.

Начало работ связано с испытаниями одной из первых прикладных моделей продукционного процесса с суточным разрешением, базирующейся на универсальной модели агроценоза «Погода-Урожай» (1979г.). Модель предназначалась для расчета комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая ярового ячменя относительно среднего многолетнего эталона.

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 большого числа 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.

Модель представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих изменение состояния внешней среды и связанные с ним изменения состояния посевов, начиная от даты всходов. Основные уравнения описывают процессы фотосинтеза и распределения ассимилятов между различными органами растения.

Центральная формула модели – формула фотосинтеза. Через нее проходят главные каналы влияния условий среды на продуктивность культуры.

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{\varepsilon} \Phi - (R_{o\gamma T} M + R \dots), \quad \frac{dM}{dt}$$

$$m_l^{j+1} = m_l^j + \varepsilon_R (\alpha_l^j \Phi^j - \varphi_T^j R_{ol}^j m_l^j - \lambda_l^j m_l^j + A_l^j),$$

$$m_s^{j+1} = m_s^j + \varepsilon_R (\alpha_s^j \Phi^j - \varphi_T^j R_{os}^j m_s^j - \lambda_s^j m_s^j + A_s^j),$$

$$m_r^{j+1} = m_r^j + \varepsilon_R (\alpha_r^j \Phi^j - \varphi_T^j R_{or}^j m_r^j - \lambda_r^j m_r^j + A_r^j),$$

$$m_k^{j+1} = m_k^j + \varepsilon_R (\alpha_k^j \Phi^j - \varphi_T^j R_{ok}^j m_k^j + L_k \lambda_l^j m_l^j + S_k \lambda_s^j m_s^j + R_k \lambda_r^j m_r^j),$$

$$\Phi^j = \frac{\varepsilon_\Phi \tau \psi_r LG^j SW^j}{2(r^j - r_c)} [CO_2 + \alpha I^j r^j - \sqrt{(I^j r^j - CO_2)^2 + 4r_c I^j \alpha CO_2}],$$

$$\frac{dW_i}{dt} = q_{i-1} - q_i - TR_i - \sigma_i E, \quad \sigma_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i=1 \\ 0, & \text{если } i>1 \end{cases}$$

$$q_i = \sqrt{K_i K_{i+1}} \cdot \left[\frac{P_{i+1} - P_i}{h_s} + 1 \right],$$

$$TR = \xi_0 d^m (1 - e^{-0.412 LG}) \dots, \quad r_{stc}$$

$$TR_i = TR \frac{\mu_i (15 - P_i)}{10 \sum_{i=1} \mu_i \cdot (15 - P_i)}$$

$$E = \frac{1 - \exp(-0.412 LG)}{1.22 (LG)^{1.19}} \cdot \exp(\xi_0 P_1) \xi_0 d^m,$$

$$W_i - W_i^{B3}$$

$$P_i = 15 \exp(-7.76 \dots),$$

$$W_i^{NB} - W_i^{B3}$$

$$r = r_{st} + r_{mes} + r_c, \quad r_{st} = r_{min} \cdot \exp(a \bar{P}),$$

где:

- $M, m_{p, l, s, r, k}$ – общая биомасса и биомассы отдельных органов;
- Φ – фотосинтез;
- R_o, R_R – дыхание поддержание старых структур и роста, соответственно;
- φ_T – температурный коэффициент дыхания;
- ξ – коэффициент газообмена, τ – длина дня;
- ψ – температурный коэффициент фотосинтеза;
- LG – относительная площадь листьев;
- \overline{SW} – коэффициент учета переувлажнения;
- CO_2 – концентрация углекислого газа в посевах;
- α – угол наклона световой кривой фотосинтеза;
- I – интенсивность ФАР;
- r_{stc} – суммарное диффузионное сопротивление;
- $\alpha_l, \alpha_s, \alpha_r, \alpha_k$ – ростовые функции;
- $\lambda_l, \lambda_s, \lambda_r$ – функции оттока пластических веществ;
- L_k, S_k, R_k – коэффициент реутилизации;
- W – содержание почвенной влаги;
- q – влагообмен между почвенными слоями;
- TR – транспирация;
- E – испарение;
- P – капиллярно-сорбционный потенциал почвенной влаги;
- μ_r – доля сухого веса корней в почвенном слое;
- r_{st}, r_c, r_{mes} – устьичное, химическое сопротивление и сопротивление мезофила;
- K – коэффициент гидравлической проводимости;
- h_s – толщина слоя почвы;
- d – дефицит влажности воздуха;
- ξ_0, ξ^*, a, m – эмпирические параметры.
- L_k, S_k, R_k – коэффициент реутилизации;
- W – содержание почвенной влаги;
- q – влагообмен между почвенными слоями;
- TR – транспирация;
- E – испарение;
- P – капиллярно-сорбционный потенциал почвенной влаги;
- μ_r – доля сухого веса корней в почвенном слое;
- r_{st}, r_c, r_{mes} – устьичное, химическое сопротивление и сопротивление мезофилла;
- K – коэффициент гидравлической проводимости;
- h_s – толщина слоя почвы;
- d – дефицит влажности воздуха;
- ξ_0, ξ^*, a, m – эмпирические параметры.

Модель включает концепцию роста, развития, дыхания, пищевого статуса, адаптационных процессов и систему уравнений, описывающих изменения метеорологических условий внешней среды, большой объем априорной информации, необходимой для ее построения.

Расчет динамики моделируемых характеристик посева сводится к интегрированию системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Аргументом всех биологических функций является сумма эффективных температур от даты всходов.

СХЕМА СВЯЗЕЙ АЛГОРИТМА «ПОГОДА-УРОЖАЙ»

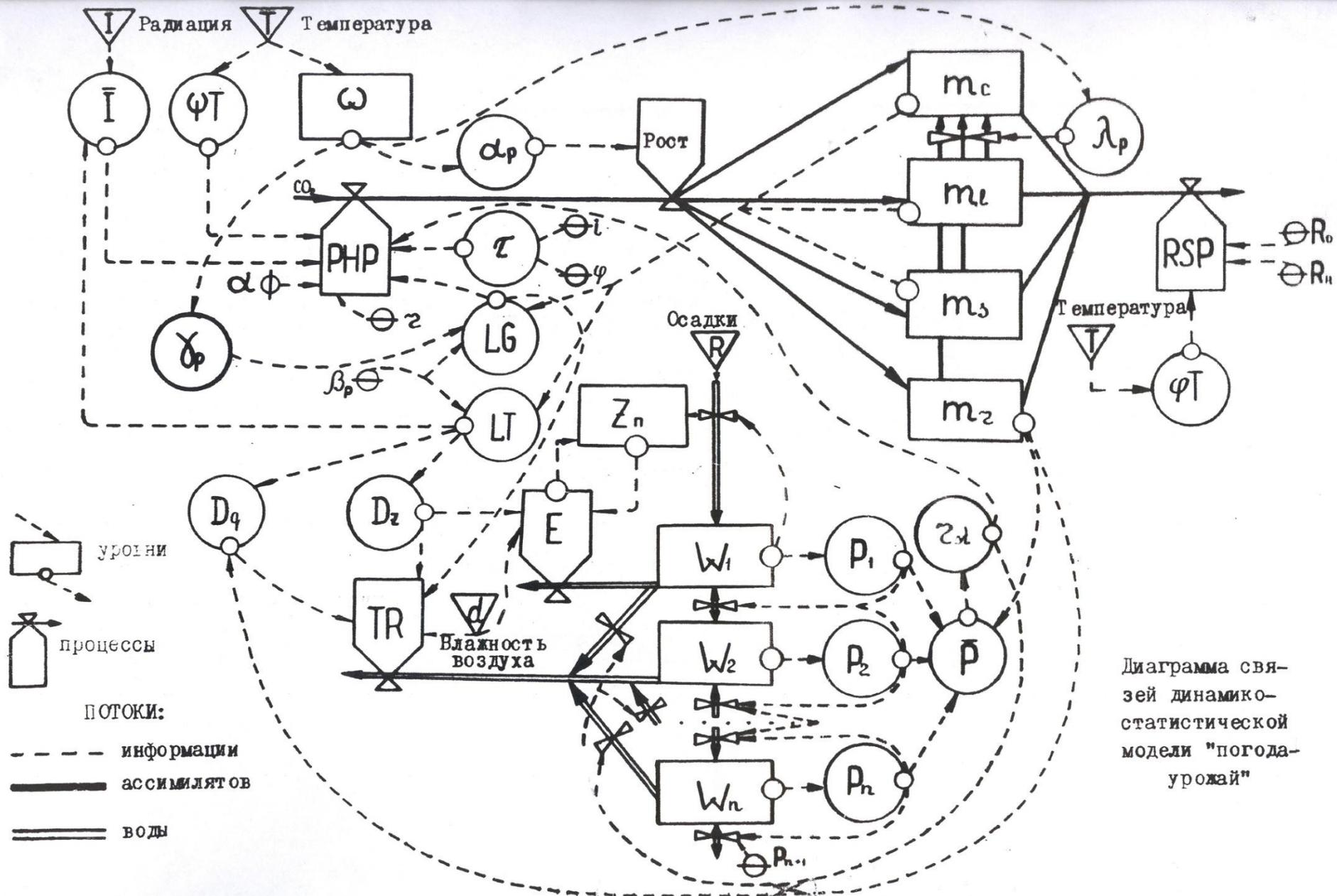


СХЕМА СВЯЗЕЙ АЛГОРИТМА «ПОГОДА-УРОЖАЙ» выполнена с помощью диаграммной техники Форрестера. Пунктирными линиями на этой схеме показано, откуда поступают и где используются те или иные данные в процессе расчетов.

Сплошными линиями изображены потоки ассимилятов.

Двойными линиями – потоки воды.

Входные данные модели:

-начальное состояние растительного покрова и почвы (исходные биомассы листьев, стеблей, корней, запасающих органов – колосьев, клубней), начальные продуктивные влагозапасы почвы в слоях 0-10 см, 0-20 см, 0-50 см, 0-100 см)

-водно-физические свойства почвы: полная влагоемкость, влажность завядания, наименьшая полевая влагоемкость

-метеорологические среднесуточные данные (температура воздуха, число часов солнечного сияния, сумма осадков, дефицит влажности воздуха);

Модель позволяет рассчитывать на любые сутки вегетационного периода культуры величины характеристик посева и среды его обитания, представляющие интерес для агрометеорологического обеспечения:

- биомассу отдельных органов растения и урожай хозяйственно ценного органа,
- относительную площадь листьев (листовой индекс),
- увлажнение отдельных слоев почвы,
- сумму осадков, эффективных температур воздуха, испарение и транспирацию нарастающим итогом от даты всходов и др.

Шаг модели по времени равен одним суткам.

Параметры, оцениваемые на основании экспериментальных данных путем решения задач оптимизации:

- биологические функции (ростовые отдельных органов, потерь биомассы, перераспределение ассимилятов, пожелтения листьев, поверхностной плотности листьев, распределения корней в почве, потока семена – наземная часть растения);
- функции блока расчета влажности почвы (кардинальное значение гидравлической проводимости насыщенной почвы, коэффициент эффективной увлажненности почвы при обильных осадках);
- параметры, ответственные за расчет фотосинтеза (угол наклона световой кривой, константа для расчета устьичного сопротивления потоку углекислого газа).

Основные виды экспериментальных наблюдений:

-Биометрические наблюдения и анализ растительной массы

динамика глубины проникновения корневой системы,

площадь фотосинтезирующего аппарата,
вес сырой и абсолютно сухой биомассы отдельных органов,

естественных и причинных потерь биомассы;

- Сопряженные стандартные агрометеорологические наблюдения.

Практическое применение динамико-статистических моделей в агрометеорологическом обеспечении аграрного сектора экономики:

- количественная оценка сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий формирования урожая с.-х. культур,
- прогноз урожайности с.-х. культур,
- оценка влияния изменений агроклиматических ресурсов на урожай,
- оценка эффективности орошения.

Рассматривая урожай в качестве интегральной характеристики агрометеорологических условий вегетационного периода, мерой отличия оцениваемых условий текущей вегетации от заданных эталонных (прошлогодных, экстремальных лет и т.п.) принято отношение (η_p) конечных урожаев, рассчитанных по условиям текущего (U_0) и заданного года-эталона, (U_p) за оцениваемый период:

$$\eta_p = \frac{U_0}{U_p} \cdot 100\% .$$

где:

U_0 - урожай, рассчитанный по фактическим данным текущего года от всходов до даты расчета оценки, и данным года-эталона от даты расчета до конца вегетации;

U_p - урожай, рассчитанный по данным года-эталона от всходов до конца вегетации.

В зависимости от выбранного сценария ожидаемых метеорологических условий на период от даты составления прогноза до конца вегетации рассмотрены четыре варианта прогнозов урожайности:

N1 – с использованием количественной оценки сложившихся на дату составления прогноза агрометеорологических условий текущего вегетационного периода, относительно условий прошлого года;

N2 – с использованием инерционного сценария ожидаемых метеорологических условий, приравненным к условиям прошлого года;

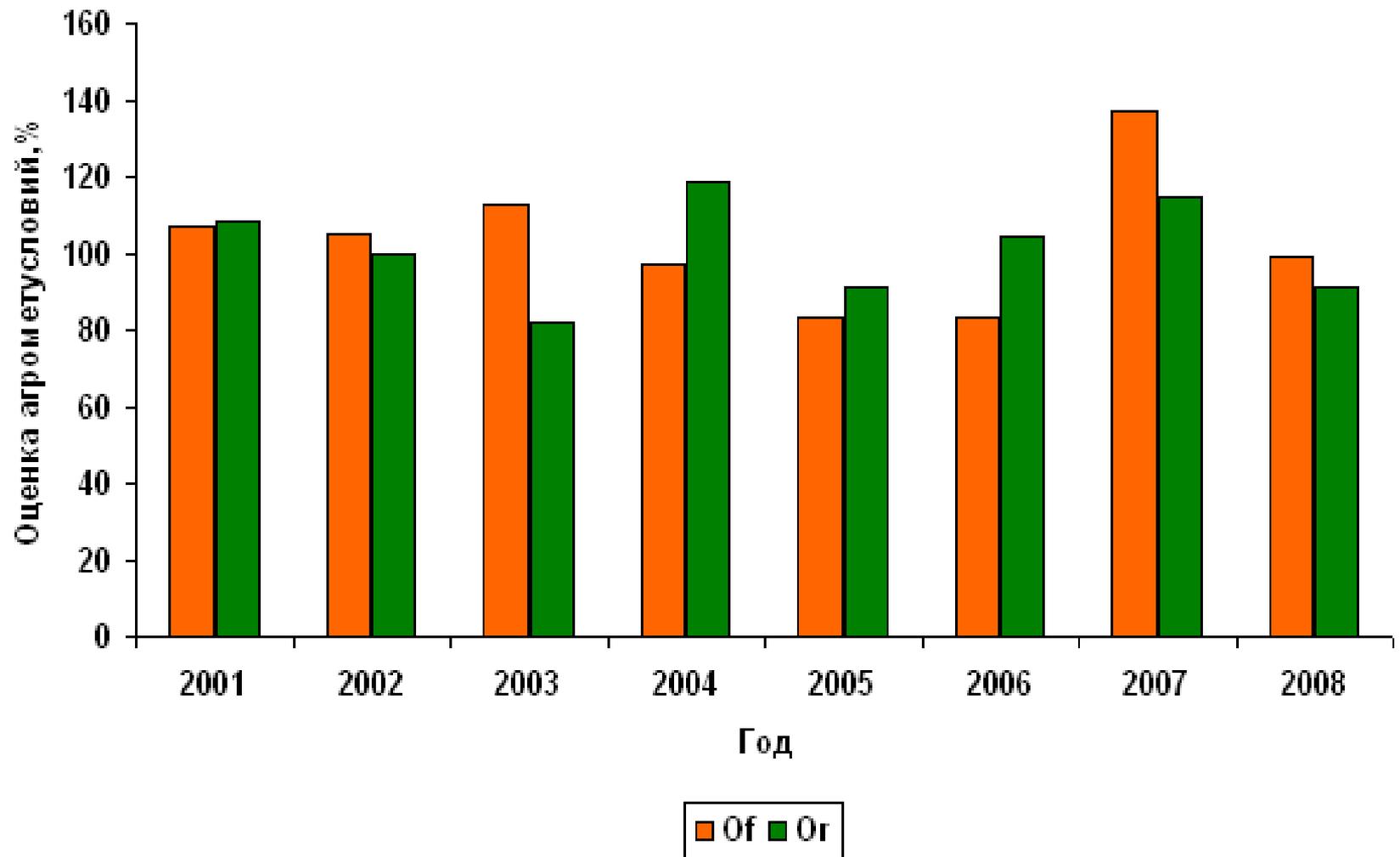
N3 – с использованием долгосрочного прогноза погоды в виде года-аналога на июль и август;

N4 – с использованием количественной оценки сложившихся и ожидаемых условий по долгосрочному прогнозу погоды, относительно условий прошлого года.

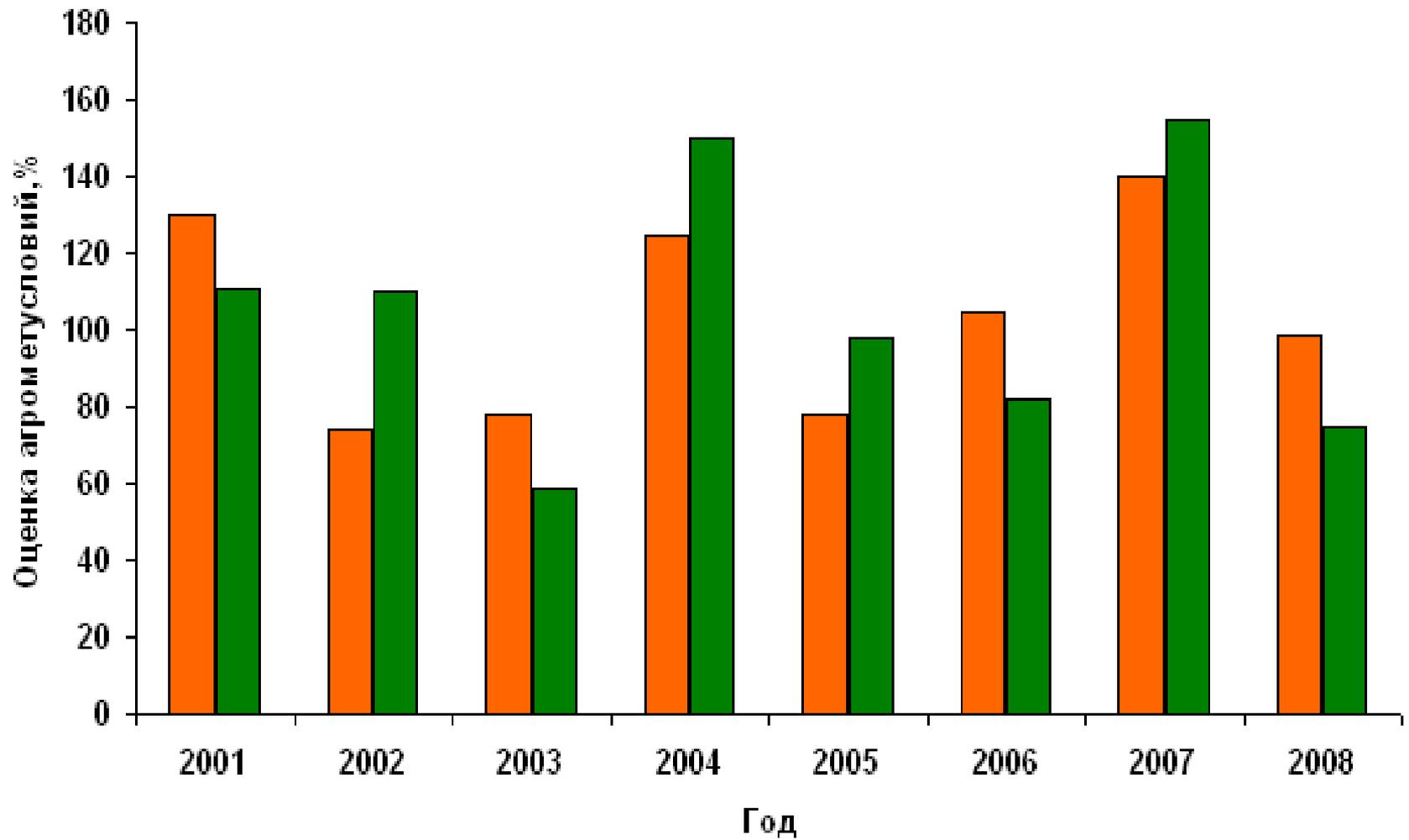
Сравнение рассчитанных (O_r) и фактических (O_f) величин комплексной оценки агрометеорологических условий формирования урожая яровой пшеницы относительно условий прошлого года.

2001-2005 гг. – авторские испытания,
2006 -2008 гг. – оперативные испытания.

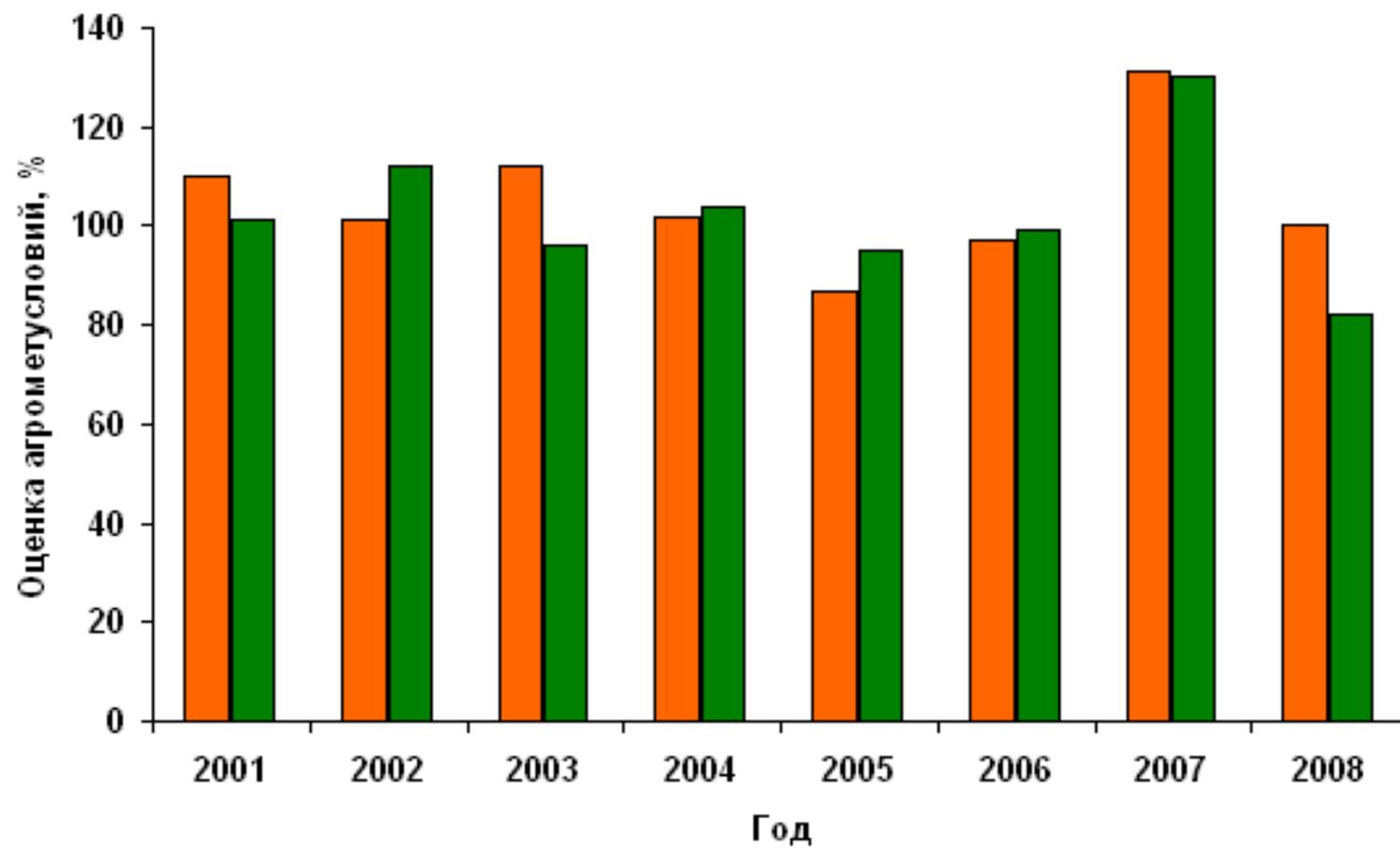
Томская область



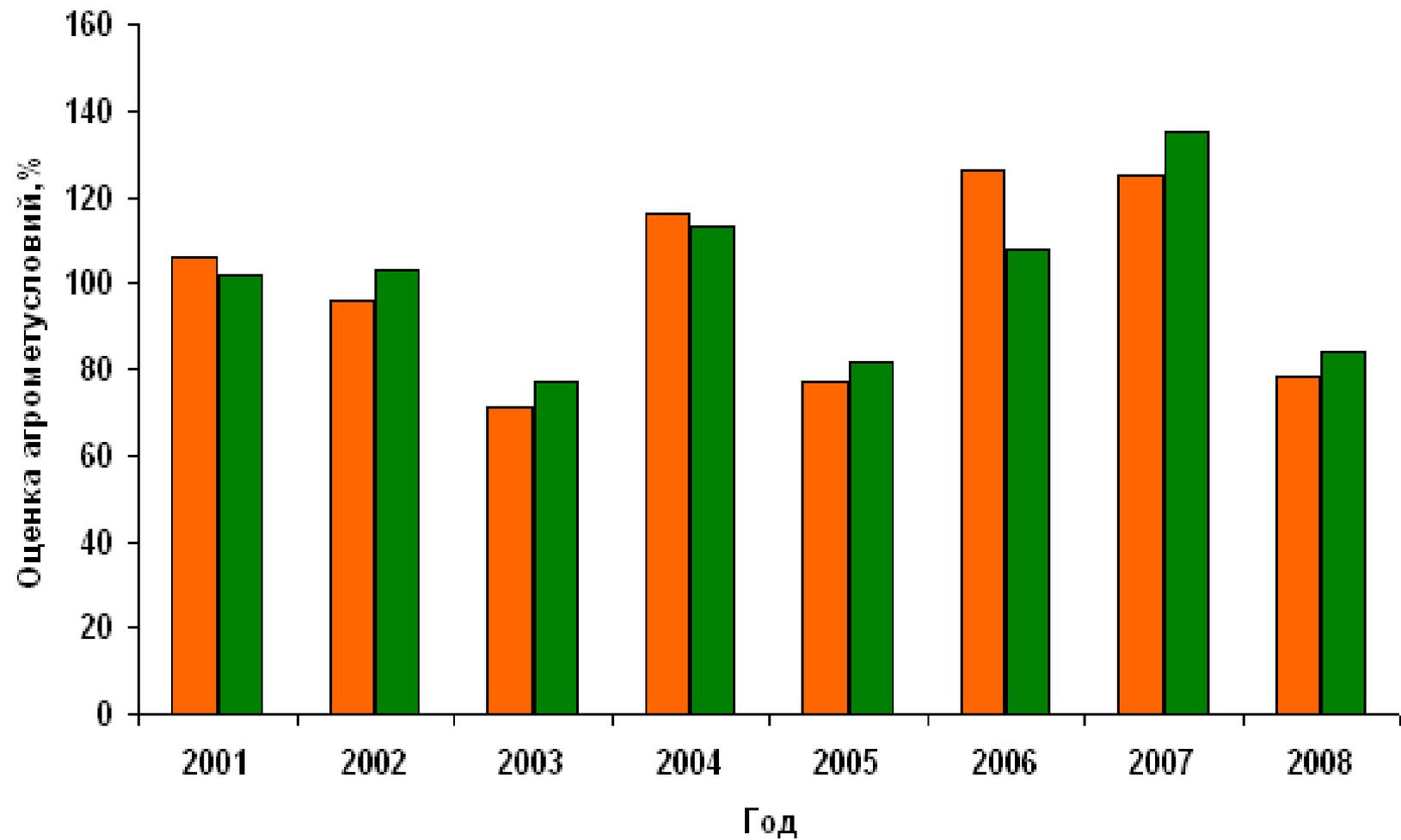
Новосибирская область



Кемеровская область



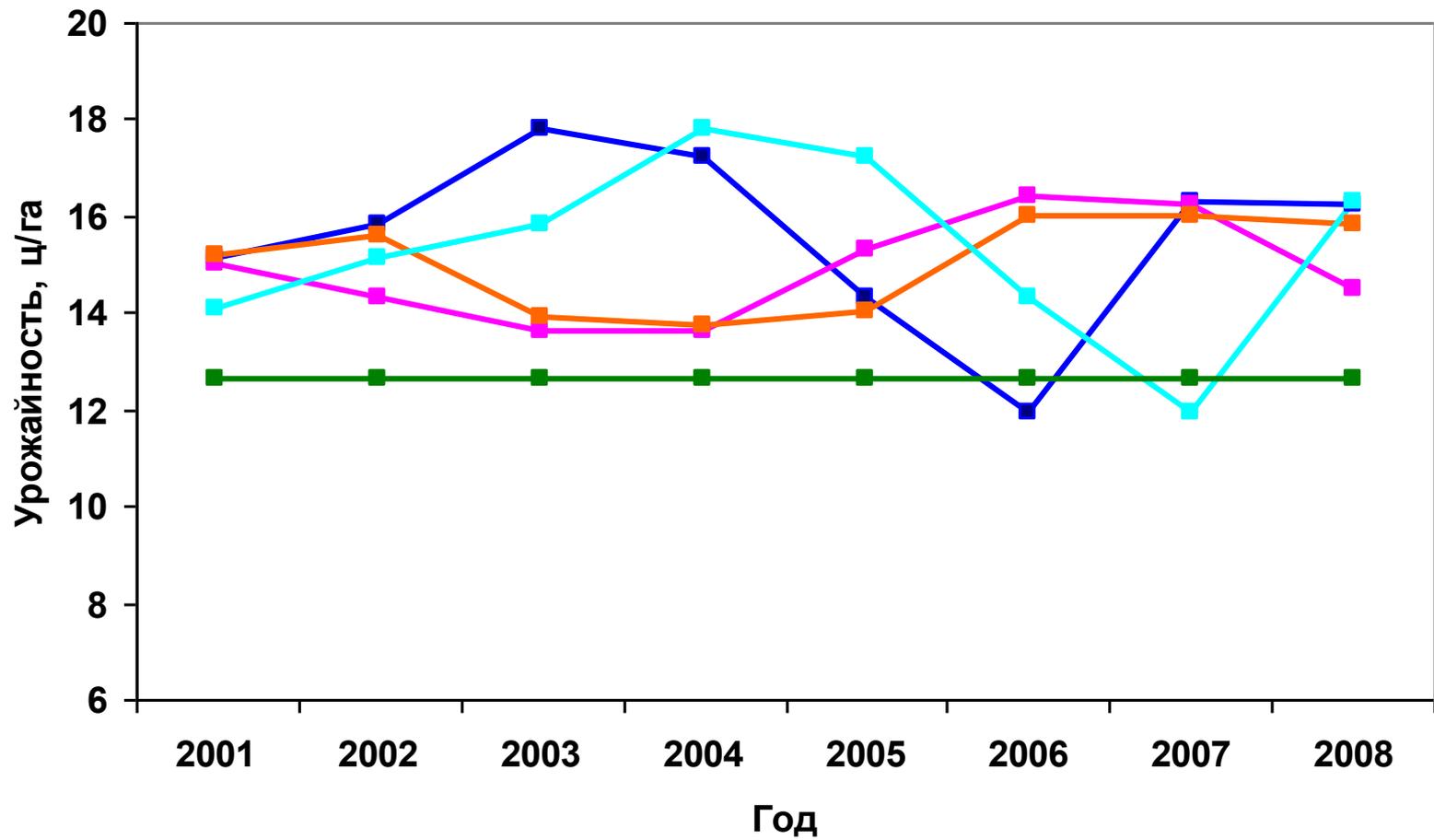
Алтайский край



Сравнение величин ожидаемой урожайности яровой пшеницы:

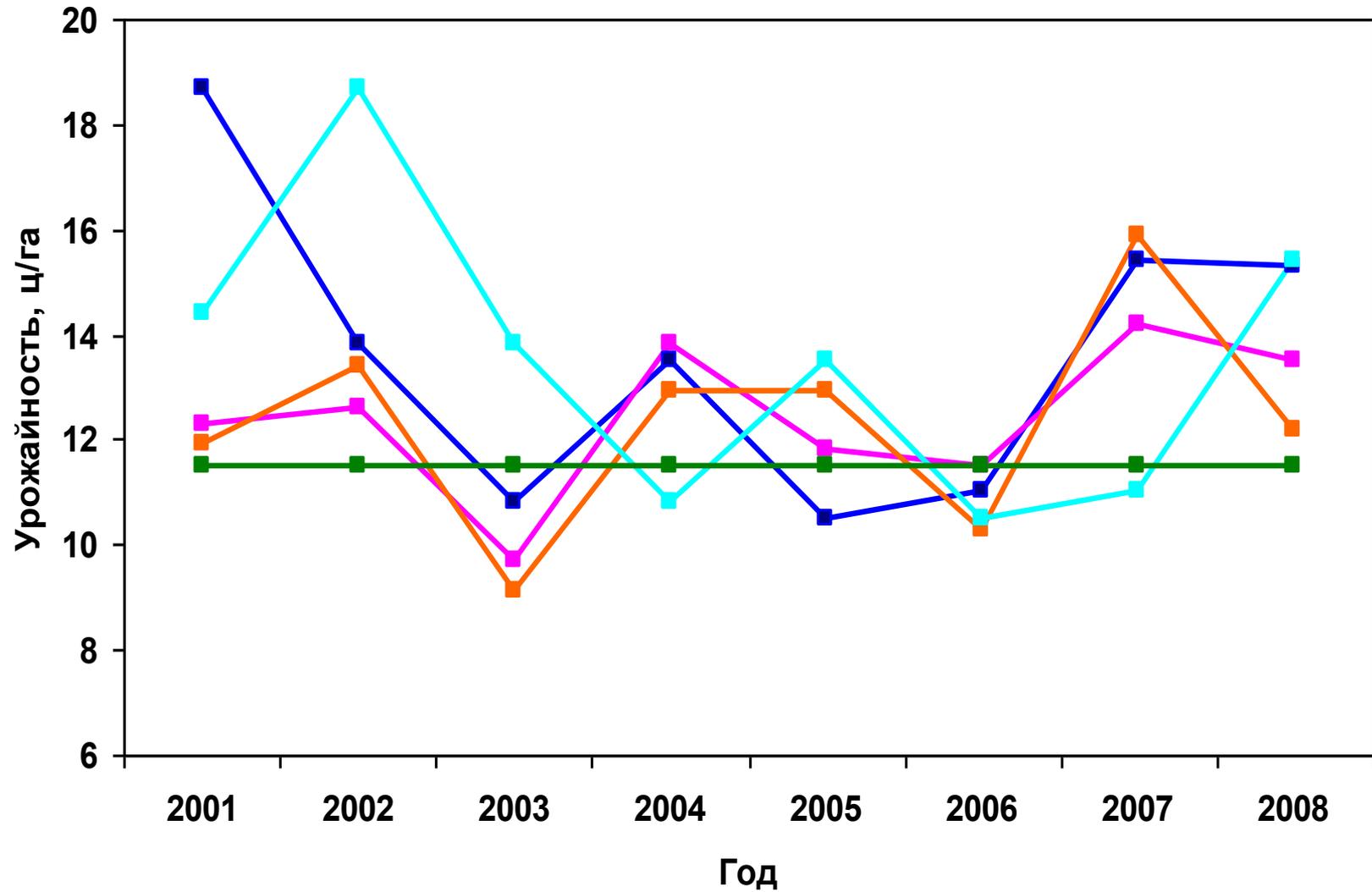
- по методическому (предварительный – U_{r1} , уточненный – U_{p2}),
- инерционному – U_i ,
- климатологическому – U_k с фактической – U_f .

Томская область

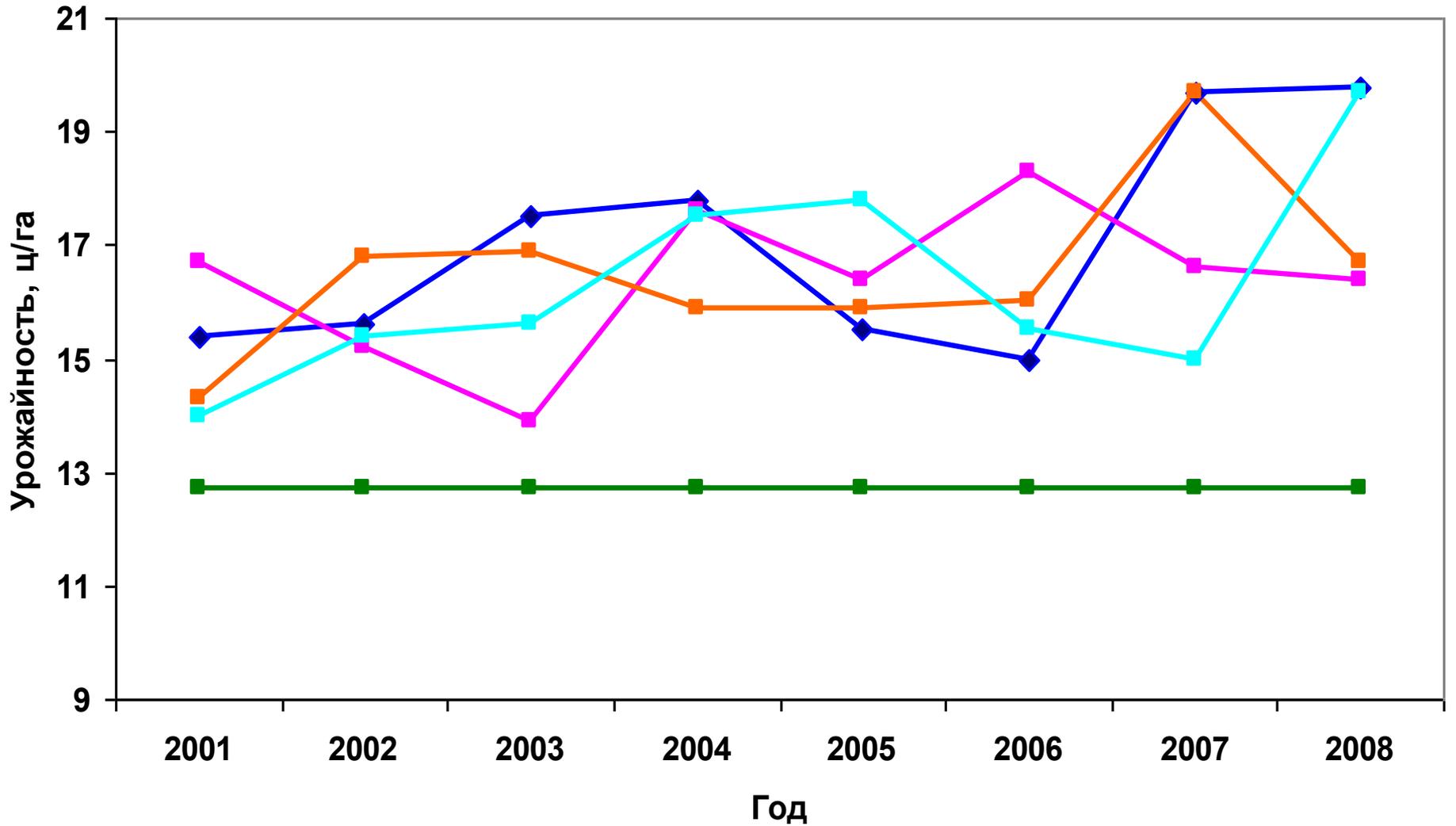


—■— Уф —■— Ур1 —■— Ур2 —■— Уи —■— Ук

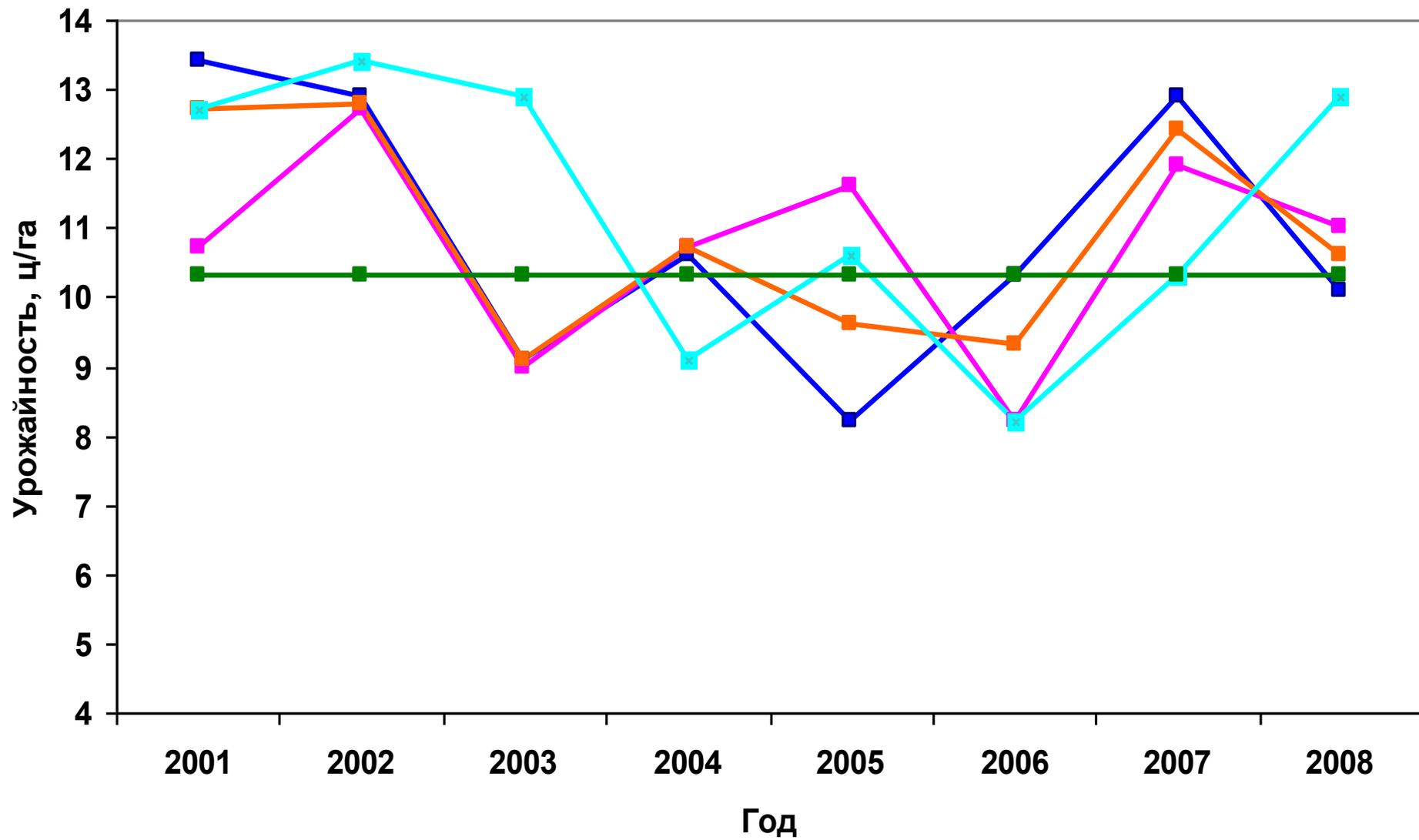
Новосибирская область



Кемеровская область



Алтайский край



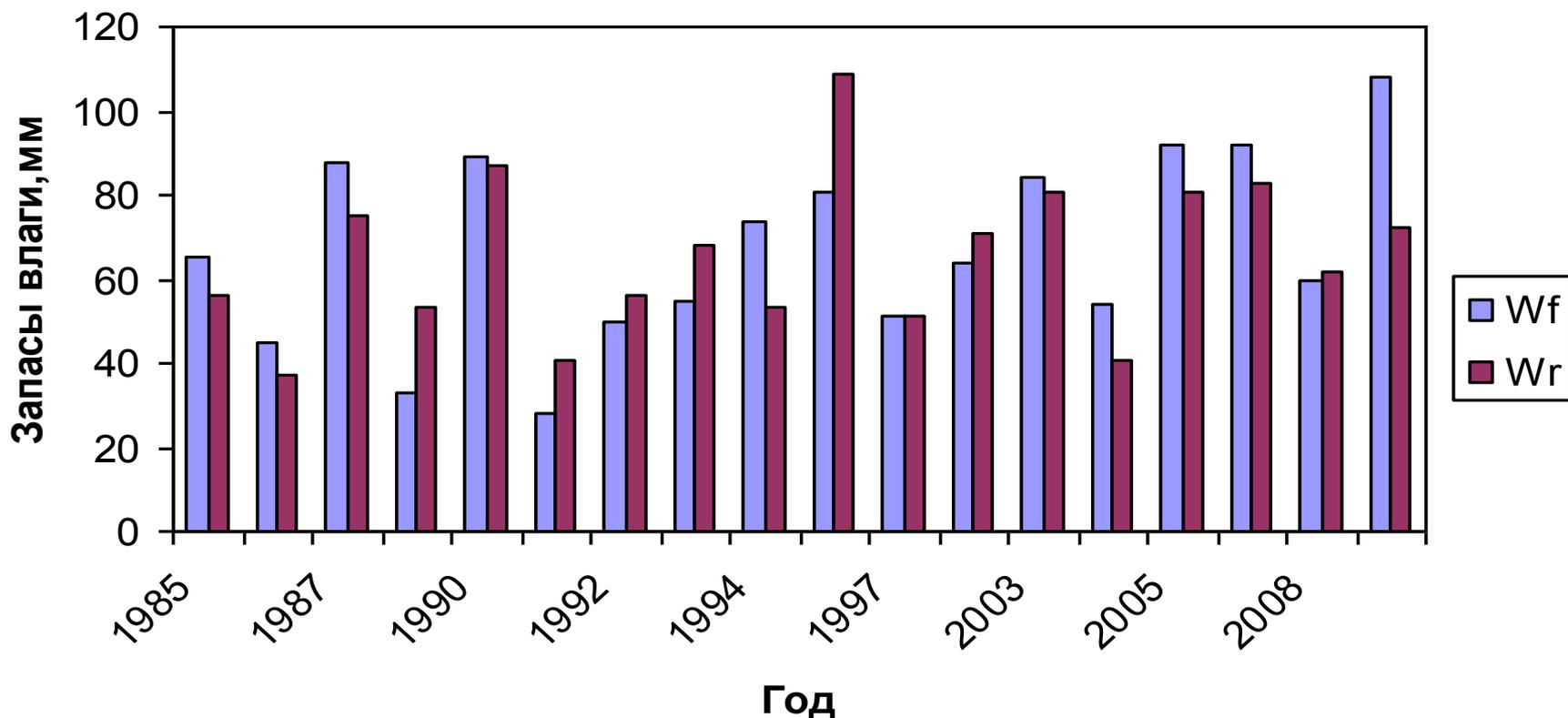


Рисунок 1- Сравнение рассчитанных (W_r) и фактических (W_f) величин продуктивных запасов влаги под картофелем в слое почвы 0-50 см на конец вегетации (ГМС Чарышское). 2005-2009гг. - независимые данные.

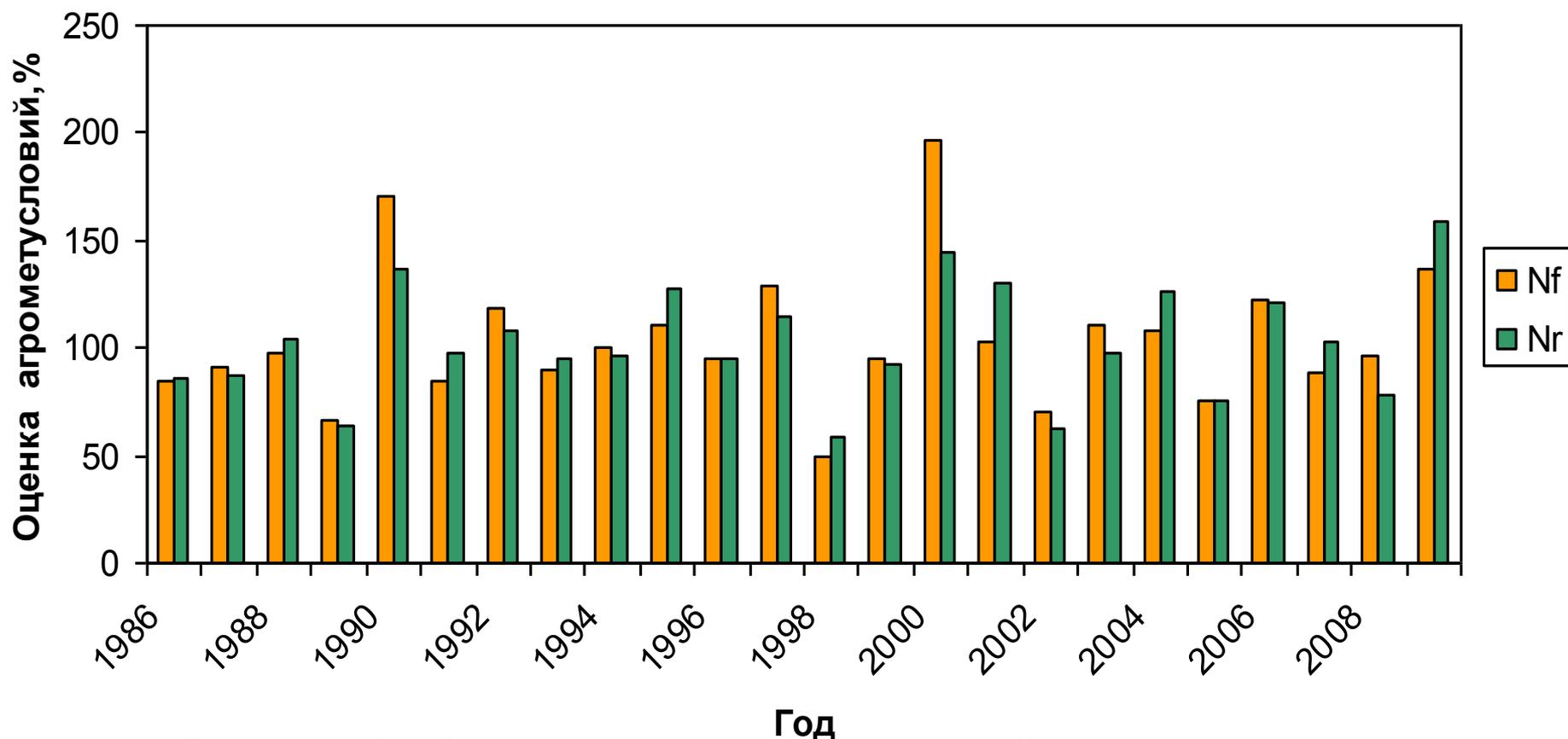


Рисунок 2 - Сравнение рассчитанных (Nr) и фактических (Nf) оценок агрометеорологических условий вегетационного периода в целом относительно прошлого года

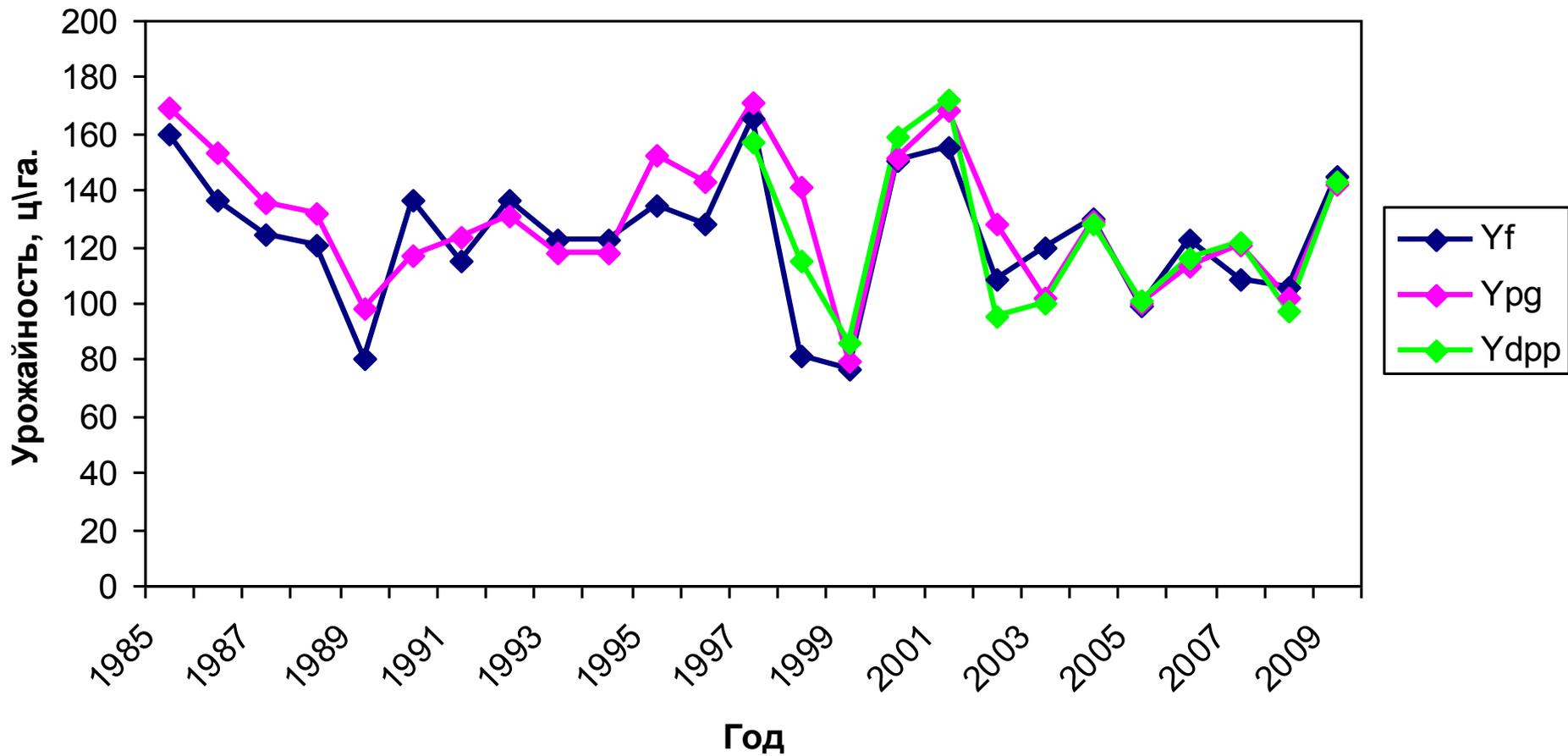


Рисунок 3 - Сравнение прогнозируемой урожайности клубней картофеля по сценариям "прошлый год" (Y_{pg}) и "год-аналог" (Y_{dpp}) с фактической (Y_f).

Вид одного из окон технологической линии расчетов:

pusk.bat - Far

Ввод данных Коррект. данных Расчет оценки Расчет прогноза Выход

Введите:
Год Месяц-Декаду и нажмите Ok

Заполнение файла Kart.dat
информацией за прошлый год

Год Месяц-Декада Ok

← Выход < Копирование

2008 07-3

Введите посевную площадь по области тыс. га

Введите год для аналога xxxx г.

Введите посевную площадь и год из 4-х знаков (1995) и нажмите клавишу <Enter>

Таблица 1 - Сравнение рассчитанных и фактических величин комплексных оценок агрометеорологических условий формирования урожая яровой пшеницы за полный вегетационный период, относительно условий прошлого года

Год	Оценка,%		Ошибка,%		Оценка,%		Ошибка,%	
	факти- ческая	рассчи- танная	абсо- лютная	относи- тельная	факти- ческая	рассчи- танная	абсо- лютная	относи- тельная
Томская область					Новосибирская область			
2001	107	108	-1	1	130	111	19	15
2002	105	100	5	5	74	110	-36	49
2003	113	82	-31	27	78	59	19	24
2004	97	119	-22	23	125	150	-25	20
2005	83	91	-8	10	78	98	-20	25
2006	83	104	-21	25	105	82	23	22
2007	137	115	22	16	140	155	-15	11
2008	99	91	8	8	99	75	24	24
Срем. за 2001- 2008гг.			15	14			23	24
Кемеровская область					Алтайский край			
2001	110	101	1	1	106	102	4	4
2002	101	112	-11	11	96	103	-7	7
2003	112	96	16	14	71	77	-6	8
2004	102	104	-2	2	116	113	3	2
2005	87	95	-8	11	77	82	-5	6
2006	97	99	-2	2	126	108	18	14
2007	131	130	-1	1	125	135	-10	8
2008	100	82	18	18	78	84	-6	8
Срем. за 2001- 2008гг.			7	8			7	7
2008	100	82	18	18	78	84	-6	8
Срем. за 2001- 2008гг.			7	8			7	7

Таблица 2 - Оправдываемость предварительных прогнозов средней урожайности яровой пшеницы за 2001-2008 гг. по испытываемому методу в сравнении с инерционными, климатологическими, оперативными и другими расчетными методами

Территория	Наименование прогноза	Оправдываемость, %		
		Авторские испытания за 2001-2005 гг.	Промышленные испытания за 2006-2008 гг.	Средняя за 2001-2008 гг.
Томская область	Методический	88	84	86
	Инерционный	91	84	88
	Климатологический	82	83	82
	Оперативный	91	87	90
Новосибирская область	Методический	87/92*	92	89/92**
	Инерционный	73	89	79
	Климатологический	83	82	82
	Метод Костюкова В.В.	88*	88	88**
	Оперативный	81	92	85
Кемеровская область	Методический	93/91*	82	88/86**
	Инерционный	92	91	92
	Климатологический	78	71	75
	Метод Черниковой М.И.	94	93	94
	Метод Костюкова В.В.	73*	85	79**
	Оперативный	88	87	88
Алтайский край	Методический	87/86*	88	87/87**
	Инерционный	80	77	79
	Климатологический	83	93	86
	Метод Кирилличевой К.В.	77	83	79
	Метод Костюкова В.В.	90*	87	89**
	Оперативный	80	90	84

* средняя оправдываемость за 2003-2005 гг.

** средняя оправдываемость за 2003-2008 гг.

Таблица 3 - Оправдываемость уточненных прогнозов средней урожайности яровой пшеницы за 2001-2008 гг. по испытываемому методу в сравнении с инерционными, климатологическими, оперативными и другими расчетными методами

Территория	Наименование прогноза	Оправдываемость, %		
		Авторские испытания за 2001-2005 гг.	Прогноз в поле испытания за 2006-2008 гг.	Средняя за 2001-2008 гг.
Томская область	Методический	91/85*	87	90/86**
	Инерционный	91	84	88
	Климатологический	82	83	82
	Метод Черниковой М.И.	85	84	85
	Метод Костюкова В.В.	86*	78	81**
	Оперативный	92	87	90
Новосибирская область	Методический	84/86*	90	86/88**
	Инерционный	73	89	79
	Климатологический	83	82	82
	Метод Кириличевой К.В.	79	91	84
	Метод Костюкова В.В.	90*	90	90**
	Оперативный	81	93	85
Кемеровская область	Методический	94/95*	92	93/94**
	Инерционный	92	91	92
	Климатологический	78	71	75
	Метод Черниковой М.И.	89	92	90
	Метод Костюкова В.В.	79*	90	84**
	Оперативный	90	86	88
Алтайский край	Методический	95/94*	94	95/94**
	Инерционный	80	77	79
	Климатологический	83	93	86
	Метод Кириличевой К.В.	91	83	88
	Метод Костюкова В.В.	97*	76	86**
	Оперативный	84	88	85

* средняя оправдываемость за 2003-2005 гг.

** средняя оправдываемость за 2003-2008 гг.

Таблица 4 - Результаты испытаний метода прогноза средней урожайности яровой пшеницы за период 2001-2008 годы по территории ответственности Западно-Сибирского УГМС

Территория	Наименование прогноза	Заблаговременность	Количество составленных прогнозов	Число оправдавшихся прогнозов	Оправданность метода, %	Ошибка метода, %
Томская Область	Предварительный	2 месяца	8	5	63	5,6
	Уточненный	1 месяц	8	6	75	1,6
	Инерционный		8	4	50	5,2
	Климатологический		8	2	25	9,0
Новосибирская область	Предварительный	2 месяца	8	6	75	7,5
	Уточненный	1 месяц	8	5	63	6,4
	Инерционный		8	2	25	2,5
	Климатологический		8	2	25	5,0
Кемеровская область	Предварительный	2 месяца	8	4	50	4,2
	Уточненный	1 месяц	8	7	88	5,4
	Инерционный		8	6	75	4,5
	Климатологический		8	0	-	-
Алтайский край	Предварительный	2 месяца	8	5	63	4,2
	Уточненный	1 месяц	8	8	100	5,4
	Инерционный		8	3	38	10,3
	Климатологический		8	4	50	4,5

Таблица 5 - Результаты авторских испытаний метода расчета комплексных оценок агрометеорологических условий формирования урожая картофеля, относительно условий прошлого года (вегетационный период в целом)

Год	Урожайность, ц/га				Оценка, %		Отклонение, %	
	фактическая		рассчитанная		факт.	рассч.	абс.	относ.
	текущий год	прошлый год	текущий год	прошлый год				

Томская область								
2003	162	94	140	91	172	154	-18	10
2004	163	162	143	140	101	102	1	1
2005	142	163	113	143	87	79	-8	9
2006	159	142	154	113	112	118	6	5
2007	154	159	163	154	97	106	9	9
Новосибирская область								
2005	99	130	97	130	76	75	1	1
2006	122	99	117	97	123	121	2	2
2007	109	122	120	117	89	103	-14	16
2008	106	109	94	120	97	78	19	20
2009	145	106	150	94	137	159	-21	15
Кемеровская область								
2004	122	120	130	104	102	125	-23	23
2005	106	122	99	130	87	76	11	13
2006	116	106	95	99	109	96	13	12
2007	113	116	124	95	97	130	-23	24
2008	139	113	155	124	123	125	-2	2
Алтайский край								
2005	126,4	144,2	123,2	114,3	88	108	20	23
2006	135,1	126,4	120,8	123,2	107	98	-9	8
2007	134,4	135,1	134,2	120,8	99	111	12	12
2008	130,2	134,4	142,0	134,2	97	106	9	9
2009	132,1	130,2	172,8	142,0	101	121	20	20

Таблица 6 – Средняя оправдываемость прогнозов урожайности картофеля в сравнении с инерционными, климатологическими и другими расчетными методами, (по авторским испытаниям)

Территория, период лет	Наименование прогноза	Оправдываемость, %
Томская область, 2003-2007	Методический N1	88
	Методический N2	88
	Методический N3	92
	Инерционный	85
	Климатологический	77
Новосибирская область, 2005-2009	Методический N1	90,8
	Методический N2	94,8
	Методический N3	94,5
	Инерционный	81,4
	Климатологический	84,8
	Гончарова Т.А.	90,6
	Набока В.В. (2003)	84,5
Кемеровская область, 2004-2008	Методический N1	88
	Методический N2	94
	Методический N3	93
	Инерционный	87
	Климатологический	83
Алтайский край, 2005-2009	Методический N1	85.8
	Методический N2	91.0
	Методический N3	91.3
	Инерционный	94.4
	Климатологический	77.1

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



РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Страшная А.И. Состояние и проблемы оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства на федеральном уровне в условиях глобального изменения климата// Тр. ВНИИСХМ, 2007. - Вып.36.- С. 78-91.
2. Сиротенко О.Д. Развитие физико-математических методов исследования в агрометеорологии// Развитие сельскохозяйственной метеорологии в России/ под. ред. А.Д.Клещенко, И.Г.Грингофа; ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Изд. 2-е, перераб. и расш. - Обнинск, 2009. – С. 112-130.
3. Сиротенко О.Д., Просвиркина А.Г. Метод количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая ярового ячменя (для нечерноземной зоны Европейской территории СССР). - М.: Гидрометеиздат, 1979.-32с.
4. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. - Л.: Гидрометеиздат,1981. - 167 с.
5. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур.-Л.:Гидрометеиздат, 1983. - 175 с.
6. 10. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Павлова В.Н. Динамическая модель ПОГОДА-УРОЖАЙ для яровых зерновых культур и ее использование при оценке агрометеорологических условий формирования урожая в аридной зоне // Тр.ВНИИСХМ. – 1985. – Вып.10. – С.43-61.
7. Набока В.В. Идентификация параметров модели «Погода-Урожай» для культуры картофеля в условиях Западной Сибири // Тр. ЗапСибНИИ.-1983.-Вып.58.- С. 44-54.
8. Набока В.В. Применение динамической модели формирования урожая картофеля для агрометеорологических расчетов // Тр.ЗапСибНИГМИ.-1989.-Вып.86.-С.89-97.
9. Набока В.В. О применении динамической модели для прогнозирования агрометеорологических условий формирования урожая картофеля по территории Урала на основе прогноза погоды // Тр. СибНИГМИ. - 2000. - Вып.102. - С.106-118.
- 10.Набока В.В. О применении динамической модели формирования урожая картофеля с суточным разрешением для прогнозирования урожайности в условиях Сибири. Тр. СибНИГМИ. - 2006.-Вып. 105. - Сайт ГУ «СибНИГМИ». Актуально 24.06.2010., <http://sibnigmi.ru/cgi-bin/inst/index.pl?4>.
- 11.Набока В.В., И.Г. Ковригина И.Г. Результаты испытаний методов оценки условий формирования урожая и прогноза средней урожайности яровой пшеницы по территории Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края. // Информационный сборник №38 ГУ «гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации», М., 2011. с.115-130.
12. Решение участников Международной научно-практической конференции «Агрометеорологическое обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата». (ГУ «ВНИИСХМ», Росгидромет, г.Обнинск, 9-13 октября 2006 г.) // Тр. ВНИИСХМ. - 2006. – Вып. 36. – С.437–440.

БЛАГОДАРЮ

ЗА ВНИМАНИЕ!

