

Использование спутниковой информации MODIS в оперативной агрометеорологии

А.Д. Клещенко, В.М. Лебедева, Т.А. Найдина, О.В. Савицкая

*Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной метеорологии
249038, Россия, Обнинск
E-mail: t-naidina@yandex.ru*

Использование спутниковой информации Modis для задач оперативной оценки состояния и продуктивности зерновых культур актуально ввиду возможности получения спутниковых данных по всей территории Российской Федерации в течение вегетационного периода.

Разработанные в ФГБУ «ВНИИСХМ» технологии использования спутниковой информации в оперативном обеспечении сельскохозяйственного производства основаны на наличии зависимости между отражательными характеристиками сельскохозяйственных посевов, их состоянием и продуктивностью.

Спутниковая информация наряду с метеорологическими показателями используется в регрессионных моделях при оценке урожайности зерновых культур по районам для территории трех УГМС Росгидромета: Северо-Кавказского, Приволжского и Центрально-Черноземных областей, при этом в большинстве случаев относительная ошибка не превышает 15%. Разработан метод пространственного распределения ожидаемой урожайности зерновых культур по территории РФ с использованием спутниковой информации.

В динамических моделях продукционного процесса растений при оперативном прогнозировании урожайности зерновых культур спутниковая информация используется для расчета газообмена. Прогнозы урожайности сельскохозяйственных культур с использованием динамико-статистического метода составляются в установленные Росгидрометом сроки с заблаговременностью от 1 до 4 месяцев. Методики прогноза урожайности кукурузы с использованием данных NDVI разработаны для 16 субъектов Южного, Северо-Кавказского, Центрального и Приволжского федеральных округов, яровой пшеницы и ярового ячменя – для территории Краснодарского края. Средняя ошибка прогнозов урожайности составила 10–12%.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования, NDVI, оценка состояния, регрессионные уравнения, динамическая модель, прогноз урожайности, продукционный процесс.

Введение

Использование спутниковой информации Modis (с сервиса Вега ИКИ РАН, <http://pro-vega.ru/>), наряду с данными наземных агрометеорологических наблюдений, для задач оперативной агрометеорологии весьма актуально ввиду возможности получения спутниковых данных по любой необходимой территории в оперативном режиме в определенные периоды вегетации сельскохозяйственных культур.

Разработанные в ФГБУ «ВНИИСХМ» технологии использования спутниковой информации основаны на наличии зависимости между отражательными характеристиками сельскохозяйственных посевов, их состоянием и продуктивностью.

В ФГБУ «ВНИИСХМ» спутниковая информация используется:

- при оценке урожайности зерновых культур посредством комплексного использования спутниковой и агрометеорологической информации в физико-математических моделях;

- при оперативном прогнозировании урожайности для расчета газообмена в динамических моделях продукционного процесса сельскохозяйственных культур.

Применение спутниковой информации повышает качество оценок условий вегетации сельскохозяйственных культур и оперативных прогнозов урожайности.

Ежедекадная оценка урожайности зерновых культур по спутниковым и агрометеорологическим данным

Технология ежедекадной оценки урожайности зерновых культур, с использованием спутниковой и наземной агрометеорологической информации разработана и успешно функционирует в ФГБУ «ВНИИСХМ» (Клещенко, Савицкая, 2011). Технология основана на комплексном использовании спутниковой и агрометеорологической информации. В основу технологии положена зависимость между отражательными характеристиками посевов сельскохозяйственных культур, их состоянием и продуктивностью, а также учетом складывающихся агрометеорологических условий. Исследования проводились по территории Северо-Кавказского, Приволжского УГМС и УГМС Центрально-Черноземных областей с использованием информации метеорологических и агрометеорологических станций. В состав рассматриваемых агрометеорологических параметров входили: сумма осадков за декаду, средняя декадная температура воздуха, средний дефицит влажности воздуха за декаду. Кроме того, использовался широко применяемый в агрометеорологии для оценки увлажнения гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК):

$$ГТК = \frac{\sum P}{0,1 \sum T},$$

где $\sum P$ – сумма осадков за соответствующий период (мм); $\sum T$ – сумма температур за тот же период.

Спутниковая информация любезно предоставлена ИКИ РАН (Толпин и др., 2014) в виде вегетационных индексов (NDVI), которые рассчитываются по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где RED , NIR – отражательная способность подстилающей поверхности соответственно в красном и ближнем инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра.

Анализ корреляционных матриц позволил выявить достаточно устойчивые связи между отдельными агрометеорологическими параметрами, NDVI и урожайностью яровых и озимых культур, что позволило построить регрессионные модели, с помощью которых можно проводить расчет урожайности зерновых культур подекадно.

В *табл. 1* приведены параметры уравнений регрессии между урожайностью и агрометеорологической и спутниковой информацией по данным наблюдений за период с 2001 по 2011 гг. для Волгоградской, Ростовской областей и Ставропольского края. Подобные уравнения были получены для всех исследуемых УГМС.

Проверка регрессионных моделей на независимом материале (2009–2013 гг.) показала хорошее совпадение между фактической и рассчитанной урожайностью. Относительная ошибка для большинства областей варьирует в пределах 10–15% (Клещенко, Савицкая, 2011; Клещенко, Вирченко, Савицкая, 2013). Для примера в *табл. 2* представлен расчет урожайности озимой пшеницы для Северо-Кавказского УГМС за 2013 год.

Таблица 1. Уравнения зависимости урожайности озимой пшеницы от NDVI и гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) для Волгоградской, Ростовской областей и Ставропольского края

Месяц	Декада	Уравнения регрессии	Коэффициент множественной корреляции	Среднее квадратическое отклонение
апрель	3	$Y = 1,97 + 1,09 \cdot \Sigma \text{ГТК} + 57,73 \cdot \text{NDVI}$	0,85	3,51
май	1	$Y = 0,63 + 0,71 \cdot \Sigma \text{ГТК} + 54,04 \cdot \text{NDVI}$	0,87	3,32
май	2	$Y = -4,11 + 0,67 \cdot \Sigma \text{ГТК} + 57,18 \cdot \text{NDVI}$	0,87	3,34
май	3	$Y = -5,31 + 0,83 \cdot \Sigma \text{ГТК} + 55,51 \cdot \text{NDVI}$	0,82	3,85
июнь	1	$Y = -5,56 + 1,06 \cdot \Sigma \text{ГТК} + 51,43 \cdot \text{NDVI}$	0,81	3,89
Примечание: Y – урожайность озимой пшеницы, Σ ГТК – сумма значений ГТК со второй декады апреля по текущую декаду, NDVI – значение вегетационного индекса				

Таблица 2. Сравнение фактической и рассчитанной урожайности озимой пшеницы для Северо-Кавказского УГМС за 2013 год

Дата	Расчетное значение, ц/га	Субъекты РФ			
		Волгоградская область	Ростовская область	Ставропольский край	Краснодарский край
30 апреля	Урожайность	21,7	27,7	36,2	48,7
	Отклонение	1,3	3,8	5,6	1,6
10 мая	Урожайность	22,7	28,3	34,2	47,8
	Отклонение	2,3	4,4	3,6	2,5
20 мая	Урожайность	21,9	27,5	33,2	46,9
	Отклонение	1,5	3,6	2,6	3,4
31 мая	Урожайность	21,9	26,8	32,5	51,0
	Отклонение	1,5	2,9	1,9	0,7
10 июня	Урожайность	22,6	24,6	29,9	46,0
	Отклонение	2,2	0,7	0,7	4,3

Выходным продуктом разработанного метода также являются карты состояния посевов, которые используются при оценке агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур. Для их создания разработана процедура пересчета рассчитанных значений урожайности на оценку состояния посевов по 3-х бальной системе (Клещенко, Савицкая, 2014). Градация «плохое» определяет ожидаемую урожайность менее 80% от среднемноголетней урожайности. Градация «удовлетворительное» – ожидаемая урожайность от 80% до 105%, а градация «хорошее» – ожидаемая урожайность более 105% от среднемноголетней урожайности.

Аналогичный подход уже применялся в оперативной спутниковой системе мониторинга состояния посевов, разработанной во ВНИИСХМ (Клещенко, Вирченко, 2006). В качестве промежуточного параметра для перехода от NDVI к урожайности в указан-

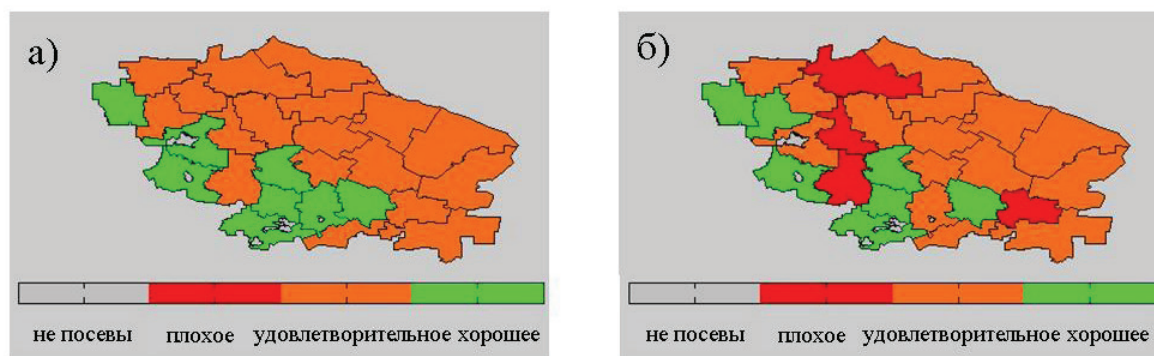


Рис. 1. Оценка состояния посевов озимой пшеницы для Ставропольского края:
 а – по рассчитанной урожайности для 3-й декады мая за 2013 г.;
 б – по фактической урожайности за 2013 г.

ной методике использовался агрометеорологический показатель «густота посева». В настоящее время использование этого показателя затруднительно, поскольку существенно снизилось количество станций, проводящих наблюдения за густотой стояния растений. В этом случае целесообразно использовать для перехода к урожайности, разработанные регрессионные модели.

Для проверки предложенного подхода было проведено сравнение карт оценки состояния посевов по значениям фактической и рассчитанной средней районной урожайности озимой пшеницы для 3 декады мая 2013 г. для Ставропольского края (рис. 1). Значения фактической средней районной урожайности любезно предоставлены управлениями гидрометеослужбы (Северо-Кавказского, Приволжского и Центральных Черноземных областей), за что выражаем им особую благодарность.

На карте, полученной по рассчитанным значениям урожайности наглядно видно, что на большей части территории Ставропольского края посевы находились в удовлетворительном состоянии, только на небольшом участке юга Ставропольского края посевы были в хорошем состоянии. По фактическим данным наблюдается такая же тенденция, но присутствуют районы с плохим состоянием посевов. Хотя по абсолютным значениям имеется различие, но тенденция выявления районов с ухудшением состояния улавливается хорошо. Рассчитанная средняя областная урожайность для данной декады равна 32,5 ц/га, а фактическая урожайность – 30,6 ц/га.

Поскольку исследования проводились для южных регионов РФ, представляется важным при оценке состояния и продуктивности посевов сельскохозяйственных культур проводить оценку условий засушливости и учитывать ее при комплексной оценке условий вегетации посевов и воздействие их на продуктивность зерновых культур. Для оценки интенсивности засухи использовался стандартизированный индекс осадков (SPI). В 2009 г. Всемирная Метеорологическая Организация рекомендовала его использование для мониторинга засухи. Преимущество его использования состоит в том, что имеется достаточно надежная база данных осадков, кроме того, значения индекса не зависят от географического расположения территории и при его расчете выполняется нормирование по времени. Был произведен расчет значений SPI для субъектов территории РФ. Анализ показал, что значения SPI достаточно

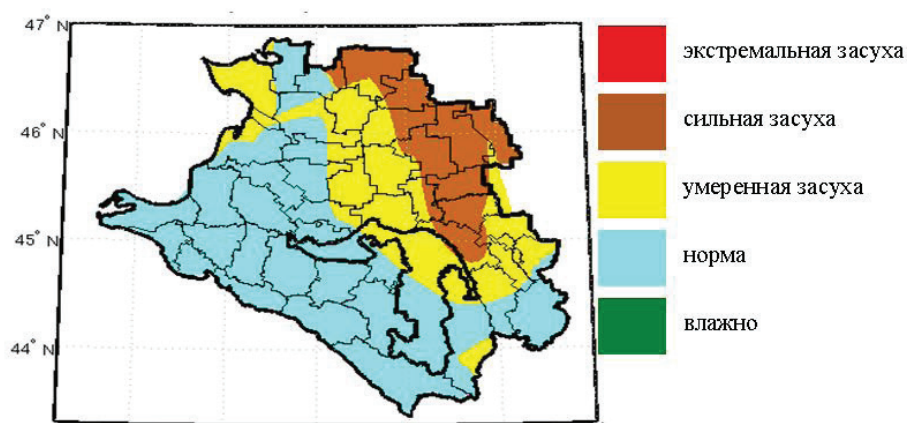


Рис. 2. Распределение значений SPI для 3 декады апреля 2009 г. по территории Краснодарского края

надежно определяют территории с засухой в РФ (Клещенко, Савицкая, 2014). Были составлены карты пространственного распределения SPI по территории для выявления засушливых участков области. Пример распределения значений SPI для 3 декады апреля 2009 г. по территории Краснодарского края представлен на *рис. 2*.

Оперативный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур с использованием динамических моделей

В настоящее время для оперативного прогнозирования урожайности основных сельскохозяйственных культур используются динамико-статистические методы прогноза (Лебедева, Страшная, 2012). Динамические модели продукционного процесса растений являются основой этих методов (Русакова и др., 2006).

Исследования по оценке возможностей использования вегетационного индекса NDVI для моделирования физиологических процессов растений в динамических моделях «погода – урожай» проходило в несколько последовательных этапов:

Исследована взаимосвязь наземных данных: дат наступления фаз развития сельскохозяйственных культур, значений листового индекса, густоты стояния растений и значений индекса NDVI (Найдина, 2010).

При использовании NDVI в динамической модели роста растений показано, что величина NDVI достаточно адекватно отражает сезонный ход фотосинтеза сельскохозяйственных культур, и ее использование в применяемой для оперативных расчетов модели прогнозирования урожайности яровой пшеницы дало положительные результаты (Клещенко, Найдина, 2011; Найдина, 2011). Это послужило основанием для использования данных дистанционного зондирования при моделировании продукционного процесса кукурузы в новой динамической модели для оперативного прогнозирования урожайности этой культуры (Клещенко, Найдина, Гончарова, 2012).

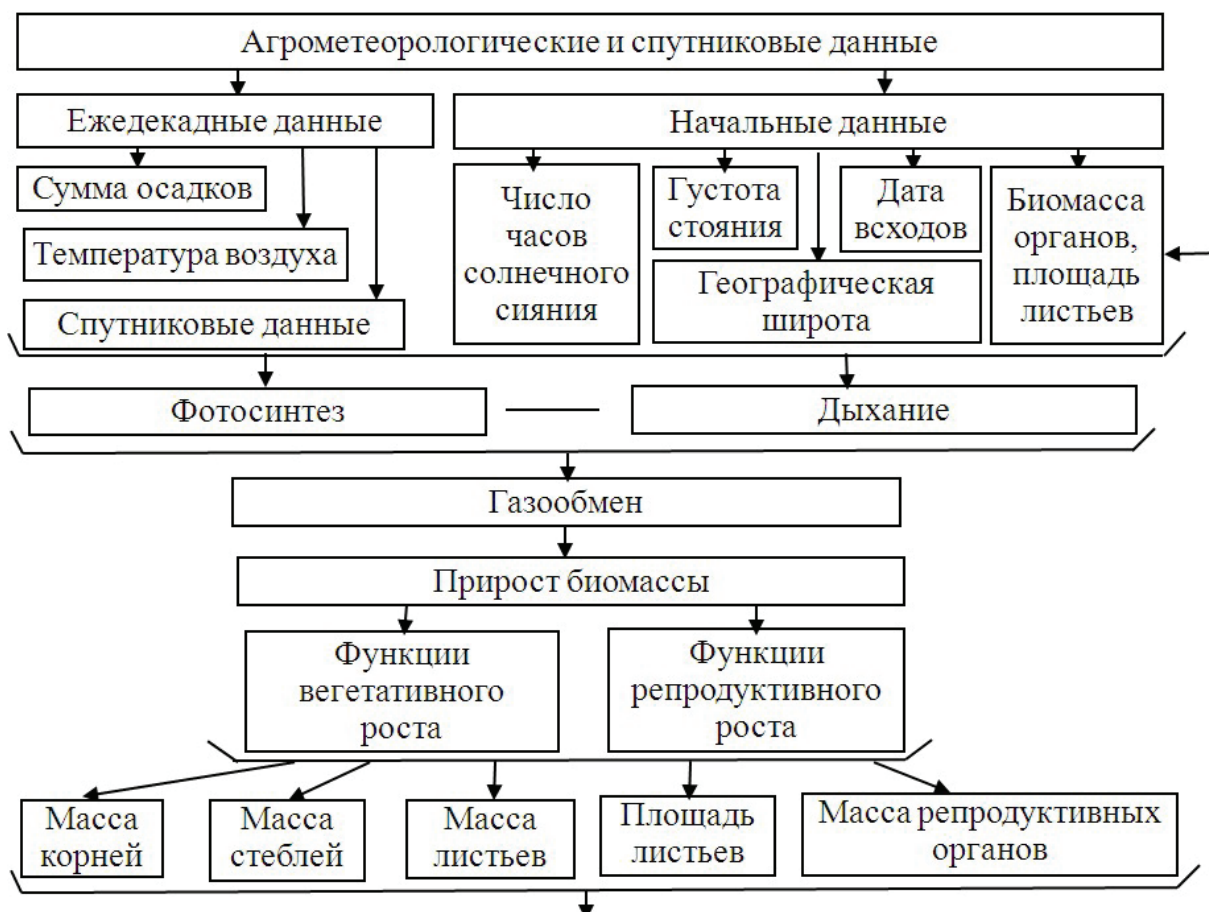


Рис. 3. Блок-схема динамической модели роста растений

Разработана технология оперативного прогнозирования урожайности кукурузы на зерно с использованием спутниковой информации по основным кукурузосеющим субъектам Российской Федерации для ФГБУ «Гидрометцентр России», позволяющая в автоматизированном режиме рассчитывать ожидаемую урожайность и оценивать качество разработанных методов прогноза.

Технология оперативного прогнозирования с использованием данных дистанционного зондирования основана на использовании динамико-статистических методов. Входными данными являются: временной ряд урожайности, метеорологические и агрометеорологические параметры, спутниковая информация, выходными – расчетные значения ожидаемой урожайности.

Прогнозируемая на момент времени t ожидаемая урожайность Y^t рассчитывается как произведение тенденции Y^{t+1} временного ряда урожайности и оценки C^t условий вегетационного периода (Полевой, 1988):

$$Y^t = Y^{t+1} \cdot C^t.$$

Тенденция рассчитывается путем экстраполяции временного ряда урожайности с помощью статистических методов (метода гармонических весов, взвешенного среднего и др.).

Предполагается, что она отражает влияние на урожайность уровня технологии возделывания, смену сортов, изменение доз удобрений и т.п.

Оценка условий вегетационного периода C^t рассчитывается как отношение биомассы репродуктивных органов, рассчитанных в модели на момент времени t по агрометеорологическим данным текущего года (m_p^t) к биомассе репродуктивных органов, рассчитанных с использованием средних многолетних данным (m_p):

$$C^t = \frac{m_p^t}{m_p}.$$

Оценка условий, рассчитанная по динамической модели продукционного процесса растений, позволяет количественно охарактеризовать условия формирования урожая, оценить степень отличия складывающихся (на дату составления прогноза) агрометеорологических условий формирования урожая от многолетних, на фоне которых формируется тенденция урожайности.

Структура динамической модели обеспечивает достаточно полное описание основных процессов жизнедеятельности культуры, учитывает биологические особенности культуры и ее взаимодействие с окружающей средой (рис. 3).

Моделирование продукционного процесса сводится к определению прироста общей биомассы и биомассы отдельных органов растений за определенные интервалы времени. При определении приростов биомассы (dM / dt) учитываются основные физиологические процессы растения: фотосинтез и дыхание. Фундаментальное уравнение динамики биомассы посева сельскохозяйственных культур имеет вид (Сиротенко, 1981):

$$\frac{dM}{dt} = P^j(M) - R^j(M),$$

где P^j – суммарный фотосинтез посева, R^j – затраты на дыхание, t – время, j – номер расчетного периода.

Решающее значение при моделировании процесса формирования урожая имеет оценка прироста биомассы отдельных органов. Динамика сухой биомассы органов растения в течение вегетационного периода рассчитывается посредством системы дифференциально-разностных уравнений (Полевой, 1988):

$$\left. \begin{aligned} m_i^{j+1} &= m_i^j + \left(\beta_i^j \frac{\Delta M^j}{\Delta t} - \psi_i^j m_i^j \right) n \\ m_p^{j+1} &= m_p^j + \left(\beta_p^j \frac{\Delta M^j}{\Delta t} + \sum_i^{l,s,r} \psi_i^j m_i^j \right) n \end{aligned} \right\}, \quad i \in l, s, r,$$

где m_i – общая сухая биомасса отдельных органов (l – листья, s – стебли, r – корни, p – репродуктивные органы); β_i – функция распределения «свежих», вновь созданных ассимилятов; ψ_i – функция перераспределения между органами «старых», ранее запасенных ассимилятов; n – число дней в расчетной декаде; j – номер расчетной декады.

Вид ростовых функций зависит от суммы эффективных температур, с которой начинается рост репродуктивных органов, а также от суммы эффективных температур, необходимой для завершения роста каждого вегетативного органа растения.

В динамической модели индексы NDVI используются для расчета интенсивности фотосинтеза в течение вегетационного периода, что позволяет комплексно учитывать погодные условия и состояние посевов (Клещенко, Найдина, Гончарова, 2012).

В результате проведенных исследований были разработаны технологии оперативного прогнозирования и оценки качества прогнозов урожайности с использованием спутниковых данных для УГМС и ФГБУ «Гидрометцентра России», в настоящее время проводится испытание разработанных методов прогноза урожайности кукурузы на зерно.

Прогнозы урожайности яровой пшеницы, ярового ячменя и кукурузы на зерно составляются 21 июня и уточняются 21 июля (в установленные Росгидрометом сроки), однако модель «погода – урожай» позволяет еженедельно рассчитывать ожидаемую урожайность с различной заблаговременностью в период вегетации.

Использование спутниковых данных в действующей модели яровой пшеницы в Краснодарском крае привело к понижению средней относительной ошибки прогнозов на 3,3%. При использовании NDVI в модели роста и формирования урожая ярового ячменя для Краснодарского края результаты также оказались положительными: средняя ошибка прогнозов: без использования NDVI составила 9%, а при использовании спутниковой информации – 6% (табл. 3).

Таблица 3. Относительные ошибки (%) прогнозов урожайности пшеницы и ячменя

Культура	Год	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Среднее
Яровая пшеница	Без NDVI	7,0	8,0	27,0	3,0	3,0	4,0	5,0	19,0	9,0	9,6	10,0	8,4	16,0	9,9
	С NDVI	11,0	3,0	13,0	1,0	5,0	10,0	7,0	2,0	6,0	7,3	6,6	0,8	13,5	6,6
Яровой ячмень	Без NDVI	–	–	–	–	5,1	3,1	2,0	5,7	12,6	19,2	8,0	6,0	19,0	9,0
	С NDVI	–	–	–	–	4,2	3,9	4,0	5,7	15,2	4,7	2,9	2,0	13,5	6,2

На рис. 4 показаны результаты использования NDVI при прогнозировании урожайности кукурузы в Краснодарском крае. Видно, что динамико-статистический метод с использованием спутниковой информации является наиболее точным, кроме того, в экстремальные по урожайности годы результаты расчетов с использованием NDVI показали более высокую оправдываемость. Средняя ошибка прогнозов по динамико-статистическому методу без использования NDVI составила 8%, а при использовании спутниковой информации – 2%.

В табл. 5 приведены абсолютные и относительные ошибки прогноза урожайности кукурузы на зерно с использованием NDVI с различной заблаговременностью в установленные Росгидрометом сроки.

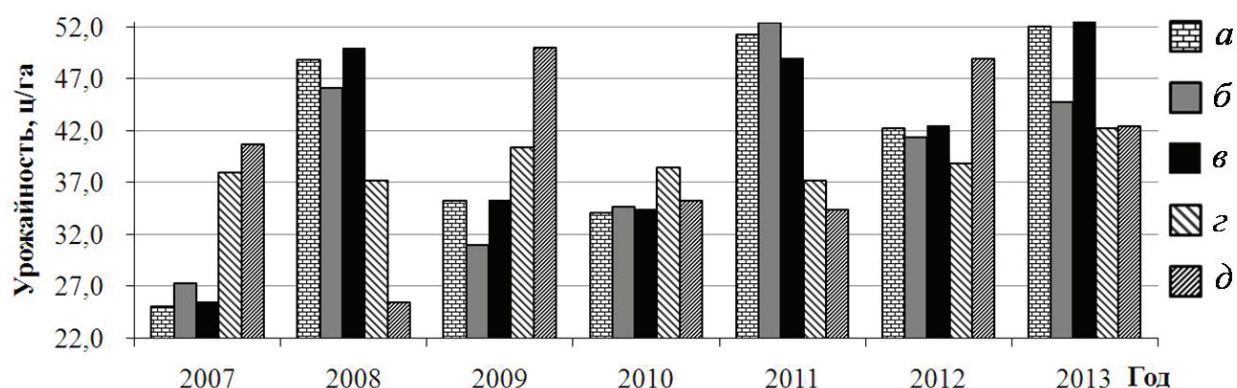


Рис. 4. Урожайность кукурузы на зерно: а, б – рассчитанная по динамико-статистическому методу с использованием и без использования NDVI соответственно; в – фактическое значение; г – среднее фактическое значение за 5 предшествующих лет; д – фактическое значение предыдущего года

Таблица 5. Динамико-статистический метод прогноза урожайности кукурузы на зерно с использованием NDVI (2010 – 2013 гг.)

Заблаговременность, месяцев:		(2; 4]	(1; 2]	(2; 4]	(1; 2]
Федеральный округ	Субъект Российской Федерации	Относительные ошибки, %		Абсолютные ошибки, ц/га	
Южный и Северо-Кавказский	Волгоградская область	29,8	2,7	16,1	1,3
	Ростовская область	31,9	8,1	16,2	5,2
	Краснодарский край	34,2	13,5	12,7	6,8
	Кабардино-Балкарская Республика	26,8	19,9	8,5	8,1
	Ставропольский край	39,4	6,7	12,7	2,1
	Республика Сев. Осетия-Алания	27,7	14,5	7,4	5,2
	Республика Дагестан	18,4	11,4	7,6	3,7
Центральный	Липецкая область	14,0	6,2	7,7	2,0
	Курская область	33,8	14,1	5,3	2,9
	Белгородская область	40,5	2,2	13,8	0,5
	Воронежская область	12,6	2,2	1,5	0,5
Приволжский	Ульяновская область	6,6	1,7	3,6	0,7
	Самарская область	11,0	1,7	8,3	0,9
	Саратовская область	7,1	2,6	4,2	1,3
	Оренбургская область	4,2	2,5	2,9	1,4
	Республика Татарстан	7,4	2,5	1,9	0,8
Средние ошибки прогнозов		21,6	7,0	8,1	2,7

Результаты проверки качества прогнозов показали достаточно высокую оправдываемость с заблаговременностью 1–2 месяца по всей территории, средняя относительная ошибка прогнозов за период с 2010 по 2013 год составила 7%. Для прогнозов, составленных с заблаговременностью более двух месяцев, средняя относительная ошибка составила 21,6%.

В целом, использование спутниковой информации в модели показывает хорошие результаты.

Выводы

Совместное использование спутниковой и наземной информации позволяет решать ряд новых задач:

- отслеживать динамику условий развития и формирования продуктивности ежегодно;
- выявлять районы с оптимальными и неблагоприятными условиями;
- получать карты средних районных значений урожайности.

Использование спутниковой информации в динамических моделях способствует повышению качества оперативных прогнозов урожайности, особенно в экстремальные по урожайности годы и при прогнозировании с заблаговременностью менее двух месяцев.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №14-05-00005.

Литература

1. Клещенко А.Д., Вирченко О.В. Технология оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур и мониторинг засух по спутниковой информации // Труды ВНИИСХМ. 2006. Вып. 35. С. 30–33.
2. Клещенко А.Д., Вирченко О.В., Савицкая О.В. Методы оценки урожайности зерновых культур и ее пространственного распределения на основе агрометеорологических и спутниковых данных // Вопросы радиометеорологии. 2013. С. 305–315.
3. Клещенко А.Д., Вирченко О.В., Савицкая О.В. Спутниковый мониторинг состояния и продуктивности посевов зерновых культур // Труды ВНИИСХМ. 2013. Вып. 38. С. 54–70.
4. Клещенко А.Д., Найдина Т.А. Использование данных дистанционного зондирования для моделирования физиологических процессов растений в динамических моделях прогнозирования урожая // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т. 8. №1. С. 170–178.
5. Клещенко А.Д., Найдина Т.А., Гончарова Т.А. Использование данных дистанционного зондирования для моделирования продукционного процесса кукурузы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. №3. С. 259–268.
6. Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Комплексное использование наземной агрометеорологической информации и спутниковых данных для оценки урожайности зерновых культур // Труды ИПГ. 2011. Вып. 90. С. 204–212.
7. Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Оценка пространственно-временного распределения урожайности зерновых культур и стандартизованного индекса осадков (SPI) по спутниковой и наземной информации // Труды ГГО. 2014. Вып. 571. С. 147–161.
8. Лебедева, В.М., Страшная А.И. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том II. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Книга 2. Оперативное агрометеорологическое прогнозирование. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 216 с.
9. Найдина Т. А. Использование спутниковой информации в динамических моделях прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур. // Всб.: Материалы XIV Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генерал. конструктора ракет-космич. систем академика М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2010. С. 197–198.
10. Найдина Т.А. Использование спутниковой информации в моделях биопродуктивности зерновых культур для расчета интенсивности фотосинтеза // Труды ИПГ. 2011. С. 189–194.
11. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л., Гидрометеоиздат, 1988. 320 с.
12. Русакова Т.И., Лебедева В.М., Грингоф И.Г., Шкляева Н.М. Современная технология поэтапного прогнозирования урожайности и валового сбора зерновых культур // Метеорология и гидрология. 2006. № 7. С. 101–108.

13. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л., Гидрометеиздат, 1981. 167 с.
14. Толпин В.А., Луян Е.А., Барталев С.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М. Возможности анализа состояния сельскохозяйственной растительности с использованием спутникового сервиса «ВЕГА» // Оптика атмосферы и океана, 2014. Т. 27. № 7 (306). С.581–586.

MODIS satellite data usage in operational agrometeorology

A.D. Kleshchenko, V.M. Lebedeva, T.A. Naidina, O.V. Savitskaya

*National Research Institute on Agricultural Meteorology
249038, Obninsk, Russia
E-mails: t-naidina@yandex.ru*

Modis satellite data usage for tasks of operative assessment of grain crop condition and productivity is relevant in view of the possibility to obtain the satellite data on the entire territory of the Russian Federation during the growing season. The satellite data usage technologies for operational agricultural production service, developed at National Research Institute on Agricultural Meteorology, are based on the relationship between the agricultural crop reflective characteristics and crop conditions and productivity.

Satellite information along with meteorological parameters are used in regression models for grain crops yield estimation on some districts of three departments of the Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring: North Caucasus, Privolzhsky and Central Chernozemnyh Areas, in most cases, the relative error does not exceed 15%. The method of the spatial distribution of the expected grain crop yields on the territory of the Russian Federation with the satellite data usage is developed.

In dynamic models of plant production process, for operational grain yield forecasting, the satellite information is used for gas exchange calculation. Crop yield forecasts, with dynamic-statistical method usage, are produced within the established by Roshydromet time limits with the lead time from 1 to 4 months. Yield prediction techniques with NDVI data usage are developed for maize yield forecast for the 16 regions of the Southern, North-Caucasian, Central and Volga federal districts, for spring wheat and spring barley yield forecast – for Krasnodar Territory. The average yield forecasts error was 10–12%.

Keywords: remote-sensed data, NDVI, state estimation, regression equations, dynamic model, crop yield forecast, plant growth process.

References

1. Kleshchenko A.D., Virchenko O.V. Tekhnologiya otsenki sostoyaniya posevov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i monitoring zasukh po sputnikovoi informatsii (Technology of crops estimation and drought monitoring by satellite data), *Trudy VNIISKhM*, 2006, Issue 35, pp. 30–33.
2. Kleshchenko A.D., Virchenko O.V., Savitskaya O.V. Metody otsenki urozhainosti zernovykh kul'tur i ee prostranstvennogo raspredeleniya na osnove agrometeorologicheskikh i sputnikovyykh dannykh (Methods of estimating grain crop yields and its spatial distribution based on agrometeorological and satellite data), *Voprosy radiometeorologii*, 2013, pp. 305–315.
3. Kleshchenko A.D., Virchenko O.V., Savitskaya O.V. Sputnikovyi monitoring sostoyaniya i produktivnosti posevov zernovykh kul'tur (Satellite monitoring of the state and productivity of grain crops), *Trudy VNIISKhM*, 2013, Issue. 38, pp. 54–70.
4. Kleshchenko A.D., Naidina T.A. Ispol'zovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniya dlya modelirovaniya fiziologicheskikh protsessov rastenii v dinamicheskikh modelyakh prognozirovaniya urozhaya (Using the remote sensing data for modeling of plant physiological processes in dynamic models of crop forecasting), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 170–178.
5. Kleshchenko A.D., Naidina T.A., Goncharova T.A. Ispol'zovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniya dlya modelirovaniya produktsionnogo protsessa kukuruzy (Use of remotely-sensed data for modeling crop production of maize), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 3, pp. 259–268.
6. Kleshchenko A.D., Savitskaya O.V. Kompleksnoe ispol'zovanie nazemnoi agrometeorologicheskoi informatsii i sputnikovyykh dannykh dlya otsenki urozhainosti zernovykh kul'tur (Complex use of ground-based agrometeorological information and satellite data for estimation of grain crops yield), *Trudy IPG*, 2011, Issue. 90, pp. 204–212.
7. Kleshchenko A.D., Savitskaya O.V. Otsenka prostranstvenno-vremennogo raspredeleniya urozhainosti zernovykh kul'tur i standartizovannogo indeksa osadkov (SPI) po sputnikovoi i nazemnoi informatsii (Estimation of spatial-temporal distribution of grain crops yield and Standardized Precipitation Index (SPI) on satellite and ground information), *Trudy GGO*, 2014, Issue. 571, pp.147–161.

8. Lebedeva, V.M., Strashnaya A.I. *Osnovy sel'skokhozyaystvennoi meteorologii, T. 2, Kn. 2*, (Fundamentals of Agricultural Meteorology, Vol. 2, Book 2) Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MTsD», 2012, 216 p.
9. Naidina T.A. Ispol'zovanie sputnikovoi informatsii v dinamicheskikh modelyakh prognozirovaniya urozhaya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur (Use of satellite data in dynamic models of crop harvest forecasting), *Materials of International Scientific Conference "Reshetnev Readings"*, Krasnoyarsk, 2010, pp. 197–198.
10. Naidina T.A. Ispol'zovanie sputnikovoi informatsii v modelyakh bioproduktivnosti zernovykh kul'tur dlya rasscheta intensivnosti fotosinteza (Satellite data usage in grain crop bioproductivity models for photosynthesis rate calculation), *Trudy IPG*, 2011, pp. 189–194.
11. Polevoi A.N., *Prikladnoe modelirovanie i prognozirovaniye produktivnosti posevov* (Applied modelling and forecasting of productivity of crops), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988, 320 p.
12. Rusakova T.I., Lebedeva V.M., Gringof I.G., Shklyayeva N.M. Sovremennaya tekhnologiya poetapnogo prognozirovaniya urozhainosti i valovogo sbara zernovykh kul'tur (Modern technology of phased forecasting yield and total yield of grain crops), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2006, No. 7, pp. 101–108.
13. Sirotenko O.D. Matematicheskoe modelirovanie vodno-teplovogo rezhima i produktivnosti agroekosistem (Mathematical modeling of water-thermal mode and agroecosystems productivity), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981, 167 p.
14. Tolpin V.A., Loupian E.A., Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Matveev A.M. *Vozmozhnosti analiza sostojaniya sel'skokhozyajstvennoj rastitelnosti sputnikovogo servisa VEGA* (Possibilities of agricultural vegetation condition analysis with the VEGA satellite service) // *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2014. Vol. 27. No. 7 (306). pp. 581–586.