

Технология ежедекадной оценки урожайности зерновых культур по спутниковой и наземной агрометеорологической информации

А.Д. Клещенко, О.В. Савицкая

*Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии,
249034 Обнинск, проспект Ленина, 82
E-mail: mov1985@mail.ru*

Рассматривается новая технология оценки урожайности зерновых культур, основанная на комплексном использовании наземной агрометеорологической информации и спутниковых данных. Исследования проводились по трем управлениям гидрометеослужбы: Северо Кавказского, Приволжского и Центральным Черноземных Областей. Составлен ежедекадный расчет урожайности зерновых культур в течение вегетационного периода по регрессионным зависимостям и году-аналогу. В среднем ошибка расчета не превышает 10%. Проведена оценка устойчивости работы уравнений.

Ключевые слова: агрометеорологическая информация, NDVI, урожайность зерновых сельскохозяйственных культур, спутниковый мониторинг

Введение

В агрометеорологии и сельском хозяйстве все большее применение получает спутниковая информация. Это связано с тем, что спутниковая информация имеет ряд преимуществ по сравнению с наземной. Прежде всего – это обзорность. Спутниковая информация представляет данные по площади, что особенно важно в отдельные периоды вегетации в связи с большой пространственной изменчивостью и быстрым изменением характеристик состояния посевов (Клещенко, 1986). Второе преимущество – использование цифровых измерений и компьютерных технологий позволяет оперативно проводить обработку любого массива данных по любой территории.

За последние годы накопился достаточный архив спутниковых изображений, позволяющий успешно использовать спутниковую информацию в различных задачах агрометеорологии в том числе и для разработки методов расчета ожидаемой урожайности сельскохозяйственных культур. Более полный учет агрометеорологических условий может быть получен, если наряду со спутниковой информацией будут использованы так же агрометеорологические факторы, оказывающие влияние на формирование и продуктивность (урожайность) сельскохозяйственных культур.

Поэтому в данной работе для решения задачи использовалась как спутниковая информация, так и агрометеорологические данные.

В качестве методов исследования использовались метод корреляционно-регрессионного анализа и метод расчета урожайности по году-аналогу, выбранному по складывающимся метеорологическим условиям и значениям спутниковых данных.

Исследования проводились для территорий трех управлений гидрометеослужбы: Северо Кавказского, Приволжского и Центральным Черноземных Областей. Временной диапазон наблюдений составлял 9 лет, с 2001 по 2009 гг. В результате исследований разработана технология расчета ожидаемой урожайности.

Расчет урожайности по регрессионным зависимостям

На первом этапе для выбора наиболее информативных параметров рассчитывались корреляционные матрицы за период с 2001 по 2008 гг. Для их составления были использованы средние декадные характеристики основных агрометеорологических параметров и спутниковой информации, осредненные по территориям областей. Для увеличения объема выборки отдельные субъекты Российской Федерации объединялись, с учетом агроклиматической зональности для территорий каждого УГМС. В качестве агрометеорологических параметров использовались следующие данные: сумма осадков, среднесуточная температура воздуха, накопленная температура воздуха, определяемая как сумма температур за определенный период, дефицит влажности воздуха. Кроме того, использовались широко применимые в агрометеорологии для оценки увлажнения значения гидротермического коэффициента (ГТК), рассчитываемые по следующей формуле:

$$ГТК = \frac{\sum P}{0.1 \sum T}, \quad (1)$$

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

Спутниковые данные предоставленные Институтом Космических Исследований, представляли собой спектрометрические измерения системы MODIS. По результатам спутникового зондирования рассчитывался вегетационный индекс (NDVI) по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (2)$$

где RED , NIR – отражательная способность подстилающей поверхности соответственно в красном (0,63-0,69 мкм) и ближнем инфракрасном (0,775-0,90 мкм) диапазонах электромагнитного спектра.

Этот показатель достаточно тесно коррелирует с такими характеристиками посевов, как биомасса, площадь листовой поверхности, густота и др (Клещенко, Вирченко, 2007).

Так же для исследования использовались накопленные значения NDVI, рассчитанные как сумма значений NDVI за определенный период.

Для всех указанных субъектов РФ были построены ежедекадные корреляционные матрицы за вегетационный период. В таблице 1 представлена корреляционная матрица для Северо-Кавказского УГМС для первой декады мая.

Таблица 1. Корреляционная матрица для 1 декады мая, для Северо-Кавказского УГМС

	Осадки	Тем-ра	Накопл. Т	Дефицит	Нак. ГТК	NDVI	Нак NDVI	Озим. пшеница
Осадки	1.00							
Тем-ра	-0.30	1.00						
Накопл. Т *	0.30	0.47	1.00					
Дефицит	-0.74	0.47	-0.35	1.00				
Нак. ГТК *	0.78	-0.19	0.36	-0.81	1.00			
NDVI	0.47	-0.23	0.35	-0.54	0.59	1.00		
Нак NDVI*	0.45	-0.27	0.31	-0.56	0.56	0.98	1.00	
Озим. пшеница	0.42	0.03	0.55	-0.47	0.54	0.86	0.85	1.00

* Накопленный параметр – это последовательная сумма декадных значений параметра за определенный период.

Анализ коэффициентов корреляции позволил выделить агрометеорологические и спутниковые данные, наиболее коррелируемые с урожайностью и включить их в прогностические уравнения для определения ожидаемой урожайности. Были построены уравнения статистической зависимости урожайности зерновых культур от выбранных агрометеорологических параметров и спутниковой информации, которые позволяют проводить оценку урожайности подекадно для территории указанных субъектов Российской Федерации. В целом, все уравнения успешно прошли проверку на значимость и устойчивость по критерию Фишера и по критерию Стьюдента.

В таблице 2 представлены уравнения зависимости урожайности озимой пшеницы от NDVI и ГТК для Волгоградской, Ростовской областей и Ставропольского края Северо-Кавказского УГМС за период с 2001 по 2008 гг.

Таблица 2. Уравнения зависимости урожайности озимой пшеницы от NDVI и ГТК для Волгоградской, Ростовской областей и Ставропольского края

Номер декады	Уравнения регрессии	Коэффициент множественной корреляции
3 декада апреля	$Y = 2,32 + 0,53 \cdot \Sigma \text{ГТК} + 59,64 \cdot \text{NDVI}$	0,83
1 декада мая	$Y = -0,2 + 0,35 \cdot \Sigma \text{ГТК} + 58,12 \cdot \text{NDVI}$	0,86
2 декада мая	$Y = -3,29 + 0,59 \cdot \Sigma \text{ГТК} + 56,56 \cdot \text{NDVI}$	0,83
3 декада мая	$Y = -4,92 + 0,96 \cdot \Sigma \text{ГТК} + 54,48 \cdot \text{NDVI}$	0,79
1 декада июня	$Y = -5,76 + 1,08 \cdot \Sigma \text{ГТК} + 52,26 \cdot \text{NDVI}$	0,79
Примечание: Y – урожайность озимой пшеницы, Σ ГТК – значение накопленного ГТК со второй декады апреля, NDVI – значение вегетационного индекса		

Полученные зависимости проверялись на независимом материале по данным 2009 года, которые не вошли объем наблюдений, по которым рассчитывались уравнения. Были рассчитаны значения урожайности за 2009 год для всех УГМС. В качестве примера представлены результаты проверки урожайности озимой пшеницы за 2009 год по среднеобластным значениям NDVI и дефицита влажности воздуха для областей Приволжского УГМС (табл. 3).

Таблица 3. Сравнение фактической и рассчитанной урожайностей озимой пшеницы за 2009 год для Приволжского УГМС

Номер декады	Расчет	Урожайность по областям, ц/га				
		Ульяновская	Пензенская	Самарская	Саратовская	Оренбургская
2 декада мая	Рассчитанная урожайность	20,06	19,36	17,76	18,32	17,09
	Отклонение	1,94	2,64	-0,79	-1,92	1,41
3 декада мая	Рассчитанная урожайность	20,97	19,93	16,84	16,97	15,62
	Отклонение	1,03	2,07	0,16	-0,57	2,88
Фактическая урожайность		22,0	22,0	17,0	16,4	18,5

Из таблицы видно, что рассчитанные значения урожайности близки к фактическим. Отклонение между фактической и расчетной урожайностью озимой пшеницы для боль-

шинства областей колеблется в пределах 10%, что позволяет использовать полученные зависимости на территории Приволжского УГМС для еженедельной оценки условий формирования урожайности озимой пшеницы. В целом, для всех УГМС, наблюдается достаточно хорошее совпадение рассчитанной урожайности и фактической.

Учитывая статистический характер полученных уравнений по мере получения новых данных, эти зависимости представляется целесообразным ежегодно обновлять с привлечением данных расчетного года.

Оценка урожайности по году-аналогу по метеорологическим условиям

Ввиду ограниченности выборки из-за недостаточной продолжительности работы MODIS, не для всех субъектов РФ получены такие зависимости. Для этих случаев был разработан метод, основанный на годе-аналоге по метеорологическим условиям с корректировкой по значениям NDVI, полученным за рассматриваемый период.

Предлагается следующий алгоритм расчета урожайности по году-аналогу, состоящий из трех этапов:

1) на первом этапе на основе анализа складывающихся погодных условий, по значениям гидротермического коэффициента определяется тип метеорологических условий в виде трех градаций:

- неблагоприятные условия;
- средние условия;
- оптимальные условия.

2) на втором этапе определяется значение ожидаемой урожайности в соответствии с выбранным типом метеорологических условий. Предполагается, что при неблагоприятных условиях для расчета ожидаемой урожайности выбирается минимальная урожайность из рассматриваемого временного ряда; при средних условиях урожайности выбирается средняя урожайность из рассматриваемого временного ряда; а при оптимальных условиях выбирается максимальная урожайность из рассматриваемого временного ряда.

3) третий этап включает корректировку значений урожайности на основе спутниковой информации по соотношению текущего значения NDVI с максимальным, минимальным или средним из рассматриваемого ряда.

Данный метод позволяет проводить расчеты ожидаемой урожайности по тем субъектам, где пока не получены соответствующие регрессионные зависимости.

Был произведен расчет урожайности зерновых культур для указанных УГМС за 2009 год. Значения рассчитанной и фактической урожайности оказались достаточно близки, в среднем ошибка расчета не превышает 10%.

Заключение

В результате исследований были получены следующие результаты:

- Разработаны уравнения зависимости урожайности зерновых культур от NDVI и агрометеорологических параметров.
- Проведена оценка устойчивости работы уравнений.

• Разработан метод расчета ожидаемой урожайности зерновых культур по методу года – аналога с учетом складывающихся метеорологических условий и корректировкой значений по NDVI.

Проведенные исследования позволили разработать технологию оперативного расчета ожидаемой урожайности зерновых культур, которая будет использована в во ВНИИСХМ и УГМС Росгидромета при оперативном обеспечении сельского хозяйства.

Литература

1. *Клещенко А.Д., Вирченко О.В.* Современные системы агрометеорологического мониторинга на основе спутниковой информации и возможности использования спутниковой информации для решения практических задач, включая потребности агрострахования: отчет о НИР/ Гос. Учрежд. «Всерос. науч.-исслед. ин-т сельскохозяйственной метеорологии» ; рук. Клещенко А. Д., – Обнинск, 2007. 84 с.
2. *Клещенко А.Д.* Дистанционные методы исследования агрометеорологических объектов// – Л.: Гидрометеиздат, 1986. 251 с.

Technology of decade estimation of grain crops yield on satellite and ground-based agrometeorological information

Kleschenko A.D., Savitskaya O.V.

*All-Russian Research Institute of Agricultural Meteorology,
249034 Obninsk, 82 Lenin's avenue
E-mails: mov1985@mail.ru ;*

The new technology of estimation of the grain crops yield is considered, based on complex use of the land agrometeorological information and satellite data. Investigation were carried out on three departments of a hydrometeorological service: north Caucasus, Privolzhsky and Central Chernozemnyh Areas. The decade calculation of the grain crops yield during the vegetative period on regression equations and year- analog is made. The error of calculation doesn't exceed 10 % on the average. The estimation of stability of the equations is carried out.

Keywords: the agrometeorological information, NDVI, grain crops yield, satellite monitoring.