

Анализ результатов прогнозирования урожайности яровой пшеницы на основе временных рядов статистических данных и интегральных индексов вегетации

Л.Ф. Спивак¹, И.С. Витковская², М.Ж. Батырбаева², А.М. Кауазов²

*¹ Международный университет природы, общества и человека «Дубна»
Дубна, Московская область, 141980, Россия*

E-mail: levspivak@mail.ru

*² Национальный центр космических исследований и технологий
Алматы, 050050, Казахстан*

E-mail: ivs-iki@rambler.ru

Статья посвящена сравнительному анализу результатов прогноза урожайности яровой пшеницы на основе многолетних рядов статистических данных и интегральных индексов вегетации, построенных по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Сравнение проводится на примере Акмолинской области Казахстана. Прогноз урожайности зерновых традиционно представляет большой интерес для Казахстана, поскольку основные посевные площади расположены в зоне рискованного земледелия и часто страдают от засух. В последние годы во многих странах мира для мониторинга и контроля сельскохозяйственного производства активно используются данные ДЗЗ. В Казахстане регулярный космический мониторинг посевов зерновых ведется с 2000 года. Разработаны технологии, позволяющие с высокой точностью определять площади и оперативно оценивать текущее состояние посевов. В тоже время достоверность долгосрочных прогнозов урожайности оставляет желать лучшего. Представлены результаты прогнозов с помощью уравнений трендов и вероятностных моделей. Приведены оценки точности прогнозов. Предложен адаптивный метод предпосевного прогноза урожайности яровой пшеницы. Прогноз рассчитывается с учетом априорной вероятности и закономерностей чередования благоприятных, нормальных и засушливых вегетационных сезонов. В статье рассмотрены локальные факторы, учет которых позволяет повысить точность прогноза. Для Акмолинской области основными факторами, влияющими на урожайность яровой пшеницы, являются: характер текущего цикла солнечной активности, сроки и темпы схода снежного покрова, погодные условия в предшествующие годы.

Ключевые слова: прогноз урожайности, яровая пшеница, дистанционное зондирование Земли, вегетационные индексы, временные ряды.

Введение

Прогнозные оценки урожайности зерновых культур традиционно представляют большой практический интерес как для стран производителей, так и для потенциальных потребителей. Для Казахстана проблема прогноза чрезвычайно актуальна. Казахстан является крупным производителем и экспортером зерна. Посевы зерновых занимают около 15 млн. га. Основные посевные площади находятся на севере республики в зоне неполивного земледелия и часто страдают от засух. Урожайность зерновых в благоприятные и неблагоприятные годы различается в 2–3 раза. В последнее время частота засух возросла. Особенно сильными оказались засухи 2010 и 2012 гг., нанесшие значительный ущерб экономике республики.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) уже более 20 лет успешно используются для мониторинга сельскохозяйственных угодий и прогноза урожайности во многих странах мира (Барталев, Лупян, 2013; Коган и др., 2013; Савин и др., 2010). В Казахстане регулярный космический мониторинг площадей и состояния посевов зерновых ведется с 2000 г. В АО «Национальный центр космических исследований и технологий» НКА РК разработаны технологии, позволяющие с высокой точностью определять площади и опера-

тивно оценивать текущее состояние посевов. В тоже время точность прогноза урожайности пока оставляет желать лучшего, особенно когда речь идет о предпосевных прогнозах для регионов с высоким риском засухи.

Постановка задачи

В общем случае постановка задачи прогноза урожайности должна определять: вид культуры; территорию, на которую делается прогноз; срок представления прогноза.

Наиболее важной сельскохозяйственной культурой для Казахстана является яровая пшеница. В территориальном аспекте для органов управления основной интерес представляют прогнозы в масштабах областей и районов. В зависимости от срока представления прогноза различают долгосрочный (ранний) прогноз, который делается до посева, среднесрочный – за один – два месяца до уборки, и краткосрочный прогноз с временным лагом в одну – две декады. Чем раньше получен прогноз, тем выше его ценность. Ранние прогнозы позволяют заблаговременно оценить риски, связанные с потерями урожая из-за неблагоприятных погодных условий, и принять меры к их снижению. Таким образом, с учетом сельскохозяйственных приоритетов Казахстана, в дальнейшем будем говорить о методах предпосевного прогноза урожайности яровой пшеницы для уровня областей. Сравнительный анализ методов проводится по критерию точности прогноза.

Используемые данные

Для корректного прогноза нужно иметь временной ряд, объективно отражающий историю изменения значений прогнозируемого параметра. В процессе анализа ряда строятся модели, описывающие динамику значений прогнозируемого параметра в предшествующие периоды, которые и используются для прогноза. Важное условие корректности – временной шаг ряда должен соответствовать сроку представления прогноза. В частности, для раннего прогноза урожайности нужен временной ряд с годовым шагом, а для краткосрочного – с декадным.

Для сравнительного анализа используются два набора данных по Акмолинской области: данные официальной статистики и временные ряды вегетационных индексов, построенные по данным ДЗЗ. В *табл. 1* приведены статистические данные о средней урожайности яровой пшеницы (Y ц/га) за период с 2000 по 2013 гг.

Таблица 1. Урожайность яровой пшеницы по Акмолинской области (статданные)

год	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Y ц/га	8,0	11,1	12,2	12,5	7,1	8,5	9,6	11,6	7,5	11,2	5,2	15,6	8,4	12,3

Таблица 2. Вегетационные индексы, которые используются для решения задач космического мониторинга сельскохозяйственного производства в Казахстане

Наименование	Формула	Временной шаг	Комментарий
Нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (NDVI)	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$	сутки	Распознавание вида растительного покрова (РП). Картирование площадей посевов.
$NDVI_j$ (10-дневный композит)	$NDVI_j = \max_{i=1}^{10} (NDVI_{ji})$ j - номер декады в сезоне; i - номер дня в декаде.	декада	- « -
Индекс условий вегетации (VCI)	$VCI_j = 100\% (NDVI_j - NDVI_{j-min}) / (NDVI_{j-max} - NDVI_{j-min})$ $NDVI_{j-max}$ и $NDVI_{j-min}$ – максимальное и минимальное значение NDVI в j -декаду за весь период наблюдений.	декада	Оценка влияния погодных условий на состояние РП в течение вегетационного сезона.
Интегральный вегетационный индекс (IVI)	$IVI_t = \sum_{j=n1}^{n2} NDVI_j$ t – номер сезона; j – номер декады; $n1, n2$ – начальная и конечная декада вегетационного сезона (для яровой пшеницы $n1= 10, n2= 27$).	год	Анализ межсезонных вариаций продуктивности РП.
Интегральный индекс условий вегетации (IVCI)	$IVCI_t = 100\% (IVI_t - IVI_{t-min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$ t – номер сезона; IVI_{max} и IVI_{min} – максимальное и минимальное значение IVI за весь период наблюдений.	год	Анализ межсезонных вариаций влияния погодных условий на продуктивность РП.

В табл. 2 представлена информация об индексах вегетации, которые формируются в процессе космического мониторинга сельскохозяйственного производства в Казахстане.

Основой для оценки сезонной и многолетней динамики продуктивности растительного покрова (РП) служит попиксельная база ежедневных значений NDVI, которая формируется по данным AVHRR NOAA и MODIS Terra на всю территорию Казахстана. На практике решение большинства прикладных задач мониторинга проще осуществлять на основе декадных композитов NDVI, которые вычисляются путем выбора максимального суточного значения за соответствующую декаду. Это позволяет устранить влияние облачности и сократить объем обрабатываемых данных практически без ущерба для точности.

Декадные композиты NDVI используются для расчета декадных значений VCI. Если значения NDVI отражают текущее состояние РП, то VCI является относительной оценкой и позволяет выделить вклад погодных условий. Исследования, проведенные в рамках

гранта USAID, показали, что индексы NDVI и VCI могут быть использованы для мониторинга и количественной оценки продуктивности наземной биомассы пастбищ и посевов практически на всей территории Казахстана (Gitelson, 1998). При этом значения $VCI < 30\%$ указывают на стрессовое состояние растительности, которое, в Казахстане, как правило, связано с засухой (Kogan, 2003).

Декадные композиты NDVI и VCI достаточно хорошо описывают сезонную динамику растительного покрова, но для межсезонного анализа лучше использовать интегральные индексы IVI и IVCI. Они упрощают процедуры анализа и позволяют получить более стабильные оценки. Интегральные индексы вычисляются по окончании текущего вегетационного сезона, при этом каждому году соответствует одно значение индекса. IVI рассчитывается путем по пиксельного суммирования декадных значений NDVI за вегетационный сезон. IVCI отражает воздействие погодных условий вегетационного сезона на продуктивность РП. Значение $IVCI=100\%$ соответствует наилучшему вегетационному сезону за весь период наблюдений, а $IVCI=0\%$ – самому плохому. По аналогии с VCI значения $IVCI < 30\%$ идентифицируют неблагоприятный год. Многолетние ряды IVCI позволяют провести ранжирование вегетационных сезонов и оценить относительный ущерб от засух (Спивак и др., 2012).

Для корректного решения задачи прогноза на основе данных ДЗЗ нужно сформировать временные ряды индексов, соответствующие сроку прогноза и масштабу территории. Таким образом, для раннего прогноза урожайности в целом по области нужно иметь временные ряды IVI и IVCI, элементы которых характеризуют всю область. Соответствующие ряды строятся путем осреднений пиксельных значений индексов по территории области с учетом маски посевных площадей.

Методика и основные результаты исследований

Методика решения задачи прогноза на основе временного ряда предусматривает:

- расчет прогнозного значения урожайности на основе тренда;
- определение диапазона возможных колебаний урожайности с учетом ожидаемых погодных условий.

Если имеется временной ряд годовых урожайностей $Y_0, Y_1, Y_2, \dots, Y_k$, то прогнозное значение $Y_{п, k+1}$ можно рассчитать по формуле: $Y_{п, k+1} = Y_{т, k+1} \pm \Delta Y_{k+1}$, где: $Y_{т, k+1}$ – прогнозируемое значение урожайности, рассчитанное по тренду; ΔY_{k+1} – прогноз вариаций урожайности, связанных с метеоусловиями.

Отметим, что колебания урожайности, связанные с вариациями погодных условий, носят случайный характер, их можно прогнозировать лишь с определенной вероятностью. Для прогноза диапазона колебаний обычно используют среднеквадратичное отклонение от тренда $\Delta Y_{ск} = (\sum (Y_i - Y_{т, i})^2 / k)^{1/2}$, где: Y_i – фактическая урожайность в i год; $Y_{т, i}$ – урожайность, рассчитанная по тренду в i год.

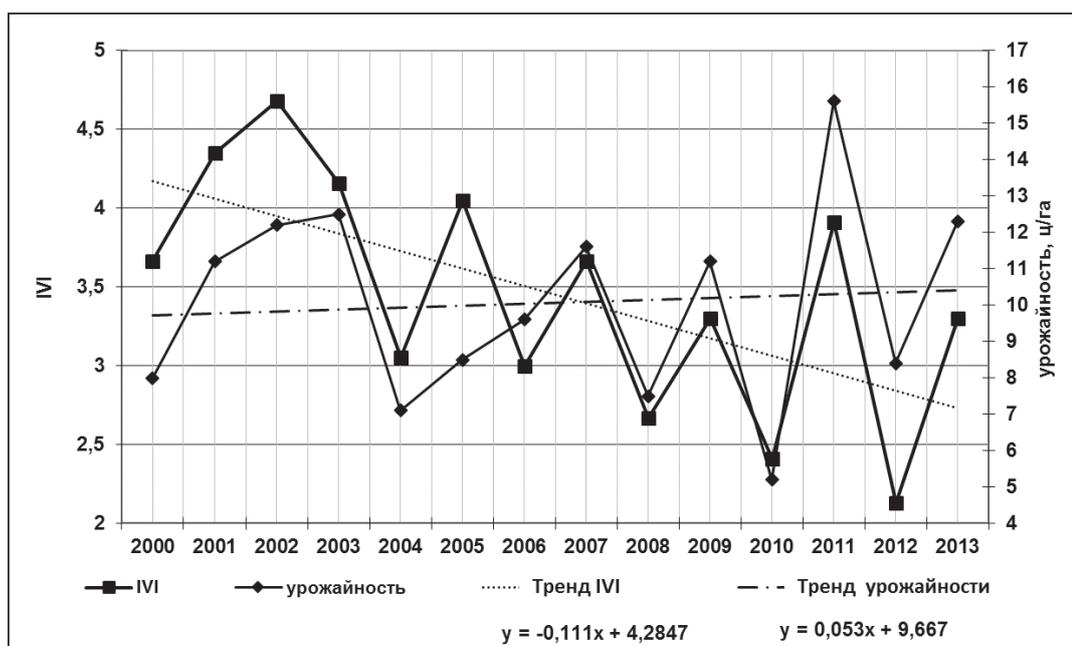


Рис. 1. Многолетняя динамика урожайности яровой пшеницы и индекса IVI для Акмолинской области

На рис. 1 представлены графики индекса IVI для Акмолинской области и урожайности яровой пшеницы за период с 2000 по 2013 годы. Разумеется, прямое сравнение рядов не совсем корректно, так как IVI является косвенной оценкой наземной биомассы, а статистические данные фиксируют вес собранного зерна. Тем не менее, сходство графиков очевидно (коэффициент корреляции 0,84). Почти все локальные экстремумы совпадают, выпадает только 2006 г. В тоже время динамика рядов различается. Ряд статистических данных имеет хоть и не большой, но положительный тренд, а тренд IVI имеет отрицательный прирост, что свидетельствует о тенденции снижения продуктивности надземной биомассы.

Тестовые расчеты на основе трендовой модели по статистическим данным проводились для рядов различной длины, соответствующих пяти временным периодам: 2000–2009, 2000–2010, 2000–2011, 2000–2012, 2000–2013 гг. Рассчитанные прогнозы (Y_p) сравнивались с фактическими значениями (Y_f). Результаты сравнения представлены в табл. 3. Относительная погрешность ($\delta\%$) вычислялась нормировкой абсолютной величины ошибки $|Y_f - Y_p|$ на диапазон колебаний урожайности ($Y_{max} - Y_{min}$).

Как и следовало ожидать, ошибка прогноза на засушливый 2010 г. и рекордный по урожайности 2011 г. очень большая. Ошибки для остальных периодов тоже велики, хотя и находятся в пределах среднеквадратичного отклонения ($\Delta Y_{ск}$). В целом, чем сильнее фактическая урожайность отличается от среднемноголетней, тем больше ошибка.

В случае квазистационарного ряда вариации урожайности полностью зависят от метеоусловий вегетационного сезона, и прогноз урожайности фактически сводится к прогнозу метеоусловий. При этом на практике достаточно правильно предсказать, будут ли они благоприятными, «нормальными» или неблагоприятными. При известной априорной вероятности различных погодных условий прогнозируемая урожайность рассчитывается

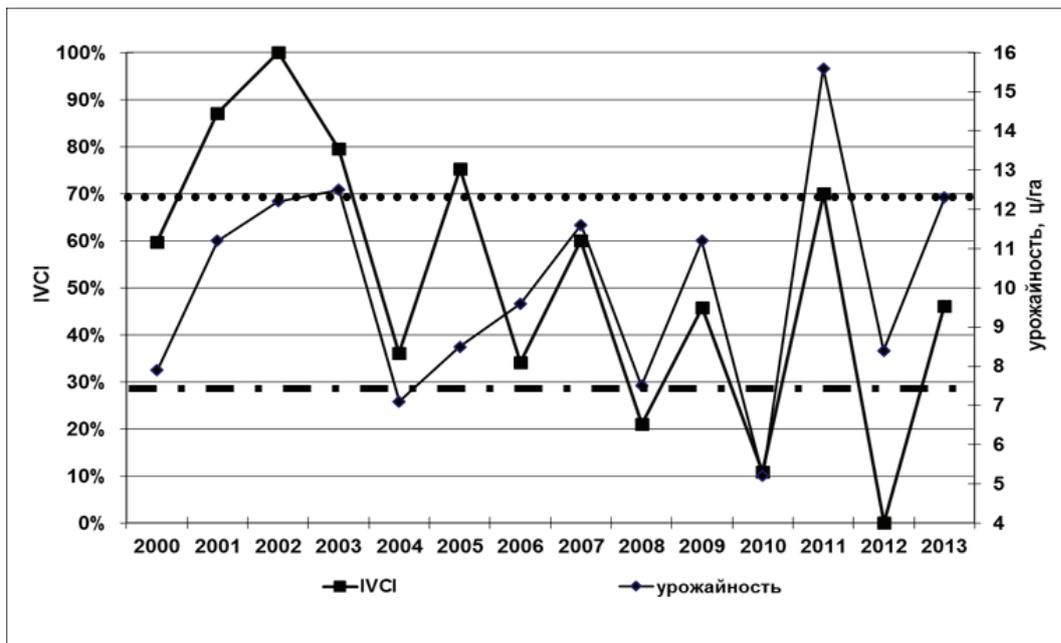


Рис. 2. Детектирование благоприятных и засушливых лет по статистическим данным и индексу IVCI для Акмолинской области

по формуле $Y_p = r_1 Y_1 + r_2 Y_2 + r_3 Y_3$, при этом $r_1 + r_2 + r_3 = 1$. Здесь: r_1 – априорная вероятность благоприятных погодных условий; Y_1 – средняя урожайность при благоприятных погодных условиях; r_2 – априорная вероятность «нормальных» погодных условий; Y_2 – средняя урожайность при «нормальных» погодных условиях; r_3 – априорная вероятность неблагоприятных погодных условий (засухи); Y_3 – средняя урожайность при неблагоприятных погодных условиях.

Для расчета вероятности (частоты) благоприятных, нормальных и засушливых лет воспользуемся рис. 2. Проведем расчеты отдельно по статистическим данным и по значениям IVCI. Точки, расположенные выше пунктирной линии на рис. 2, соответствуют благоприятным годам ($IVCI > 70\%$, урожайность выше 12,5 ц/га), точки ниже штрихпунктирной линии соответствуют засушливым сезонам ($IVCI < 30\%$, урожайность ниже 7,6 ц/га).

По статистическим данным за рассматриваемый период было три засушливых года (2004, 2008 и 2010) и два благоприятных (2003 и 2011), остальные 9 – «нормальные».

Таблица 3. Результаты прогнозирования по трендовой модели

Период	Тренд $y=at+b$	$\Delta Y_{ск}$	Y_n	$Y_{ф}$	$ Y_{ф} - Y_n $	$\delta \%$
2000–2009	$-0,04x + 10,2$	1,8	9,8	5,2	4,6	44
2000–2010	$-0,25t + 11,0$	2,1	8,3	15,6	7,3	70
2000–2011	$0,04t + 9,7$	2,7	10,2	8,4	1,8	17
2000–2012	$-0,02 t + 10,0$	2,8	9,7	12,3	2,6	25
2000–2013	$0,05t + 9,7$	2,6	10,4	12,0	1,6	15

Таким образом, вероятность засухи равна 0,21; вероятность «нормальных» сезонов – 0,65; а вероятность благоприятных погодных условий – 0,14.

По данным ДЗЗ картина несколько отличается. Засушливых сезонов так же 3 (2008, 2010 и 2012), зато благоприятных – 5 (2001, 2002, 2003, 2005 и 2011), а «нормальных» – 6 (2000, 2004, 2006, 2007, 2009, 2013). Таким образом, вероятность засухи равна 0,21; вероятность «нормальных» сезонов – 0,43; а вероятность благоприятных погодных условий – 0,36, что значительно выше, чем по статистике.

В табл. 4 приведены прогнозные значения урожайности для Акмолинской области на 2013 и 2014 гг., рассчитанные с учетом априорных вероятностей погодных условий, определенных по статистическим сведениям и данным ДЗЗ. При расчете использовались средние значения урожайности для благоприятных, «нормальных» и засушливых сезонов, которые вычислялись по статистическим данным и значениям IVI за соответствующий период. Отметим, что прогнозные значения незначительно отличаются от прогноза по тренду, при этом точность прогноза по данным ДЗЗ оказалась чуть выше, чем по статистическим данным.

Увеличение длины рядов далеко не всегда способствует повышению точности прогноза. В периоды активных изменений тенденции последних лет могут существенно отличаться от среднемноголетних. В таких ситуациях для прогноза целесообразно применять *адаптивные модели* в виде линейной комбинации нескольких последних значений ряда, подбирая весовые коэффициенты с таким расчетом, чтобы минимизировать ошибку прогноза. Для коррекции весовых коэффициентов можно использовать прием, аналогичный алгоритму обратного распространения ошибок, который применяется при обучении нейронных сетей. Адаптация модели должна осуществляться итеративно по мере получения фактических значений новых элементов ряда.

Таблица 4. Результаты прогноза на основе вероятностной модели

Период	Вид данных	r1	Y1	r2	Y2	r3	Y3	Yn	Yф	Yф-Yn	δ %
2000 – 2012	Стат.	0,15	14,0	0,62	10,0	0,23	6,6	9,8	12,5	2,7	26
	ДЗЗ	0,38	13,7	0,39	9,7	0,23	5,8	10,3	12,5	2,2	21
2000 – 2013	Стат.	0,14	14,0	0,65	10,3	0,21	6,6	9,9	12,0	2,1	20
	ДЗЗ	0,36	13,7	0,43	9,8	0,21	5,8	10,4	12,0	1,6	15

В табл. 5 представлены результаты прогнозов, рассчитанные по четырем предшествующим годам по формуле $Y_{t+i} = 0,1Y_t + 0,5Y_{t-1} + 0,1Y_{t-2} + 0,3Y_{t-3}$. Легко видеть, что адаптивная модель позволяют улучшить прогноз, но ошибки для аномальных сезонов все еще велики. В то же время с учетом роста волатильности погодных условий, на что недвусмысленно указывают данные ДЗЗ, следует ожидать увеличение частоты таких сезонов и, в первую очередь, засух (Spivak et al., 2012).

Один из путей повышения точности прогнозов аномальных сезонов заключается в уточнении априорной вероятности ожидаемых погодных условий за счет учета локальных

Таблица 5. Результаты прогнозирования по адаптивной модели

Период	Y_i	Y_{i-1}	Y_{i-2}	Y_{i-3}	Y_n	$Y\phi$	$ Y\phi - Y_n $	$\delta \%$
2006–2009	11,2	7,5	11,6	9,6	8,9	5,1	3,8	36
2007–2010	5,2	11,2	7,5	11,6	10,4	15,7	5,3	51
2008–2011	15,6	5,2	11,2	7,5	7,5	8,4	0,9	8
2009–2012	8,5	15,6	5,2	11,2	12,0	12,5	0,5	5
2010–2013	12,5	8,5	15,6	5,2	8,6	12,0	3,4	32

факторов и пространственно-временных закономерностей чередования благоприятных и засушливых лет. Результаты космического мониторинга засух в Казахстане свидетельствуют, что частота засух существенно варьируется не только от области к области, но и для районов одной области. Более того, в различные временные периоды вероятность засух в одном и том же месте может заметно отличается. Так, по данным ДЗЗ в Акмолинской области в период с 2000 по 2005 гг. засух не было, зато в период с 2006 по 2012 гг. их было 3, причем две (2010 и 2012 гг.) очень сильные. Ясно, что методика прогноза должна учитывать эти обстоятельства. Проблема в том, что для раннего прогноза нужны факторы, которые можно оценить до начала посевных работ. Для Акмолинской области такими факторами являются следующие.

– Характер текущего цикла солнечной активности. В период низкой солнечной активности (число Вольфа < 60) вероятность засух в несколько раз выше, чем для периодов высокой солнечной активности.

– Сроки и темпы схода снежного покрова. Ранний и быстрый сход снега увеличивает вероятность засухи. Поздний сход снега позволяет сохранить достаточный объем влаги до посева, что повышает вероятность получения хорошего урожая.

– Погодные условия в предшествующие годы. Вероятность повторной засухи (засухи после засухи) существенно ниже, чем после нормальных и благоприятных лет.

Конкретная комбинация указанных факторов определяет типовую ситуацию, которая может сложиться в начале вегетационного сезона. Если для каждой типовой ситуации рассчитать априорные вероятности метеоусловий предстоящего сезона, то можно получить более точный прогноз, чем по полному ряду. По завершению сезона вероятности пересчитываются с учетом реальных погодных условий.

Выводы и рекомендации

1. Для корректного решения задачи прогноза на основе данных ДЗЗ нужно сформировать временные ряды индексов, соответствующие сроку прогноза и масштабу территории. В частности, для раннего прогноза нужны временные ряды с годовым шагом.

2. Прогнозировать следует не конкретное число, а диапазон значений с учетом возможных колебаний урожайности при благоприятных и неблагоприятных погодных условиях.

3. Трендовые и вероятностные модели позволяют получить приемлемый прогноз, когда вариации погодных условий незначительно отличаются от средних многолетних значений, но малопригодны для предсказания аномальных сезонов. Чтобы повысить точность прогноза в условиях значительных колебаний урожайности следует использовать локальные особенности и закономерности, учитывающие чередование благоприятных и засушливых лет.

4. Методика прогноза должна быть адаптивной, т.е. учитывать изменения как глобальных (климатических), так и локальных факторов, влияющих на урожайность зерновых.

5. Для повышения точности прогноза следует предварительно провести районирование территории и выделить однородные как по природным, так и погодным условиям участки.

Литература

1. *Барталев С.А., Лупян Е.А.* Исследования и разработки ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 1. С. 197–214.
2. *Коган Ф., Кусскуль Н.Н., Адаменко Т.И., Скакун С.В., Кравченко А.Н., Кривобок А.А., Шелестов А.Ю., Колотий А.В., Кусскуль О.М., Лавренюк А.Н.* Сравнительный анализ результатов регрессионных и биофизических моделей в задаче прогнозирования урожайности озимой пшеницы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 1. С. 215–227.
3. *Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толтин В.А., Хвостиков С.А.* Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 275–285.
4. *Спивак Л.Ф., Витковская И.С., Батырбаева М.Ж., Муратова Н.Р., Кауазов А.М.* Космический мониторинг засух в Казахстане: анализ многолетних данных дистанционного зондирования // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. 2012. № 12. С. 15–23.
5. *Gitelson A., Kogan F., Zakarin E., Spivak L., Lebed L.* Using AVHRR Data for Quantitative Estimation of Vegetation Conditions: Calibration and Validation // Advances in Space Research. 1998. Vol. 22 (5). pp. 673–676.
6. *Kogan F., Gitelson A., Zakarin E., Spivak L., Lebed L.* AVHRR-based spectral vegetation index for quantitative assessment of vegetation state and productivity: Calibration and validation // Photogrammetric engineering and remote sensing. 2003. Vol. 69(8). pp. 899–906.
7. *Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbayeva M., Terekhov A.* The experience of land cover change detection by satellite data // Frontiers of Earth Science. 2012, 6(2). pp. 140–146.

Analysis of spring wheat yield forecasts based on time series of statistical data and integrated vegetation indices

L.F. Spivak¹, I.S. Vitkovskaya², M.Zh. Batyrbayeva², A.M. Kauazov²

¹ *Dubna International University, Moscow Region, Dubna 141980, Russia*

E-mail: levspivak@mail.ru

² *National Center of Space Research and Technologies, Almaty 050050, Kazakhstan*

E-mail: ivs-iki@rambler.ru

The article is devoted to comparative analysis of the results of spring wheat yield forecast based on multi-year statistical data series and integrated vegetation indices derived from remote sensing data. A comparison is performed by an example of the Akmola Region of Kazakhstan. Forecast of grain yield is a priority for Kazakhstan, because its main cultivated areas are situated in the zone of risky agriculture, and often suffer from drought. In recent years, remote sensing data have become widely used for monitoring and control of agricultural production in many countries. Space monitoring of crops in Kazakhstan has been conducted since 2000. A technology for accurate determining the area and estimating current status of crops was developed. At the same time the accuracy of long-term forecasts of crops productivity is still poor. The results of forecasts using trend equations and probability models are presented. The accuracy of the forecasts is estimated. An adaptive method of pre-sowing forecast of spring wheat yield is proposed. The forecast is calculated in view of the priori probability and patterns of alternation of favorable, normal and dry vegetation seasons. The article describes the local factors which can improve the accuracy of the forecast. For the Akmola Region the main factors affecting the yield of spring wheat are: type of the current cycle of solar activity, the time and rate of snow cover melting, weather conditions in prior years.

Keywords: yield forecast, spring wheat, remote sensing, vegetation indices, time series.

References

1. Bartalev S.A., Loupian E.A., Issledovaniya i razrabotki IKI RAN po razvitiyu metodov sputnikovogo monitoringa rastitel'nogo pokrova (R&D on methods for satellite monitoring of vegetation by the Russian Academy of Sciences' Space Research Institute), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol.10, No. 1, pp.197–214.
2. Kogan F., Kussul' N.N., Adamenko T.I., Skakun S.V., Kravchenko A.N., Krivobok A.A., Shelestov A.Yu., Kolotii A.V., Kussul' O.M., Lavrenyuk A.N., Sravnitel'nyi analiz rezul'tatov regressionnykh i biofizicheskikh modelei v zadache prognozirovaniya urozhainosti ozimoi pshenitsy (Comparative analysis of regression and biophysical models for the problem of forecasting the yield of winter wheat), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol.10, No. 1, pp. 215–227.
3. Savin I.Yu., Bartalev S.A., Loupian E.A., Tolpin V.A., Khvostikov S.A., Prognozirovanie urozhainosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur na osnove sputnikovyykh dannykh: vozmozhnosti i perspektivy (Crop yield forecasting based on satellite data: opportunities and Perspectives), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol.7, No.3, pp.275–285.
4. Spivak L.F., Vitkovskaya I.S., Batyrbayeva M.Zh., Muratova N.R., Kauazov A.M., Kosmicheskii monitoring zasukh v Kazakhstane: analiz mnogoletnikh dannykh distantsionnogo zondirovaniya (Space Monitoring of Droughts in Kazakhstan: Multi-Year Remote Sensing Data Analysis), *Zemlya iz kosmosa: naibolee effektivnye resheniya*, 2012, No. 12, pp.15–23.
5. Gitelson A., Kogan F., Zakarin E., Spivak L., Lebed L., Using AVHRR Data for Quantitative Estimation of Vegetation Conditions: Calibration and Validation, *Advances in Space Research*, 1998, Vol. 22 (5), pp. 673–676.
6. Kogan F., Gitelson A., Zakarin E., Spivak L., Lebed L., AVHRR-based spectral vegetation index for quantitative assessment of vegetation state and productivity: Calibration and validation, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 2003, Vol. 69(8), pp. 899–906.
7. Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbayeva M., Terekhov A., The experience of land cover change detection by satellite data, *Frontiers of Earth Science*, 2012, Vol. 6(2), pp.140–146.