

Методика оценки агротехнического уровня возделывания зерновых культур Северного Казахстана и его изменений в период 2000-2009 по данным MODIS

А.Г. Терехов

*Казахский научно-исследовательский институт экологии и климата, МООС, Казахстан
Казахстан, 050000 Алматы, ул. Сейфулина 597
E-mails: aterekhov1@yandex.ru*

Сезонные максимумы вегетационного индекса NDVI (продукт MOD13Q1, разрешение 250 м) периода 2000-2009 для яровых зерновых культур Северного Казахстана использовались для оценки агротехнического уровня возделывания культуры и его изменений в Акмолинской и Костанайской областях. Эмпирические зависимости между величинами NDVI и официальной урожайностью вида: $PROD = K * NDVI$; для районов Акмолинской и Костанайской области были видоизменены путем замены коэффициента (K) на линейную временную функцию: $K=(1+K_1 * T) * K_0$. При этом предполагалось, что (K_0) – отвечал за базовое отношение между величинами вегетационного индекса и урожайностью зерновых культур, коэффициент (K_1), описывал влияние годового изменения агротехнического уровня возделывания зерновой культуры, начиная с опорного года; (T) – положительное число лет, разделяющее опорный и анализируемый год. Для районов Акмолинской и Костанайской области Северного Казахстана были получены количественные оценки агротехнического уровня возделывания зерновых культур, (K_0) – базовый уровень (вариации от 9 до 21), (K_1) – скорость изменений за год (вариации от 0,005 до 0,19).

Ключевые слова: спутниковый вегетационный индекс, урожайность зерновых культур, эмпирические зависимости, линейная аппроксимация, агротехнический уровень возделывания культуры.

Введение

Яровые зерновые культуры Северного Казахстана (пшеница и ячмень), являются главной экспортной культурой и основой растениеводства Республики. Государство вкладывает значительные финансовые ресурсы в развитие зернового производства. В связи с этим, объективные спутниковые оценки агротехнического уровня возделывания культуры и его изменения представляют значительный интерес для мониторинга экономического развития сельских территорий, оценки эффективности различных государственных программ и прогнозе урожайности с использованием исторических данных.

Спутниковые данные

Спутниковые данные широко используются для описания различных аспектов зерновых культур Северного Казахстана (Султангазин и др., 2004, Султангазин и др., 2004, Терехов и др., 2007, Терехов и др., 2007, Терехов, Кауазов, 2007, Терехов, 2008, Терехов, 2009). В данной работе использовался продукт MOD13Q1 (коллекция 5) [<http://glovis.usgs.gov>], представляющий собой 16-дневный композит вегетационного индекса NDVI с разрешением 250 м, Данные за 193-208 день года (12-27 июля) периода 2000-2009 гг. в виде величины вегетационного индекса NDVI использовались для оценки сезонных максимумов зеленой биомассы посевов зерновых.

Посевы зерновых культур

Яровые зерновые культуры (пшеница и ячмень) составляют основу растениеводства Северного Казахстана. Доля этих культур составляет свыше 90%, что делает их фактической монокультурой региона. Система землепользования, основанная на крупных полях (400 га), расположенных в виде компактных групп позволяет использовать спутниковые данные среднего пространственного разрешения в качестве инструмента для ежедневного мониторинга средних спектральных характеристик культуры (Терехов, Кауазов, 2007). Единственной помехой выступает облачный покров. Частота покрытия облаками в континентальном климате Северного Казахстана претерпевает значительные вариации год от года, однако 10-15-дневный период накопления позволяет формировать безоблачные покрытия в течение как сухого, так и влажного вегетационного сезона.

В качестве объектов исследования были выбраны две крупнейшие зерносеющие области Северного Казахстана – Костанайская и Акмолинская, с посевной площадью около 4,5 млн. гектар каждая. Области расположены в степном ландшафте и имеют сходные условия для растениеводства. Масштаб рассмотрения – отдельные районы, с характерным размером посевных площадей около 200-400 тыс. гектар.

Сев яровых зерновых культур в Северном Казахстане начинается от середины мая и заканчивается в начале июня. Созревание и уборка приходятся на август – сентябрь. Оптимальное время спутниковой съемки (фаза цветения – пик зеленой биомассы) в задаче оценки продуктивности культуры – вторая половина июля (Бараев, 1975).

Маски посевных площадей

Анализ спутниковых данных требует создания и использования масок сельскохозяйственных земель. Проблемами сопоставимости результатов мониторинга отдельных лет являются временные изменения маски посевных земель. Например, в Костанайской области в период 2000-2009 гг. произошло увеличение площади ярового сева, с 2.7 до 4.4 млн. га.

Решением проблемы может быть создание точных масок посевов для каждого года, либо использование неизменной – диагностической маски. В данной работе для каждого района была создана диагностическая маска, охватывающая наиболее типичные пахотные земли. Для учета влияния паровых полей и не зерновых культур вместо средних характеристик использовался характерный момент гистограммы – ее максимум. В этом случае, спектральной характеристикой посевных площадей становилось наиболее широко распространенное состояние культуры, на полях, расположенных в типичных условиях.

Методика обработки данных

По спутниковым данным культура растениеводства может характеризоваться отношением величины урожайности зерновых к значениям вегетационного индекса NDVI, регистрируемого в фазу цветения (вторая половина июля). Засоренность посевов, использование некачественного посевного материала (мелкий колос), некоторые болезни и прочие факторы, могут формировать низкие урожайности даже при высоком объеме зеленой биомассы. Наоборот, в условиях недостатка увлажнения угнетенное состояние культуры может

соответствовать достаточно высокой урожайности (на единицу величины NDVI), что характерно для высокой культуры земледелия.

Высокая лабильность степени увлажнения вегетационного сезона формирует значительные вариации урожайности зерновых Северного Казахстана. На районном уровне вариации достигают 5 раз, например от 2,7 до 15,5 ц/га для Камыстинского района Костанайской области, поэтому анализ влияния уровня агротехники и его изменений на урожайность требует специальной методики.

В основе спутниковой методики оценки уровня агротехники возделывания культуры лежали эмпирические зависимости между урожайностью зерновых и величиной NDVI в период цветения культуры, представленные в форме линейной аппроксимации с нулевым свободным членом: $[УРОЖ = K * NDVI]$. Сколько-нибудь значимая урожайность зерновых при $NDVI = 0$ не имеет физического смысла, а незначительными величинами свободного члена можно пренебречь для упрощения сопоставительного анализа. Коэффициент (K) в эмпирической зависимости между NDVI и урожайностью, был трансформирован до линейной временной функции: $K = (1 + K_1 * T) * K_0$. При этом, предполагалось, что коэффициент (K_0) отвечал за базовое отношение между величинами вегетационного индекса и урожайностью зерновых культур – учет климата, спектральных характеристик почв, стартовый уровень агротехники. Константа (K_1), описывала влияние годовых изменений агротехнического уровня возделывания зерновой культуры на ее урожайность, начиная с опорного года; (T) – положительное число лет, разделяющее анализируемый год и опорный год.

Величина (K_1) отдельно для каждого района рассчитывалась путем последовательных приближений по критерию максимализации величины R^2 в линейной аппроксимации: $PROD = (1 + K_1 * T) * K_0 * NDVI$. Величины (K_0 и K_1), при которых наблюдался максимум (R^2) принимались за численные характеристики агротехнического уровня анализируемого района.

Временные рамки анализа 2000-2009 гг. определялись наличием однородных спутниковых данных EOS MODIS (продукт MOD13Q1 (коллекция 5)). Опорный год, как начало линейно аппроксимируемых изменений агротехнического уровня возделывания зерновых культур, определялся социально-экономическими условиями Казахстана. Экономическая деградация уровня растениеводства в Северном Казахстане, вызванная распадом СССР, имела свое «дно» примерно в 1998-2001 годах. Существенная государственная экономическая поддержка сельскохозяйственного производителя была начата в 2002-2003 годах. Были проверены различные варианты опорного года, наилучшие результаты наблюдались при использовании в качестве стартового 2003 года.

Обсуждение полученных результатов

Эмпирические зависимости между исторической урожайностью зерновых и сезонными максимумами NDVI посевов базируются на наличии тесной связи между проективным листовым покрытием культуры и ее урожайностью. Однако, влияние погодных факторов на критические фазы развития растений по-разному формируют параметры этой связи (Терехов, 2008, Терехов, 2010). Кроме этого, в условиях восстановления сельскохозяйственного производства после кризиса, вызванного распадом СССР, нельзя игнорировать изменение агротехнической практики в течение 2000-2009 гг. На районном уровне мы можем иметь очень низкие (даже отрицательные) величины коэффициентов корреляции (R^2) для зависимости

(NDVI-урожайность), что говорит о влиянии неучтенных значимых факторов. Более точный их учет должен приводить к росту (R^2), поскольку положительная связь между урожайностью и проективным листовым покрытием носит фундаментальный характер. Используя величину (R^2) в качестве ключевого параметра, а ее максимум, как критерий были определены величины коэффициентов в двух моделях линейной аппроксимации, см. таблицу 1.

Таблица 1. Величины параметров линейных регрессий между урожайностью зерновых и величиной сезонного максимума NDVI по двум моделям: без учета и с учетом временных изменений

Название района	Посевная площадь 2009 года (тыс. га)	Модель 1: Prod = K*NDVI		Модель 2: Prod = (1+ K ₁ * T) K ₀ *NDVI		
		K	R ²	K ₀	K ₁	R ²
Костанайская обл. (в целом)	4461,1	20,780	0,4048	18,226	0,078	0,6999
Алтынсаринский	205,0	20,763	0,1892	18,100	0,0825	0,6700
Амангельдинский	70,0	19,302	-1,2700	15,940	0,1885	0,0383
Аулиекольский	215,3	19,408	0,2494	16,715	0,0890	0,7862
Джангельдинский	10,7	-	-	-	-	-
Денисовский	266,7	20,376	0,6816	18,382	0,0055	0,6827
Житикаринский	237,0	17,928	-0,597	15,417	0,1100	-0,000
Камыстинский	321,6	21,598	-0,076	20,166	0,0510	0,2564
Карабалыкский	250,4	20,832	0,5536	18,918	0,0431	0,6870
Карасуский	665,7	19,618	0,1261	17,310	0,0730	0,5840
Костанайский	301,6	21,819	0,3582	19,488	0,0725	0,7315
Мендыкаринский	261,3	19,344	0,1068	16,396	0,1065	0,8226
Наурузумский	247,4	22,134	-0,006	21,176	0,0335	0,1615
Сарыкольский	339,7	19,455	0,2277	16,293	0,1085	0,8503
Тарановский	154,9	19,541	0,2893	17,606	0,0705	0,7658
Узункольский	287,9	19,977	-0,2449	16,236	0,1245	0,6109
Федоровский	368,7	21,900	0,3848	19,717	0,0625	0,7883
г.Аркалык	256,0		-0,2302	21,338	0,0335	0,1073
Акмолинская обл. (в целом)	4537	15,951	0,3779	14,111	0,069	0,5493
Зерендинский	223,9	17,590	0,0968	15,309	0,073	0,5401
Щучинский	167,1	17,091	0,5481	16,389	0,022	0,5911
Енбекшильдерский	176,7	18,323	0,5241	17,441	0,024	0,5489
Сандыктауский	317,0	17,042	0,1826	15,429	0,054	0,6791
Буландинский	229,2	13,293	0,0127	10,440	0,148	0,8380
Аккольский	146,0	14,454	0,4113	12,944	0,067	0,6059
Еремантауский	94,1	13,944	0,6915	13,809	0,005	0,6915
Есильский	481,8	15,956	0,3700	14,663	0,046	0,4993
Жаксинский	404,6	16,975	0,1221	14,097	0,104	0,5752
Атбасарский	423,3	15,037	0,0350	14,015	0,084	0,6023
Аршалинский	180,9	13,487	-0,0434	12,596	0,108	0,7128
Шортандинский	226,9	17,668	0,4460	16,896	0,027	0,5540
Астраханский	346,6	16,196	-0,7096	14,940	0,056	-0,281
Жаркаинский	486,0	15,688	-0,9762	13,826	0,075	-0,457
Егиндыкольский	297,0	14,68	-0,9078	13,521	0,059	-0,649
Целиноградский	250,5	16,998	0,1071	16,203	0,032	0,2530
Коргальджинский	85,0	11,019	-1,2766	9,4735	0,125	-0,550

Учет влияния изменений агротехники возделывания культуры на взаимосвязь NDVI – урожайность, даже в виде простого линейного закона, привел к существенному увеличению коэффициентов корреляции (R^2). В целом, на масштабе области: от 0,40 до 0,70 (Костанайская); и от 0,38 до 0,55 (Акмолинская). В отдельных районах увеличение было еще более

значимым, например: от 0,11 до 0,82 (Мендыкаринский р-н, Костанайская область); от 0,01 до 0,84 (Буландинский р-н, Акмолинская область), таблица 1.

Коэффициенты (K_0 и K_1) в уравнении линейной аппроксимации в модели с временной функцией в качестве коэффициента линейного уравнения имели смысл количественных оценок агротехнического уровня возделывания зерновых культур. K_0 – отражал текущий уровень агротехники, а K_1 – годовую скорость его изменения. Положительная величина K_1 – указывала на улучшение агротехники, отрицательная на ее ухудшение. Во всех районах Северного Казахстана наблюдалось улучшение агротехники возделывания зерновых. Сравнение Костанайской и Акмолинской областей показало, что Костанайская область имеет более высокий уровень агротехники ($K_0 = 18,2$ против 14,1), и более высокие темпы его улучшения ($K_1 = 0,078$ против 0,069).

Таким образом, анализ данных спутникового мониторинга с помощью продукта MOD13Q1 позволяет оценивать уровень агротехники возделывания зерновых культур и его изменения в период с 2000 года. Изменение агротехники возделывания зерновых культур в Северном Казахстане в период 2000–2009 гг. являлось значимым фактором, влияющим на зависимость между сезонным максимумом NDVI и урожайностью зерновых культур. Учет этого влияния позволил существенно повысить коэффициенты корреляции эмпирических зависимостей (NDVI – урожайность) и оценить текущий агротехнический уровень растениеводства в двух областях Северного Казахстана.

Литература

1. Султангазин У.М., Муратова Н.Р., Терехов А.Г. Использование космического мониторинга в планировании и прогнозировании параметров зернового производства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2004. Выпуск 1. С. 291-297.
2. Султангазин У.М., Муратова Н.Р., Дорайсвами Р., Терехов А.Г. Оценка санитарного состояния сельскохозяйственных угодий с помощью данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2004. Выпуск 1. С. 286-290.
3. Султангазин У.М., Муратова Н.Р., Терехов А.Г. Контроль севооборота пахотных земель Северного Казахстана по данным TERRA/MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2005. Выпуск 2. Том 2. С. 302-307.
4. Терехов А.Г., Кауазов А.М. Методика оценки содержания гумуса в пахотных землях Северного Казахстана на основе спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2007. Выпуск 4. Т. 2. С. 358-364.
5. Терехов А.Г., Юсупова А.С., Зинченко Е.А., Муратова Н.Р. Оперативная инвентаризация размеров яровых посевов Северного Казахстана на базе спутниковых данных MODIS и IRS LISS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2007. Выпуск 4. Т. 2. С. 365-371.
6. Терехов А.Г., Цычуева Н.Ю., Муратова Н.Р. Принципы агроландшафтного районирования пахотных земель степной зоны Северного Казахстана на базе данных MODIS и IRS LISS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2007. Выпуск 4. Т. 2. С. 372-379.
7. Терехов А.Г., Кауазов А.М. Подспутниковый MODIS-ориентированный анализ информативности вегетационных индексов в задаче описания состояния яровой пшеницы Северного Казахстана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2007. Выпуск 4. Т. 2. С. 352-357.
8. Терехов А.Г. Основные элементы продуктивности яровой пшеницы Северного Казахстана сезона 2007 года в представлении EOS MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008. Выпуск 5. Т. 2. С. 364-370.

9. Терехов А.Г. Оценка влияния не зерновых культур на спутниковый прогноз урожайности пшеницы в Северном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008. Выпуск 5. Т. 2. С. 371-375.
10. Терехов А.Г. Оценка точности спутниковой технологии определения площади сельскохозяйственных масок в схеме с использованием снимков влияния не зерновых культур на спутниковый прогноз урожайности пшеницы в Северном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2009. Выпуск 6. Т. 2. С. 459-465.
11. Терехов А.Г. Эмпирические зависимости между элементами продуктивности яровой пшеницы Северного Казахстана и спектральными характеристиками полей по данным EOS MODIS в сезонах 2005-2009 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т. 7. № 3. С. 305-314.
12. Бараев А.И. Яровая пшеница в Северном Казахстане // Алма-Ата.: Кайнар, 1975.232 с.

The method for estimating of agriculture practice level and its changes in task of cereal cultivation in Northern Kazakhstan during 2000-2009 according to the MODIS

A. G. Terekhov

*Kazakh Research Institute of Environment and Climate, Kazakhstan
050000, Almaty, 597 Seifulin str.
E-mails: aterekhov1@yandex.ru*

Seasonal maximum of vegetation index NDVI (product MOD13Q1, resolution 250 m) of the period 2000-2009 for spring cereals in Northern Kazakhstan were used to assess changes in the agriculture practice level in Akmola and Kostanay provinces. Empirical relation between NDVI values and official crop productivity type: $PROD = K * NDVI$; have been transformed by replacing the coefficient (K) on a linear time function: $K = (1 + K_1 * T) * K_0$. It was assumed that (K_0) – responsible for the basic relationship between the values of vegetation index and crops yield, the coefficient (K_1), described the annual effect of changes in the agriculture practice level, starting with the reference year (T) – a positive number of years separating the reference and the analyzed year. For districts of Akmola and Kostanay oblasts it was obtained quantitative estimation, (K_0) – basic level (variation of 9 to 21), (K_1) - the rate of annual change (variation from 0.005 to 0.19).

Keywords: Satellite vegetation index, crop yield, empirical relations, linear approximation, agriculture practice level.