10.28983/asj.y2020i11pp58-61 УДК 528.8:633.16«321»:631.559

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

СТОРЧАК Ирина Геннадьевна, *ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»*

ЕРОШЕНКО Федор Владимирович, *ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»*

При возделывании ячменя важно осуществлять контроля над состоянием посевов и прогнозировать урожайность с использованием объективных и незатратных методов. Цель исследований – выявить связь между данными дистанционного зондирования Земли и урожайностью ярового ячменя для условий Ставропольского края. В исследованиях использовали данные сервиса «ВЕГА-Science» (усредненные значения NDVI яровых культур Ставропольского края) и статуправления Ставропольского края. При анализе материалов значения NDVI были привязаны к этапам органогенеза. Установлено, что наиболее тесная корреляционная связь (0,64) NDVI с урожайностью ярового ячменя соответствует фазе формирования зерновки. При анализе связи вегетационного индекса NDVI с урожайностью ярового ячменя в определенные недели года выявлено, что коэффициенты корреляции находились в пределах от 0,35 до 0,67. Это свидетельствует о том, что урожайность ячменя зависит от значений NDVI яровых культур. Показано, что для условий Ставропольского края существует возможность прогнозирования урожайности ярового ячменя по данным дистанционного зондирования Земли.

Введение. Яровой ячмень – ценная продовольственная, техническая и кормовая культура. Зерно ячменя используют на кормовые цели в дробленом, размолотом виде и в виде комбикорма, а также для производства перловой и ячневой крупы, для получения мальц-экстракта, необходимого в кондитерской, хлебопекарной, текстильной, кожевенной и фармацевтической промышленности [6].

Ячмень является хорошим компонентом в наборе культур полевого севооборота. После его уборки можно возделывать пожнивные и кормовые культуры. Яровой ячмень часто используют как страховую культуру при пересеве погибших, а также для пополнения изреженных посевов озимых.

Благодаря своим биологическим особенностям (скороспелости, засухоустойчивости, жаростойкости и холодоустойчивости) его возделывание возможно практически во всех странах мира [1]. Средняя посевная площадь посевов ярового ячменя в Ставропольском крае за 2000–2019 гг. составила 94,0 тыс. га. Сокращение площадей его возделывания связано, с одной стороны, со снижением поголовья животных, с другой – с увеличением площадей более рентабельных культур, например, озимой пшеницы, подсолнечника и др.

Валовой сбор ячменя в Ставропольском крае в среднем за 2002–2019 гг. составил 197,8 тыс. т. Максимальный валовой сбор 527,2 тыс. т отмечен в 2002 г., в 2008 г. его производство сократилось до 354,3 тыс. т., а в 2018 г. до 76,2 тыс. т.

Известно, что прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур можно различными методами [3, 4]. Поэтому цель исследований – выявить связь между данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и урожайностью ярового ячменя для условий Ставропольского края.

Методика исследований. Исследования проводили в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр». Объектами исследований служили посевы ярового ячменя, возделываемого в Ставропольском крае. В ходе работы использовали статистические данные Министерства сельского хозяйства Ставропольского края с 2000 г. Вегетационный индекс NDVI получали с помощью сервиса «ВЕГА-Science» Института космических исследований Российской академии наук.

Результаты исследований. Средняя урожайность ярового ячменя, возделываемого в Ставропольском крае за 2000–2019 гг., составила 2,09 т/га. Анализ данных показал, что в Ставропольском крае в последние годы отмечается выраженная тенденция снижения урожайности этой культуры. Это может быть связано с переходом к экстенсивным технологиям возделывания (увеличением количества производства без повышения урожайности), а также с отсутствием высокопродуктивных, адаптивных к местным условиям сортов, в полной мере отвечающих требованиям производства [1] (табл. 1).

В настоящее время в агропромышленный комплекс активно внедряют системы спутникового мониторинга растительности, с использо-

Таблица 1

Посевные площади ярового ячменя в Ставропольском крае

Год	Посевная площадь, тыс. га	Валовой сбор, тыс. т	Урожайность, т/га
2002	223,4	527,2	2,36
2003	203,7	270,9	1,33
2004	165,9	313,6	1,89
2005	106,5	185,3	1,74
2006	122,4	277,8	2,27
2007	137,3	249,9	1,82
2008	118,1	354,3	3,00
2009	97,4	188,0	1,93
2010	64,7	102,9	1,59
2011	46,1	113,4	2,46
2012	71,6	123,2	1,72
2013	61,3	110,3	1,80
2014	61,8	123,6	2,00
2015	45,5	106,9	2,35
2016	42,1	112,4	2,67
2017	46,8	125,9	2,69
2018	38,5	76,2	1,98
2019	38,4	89,5	2,33
Среднее	94,0	197,8	2,09

ванием которого можно осуществлять контроль над состоянием сельскохозяйственных посевов в течение всей вегетации. Основным преимуществом такого наблюдения является оперативность (получение снимков возможно несколько раз в сутки); полимасштабность (возможность получения необходимой информации как для небольших объектов (поле), так и для более крупных (край или область)); объективность (информация, полученная по космическим снимкам, отражает действительное состояние исследуемых объектов); экономичность (минимальные финансовые затраты). Поэтому перспективным является использование для этих целей специальных сервисов, содержащих данные различного типа, пространственного разрешения, а также имеющих многолетние архивы наблюдений. Одним из таких сервисов является «Вега», который был создан и запущен в Институте космических исследований Российской академии наук в 2011 г. [5].

Наблюдение за сезонной динамикой растительности осуществляют с использованием комплексных данных дистанционного зондирования Земли высокого среднего и низкого пространственного разрешения. Для характеристики роста и развития растений наиболее подходящими являются временные ряды, построенные по дан-

ным, полученным с космических аппаратов Terra и Aqua (съемочная аппаратура MODIS), которые обладают высокой периодичностью, широкой полосой съемки, а результаты находятся в открытом доступе, что позволяет проводить регулярные наблюдения за растительностью [2].

В ИКИ РАН создан автоматический метод определения сельскохозяйственной растительности по классам «озимые», «яровые» и «чистый пар», который предусматривает оперативное уточнение и обновление карт по мере развития растений в течение вегетации и появление новых космоснимков свободных от влияния мешающих факторов [5].

В течение вегетационного периода все сельскохозяйственные растения проходят различные фазы роста и развития, что оказывает влияние на значения отраженного от растительного покрова сигнала. На рис. 1 представлены среднемноголетние значения вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный относительный индекс растительности) озимых и яровых культур, возделываемых в Ставропольском крае.

NDVI наиболее часто используемый индекс для оценки степени развития, состояния и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. Он рассчитывается как отношение разности коэффициентов отражения в инфракрасной и красной областях электромагнитных волн к их сумме.

В наших исследованиях мы пользовались данными вегетационного индекса NDVI яровых культур. Предположение, что возможно использовать такие данные ДЗЗ для характеристики физиологического состояния отдельных культур, в том числе ярового ячменя, основано на следующих закономерностях.

1. Каждая культура в течение вегетации вносит определенный вклад в значение вегетационного индекса NDVI, общего для яровых культур. Это особо проявляется в периоды с максимальными значениями NDVI для каждой культуры.

2. Складывающиеся условия выращивания растений различных культур со схожей длительностью периода вегетации одинаковы. Если погодные условия благоприятны для одной культуры, то они будут благоприятными и для культур, у которых основные периоды роста и развития совпадают или близки к ним.

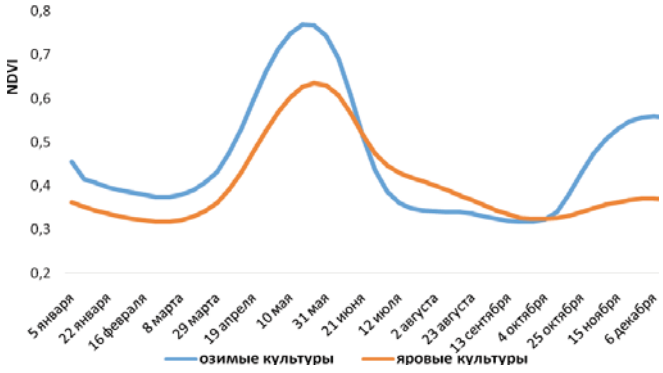

Рис. 1. Среднемноголетние значения вегетационного индекса NDVI озимых и яровых культур Ставропольского края

Полученные данные вегетационного индекса NDVI мы связали с этапами роста и развития ярового ячменя. Это было сделано исходя из предположения, что максимум NDVI посевов ярового ячменя соответствует VIII этапу органогенеза (фаза колошения). Исследования показали (рис. 2), что наиболее сильная корреляционная связь (0,64) NDVI с урожайностью ярового ячменя соответствует фазе формирования зерновки. В то же время полученные нами коэффициенты корреляции, начиная с фазы весеннего кущения до молочно-восковой спелости, значимы для $p = 0{,}01$. Таким образом, для Ставропольского края имеется возможность прогнозировать урожайность ярового ячменя почти во все фазы роста и развития этой культуры.

В ходе работы нами был проведен корреляционный анализ связи вегетационного индекса NDVI с урожайностью ярового ячменя в определенные недели года, для того чтобы минимизировать зависимость от временных шкал развития растений. Полученные коэффициенты корреляции находились в пределах от 0,35 (14-я неделя) до 0,67 (24-я неделя). Результаты исследований свидетельствуют о том, что с определенной точностью можно прогнозировать урожайность ярового ячменя в Ставропольском крае. Значимые коэффициенты корреляции при таком подходе проявляются вплоть до 26-й недели (рис. 3).

Заключение. Для Ставропольского края существует связь между значениями NDVI и урожайностью ярового ячменя. Наиболее тесная корреляция наблюдается в фазу формирования зерновки.

В период между 14-й и 26-й календарными неделями года проявляется статистически значимая корреляционная связь показателей вегетационного индекса NDVI и урожайности зерна ярового ячменя.

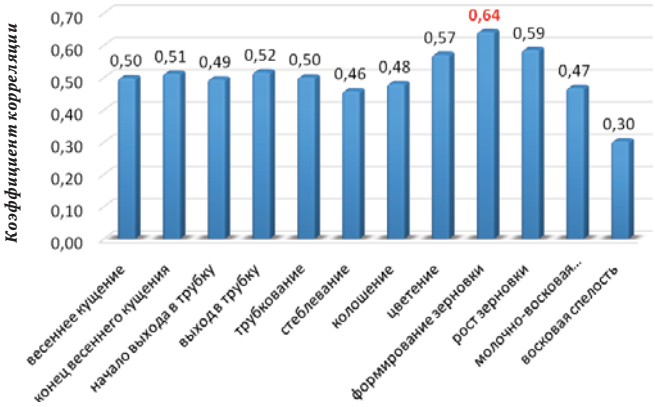

Рис. 2. Связь NDVI и урожайности ярового ячменя в различные фазы их развития

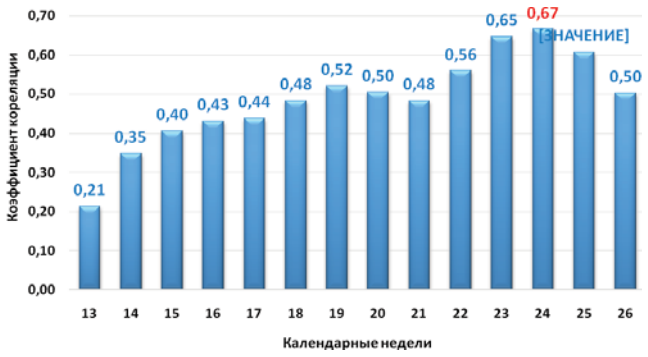

Рис. 3. Связь урожайности ярового ячменя со значениями NDVI в различные календарные недели года в период роста и развития посевов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грищенко В.Г.* Яровой ячмень в засушливых условиях Юга России. – Элиста: ЗАОр «НПП Джангар», 2012. – 132 с.

2. Использование сервиса спутникового мониторинга «Вега-Science» для оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур / С.А. Линков [и др.] // Новости науки в АПК. – 2018. – № 2-2 (11). – С. 16–19.

3. *Лысенко С.А.* Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутникового мониторинга динамики углерода в наземных экосистемах // Исследование Земли из космоса. – 2019. – № 4. – С. 48–59.

4. *Панеш А.Х., Цалов Г.В.* Прогнозирование урожайности озимой пшеницы на основе сервисов геоинформационных систем // Вестник АГУ. – 2017. – № 4. – С. 175–180.

5. Развитие метода автоматического распознавания озимых культур на основе спутниковых данных для оценки их состояния на территории Республики Крым / Д.Е. Плотников [и др.] // Таврический вестник аграрной науки. – 2020. – № 1(21). – С. 64–82.

6. Способ получения хлеба из смеси муки из пшеницы, овса, ржи, ячменя и тритикале / Н.М. Борисова [и др.] // Пища. Экология. Качество: тр. XIII Междунар. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2016. – С. 338–344.

Сторчак Ирина Геннадьевна, *канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела физиологии растений, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр». Россия.*

Ерошенко Федор Владимирович, *д-р биол. наук, зав. отделом физиологии растений, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр». Россия.*

356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск, ул. Никонова, 49.

Тел.: 89187470256.

Ключевые слова: *данные дистанционного зондирования; нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI); яровой ячмень.*

USE OF REMOTE METHODS FOR MONITORING FORMATION OF YIELD OF SPRING BARLEY

Storchak Irina Gennadyevna, *Candidate of Agricultural Sciences, Senior Re-searcher, North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center. Russia.*

Eroshenko Fedor Vladimirovich, *Doctor of Biological Sciences, North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center. Russia.*

Keywords: *remote sensing data; normalized differential vegetation index NDVI; spring barley.*

When cultivating barley, there is a need to monitor the condition of crops and fore-cast yields using objective and inexpensive methods. Remote sensing data of the Earth is used to solve various problems in the agricultural sector related to monitoring vegetation, including monitoring the condition of agricultural crops throughout the growing season. The main advantages of this observation are: efficiency, objectivity, multi-scale and cost-effective. The question of the possibility of predicting crop yields in the scientific literature has not yet been adequately reflected. Therefore, the purpose of the research was to identify the relationship between the data of remote sensing of the Earth and the yield of spring barley for the conditions of the Stavropol Territory. The studies used data from the VEGA IKI RAS service (averaged NDVI values of spring crops in the Stavropol Territory) and the sta-tistical office of the Stavropol Territory. In the analysis of materials, NDVI values were tied to the stages of organogenesis. It was found that the closest correlation between (0.64) NDVI and spring barley yield corresponds to the phase of the formation of the caryopsis. When analyzing yield data and values of the NDVI vegetation index on fixed calendar dates (weeks) of the year, it was shown that a statistically significant correlation appears between the 13th and 26th calendar weeks of the year. Therefore, the Stavropol Territory is charac-terized by the dependence of barley productivity on NDVI values of spring crops. The closest it is observed in the phase of the formation of the seed. Thus, for the conditions of the Stavropol Territory, it is possible to predict the yield of spring barley according to remote sensing data of the Earth.