

## Оценка урожайности и качества зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае с использованием данных дистанционного зондирования Земли

*И.Г. Сторчак, к.с.-х.н., Ф.В. Ерошенко, д.б.н., Е.О. Шестакова, аспирантка, ФГБНУ Северо-Кавказский ФНАЦ*

Урожайность – интегральный показатель, который аккумулирует состояние растений в течение их роста и развития. Поэтому продукционный процесс в первую очередь определяется условиями выращивания [1]. Следовательно, разработка системы, позволяющей проводить объективный контроль состояния посевов, – важная и актуальная задача, решение которой даёт возможность не только оценивать ход формирования урожая, оперативно проводить мероприятия по уходу за посевами, но и более точно прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур. Важность такой системы многократно увеличится, если она позволит давать усреднённую характеристику состояния всех полей определённой культуры на территории таких административных единиц, как район, почвенно-климатическая зона и Ставропольский край в целом.

В последние года для этих целей стали использовать данные дистанционного зондирования Земли [2–4], тем более что в настоящее время

существует возможность получать такие данные не только для отдельной точки, но и для полей, районов и края или области в целом [5]. Отмечается, что существует связь между вегетационным индексом NDVI и урожайностью сельскохозяйственных культур, в частности озимой пшеницы [6, 7]. Поэтому **целью исследования** было установить связь между данными дистанционного зондирования Земли, урожайностью и качеством зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае, что позволит контролировать ход формирования будущего урожая.

**Материал и методы исследования.** Работа выполнена в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр». В качестве объектов исследования служили посевы озимой пшеницы Ставропольского края. Данные дистанционного зондирования Земли (вегетационный индекс NDVI) были получены с использованием архива сервиса «VEGA» Института космических исследований РАН. Также в работе использовали данные Ставропольского статуправления.

**Результаты исследования.** Полученные с помощью сервиса «VEGA» данные NDVI для каждого года мы связали с определёнными фазами роста и

развития. Это было сделано с учётом продолжительности этапов органогенеза, исходя из того, что максимум NDVI соответствует фазе колошения. Далее были проанализированы урожайные данные и NDVI озимой пшеницы в Ставропольском крае. Было установлено, что почти во все фазы роста и развития, начиная с возобновления весенней вегетации и заканчивая полной спелостью, существует положительная корреляционная связь между урожайностью и NDVI (рис. 1).

Следует отметить, что в конце репродуктивного периода нами получены довольно высокие значения  $R_{\text{corr.}} = 0,48$  и  $0,40$ . С нашей точки зрения, это может быть связано с тем, что к фазе полной спелости в растениях озимой пшеницы хлорофилл, у которого максимум поглощения находится в красной области спектра, практически отсутствует. Как следствие, NDVI их посевов в основном определяется величиной коэффициента отражения в инфракрасной части спектра. Поэтому чем больше общая биомасса посева, а следовательно, и площадь отражающей поверхности, тем больше вегетационный индекс NDVI. Как правило, у более мощно развитого посева более высокая урожайность зерна.

Всё это позволяет проводить мониторинг хода формирования урожайности в течение вегетации. Если строить график зависимости прогнозируемой урожайности от фазы развития в течение всей вегетации, то получим кривую, которая будет отражать влияние складывающихся условий на продукционный процесс озимой пшеницы для всей территории края (рис. 2).

Если к полученному графику добавить динамику изменений температуры воздуха со сдвигом на время ответной реакции растений (7–10 дней), то можно заметить, что она по характеру изменений совпадает с прогнозируемой урожайностью в

начальный период роста и развития. Это объясняется тем, что с начала возобновления весенней вегетации основным лимитирующим фактором для растений является температурный режим, так как влагообеспеченность посевов в этот период, как правило, достаточная (накопленная влага за зимний период).

Таким образом, предложенный способ оценки динамики продуктивности в течение вегетации позволяет контролировать ход формирования урожая сельскохозяйственных культур для такой большой территории, как Ставропольский край. Аналогично такую методологию можно использовать и для отдельных районов, и для почвенно-климатических зон.

Показателей качества зерна озимой пшеницы достаточно много и они представлены государственными стандартами, но для характеристики урожая на таких больших территориях, как район и край (область), применяются следующие (выраженные в %): количество зерна 2-го и 3-го классов; а также количество продовольственного зерна в общем урожае.

Исследование показало (табл.), что максимальная обратная связь NDVI с количеством зерна 2-го и 3-го классов наблюдалась в фазу формирования зерновки (коэффициент корреляции  $-0,82$ , коэффициент детерминации  $0,68$ ), а с количеством продовольственного зерна — в фазы колошения и цветения (коэффициент корреляции  $-0,76$ , коэффициент детерминации  $0,58$ ). Следовательно, для Ставропольского края появляется возможность с достаточно высокой степенью достоверности прогнозировать качество зерна озимой пшеницы будущего урожая, начиная с возобновления весенней вегетации и вплоть до фазы восковой спелости.

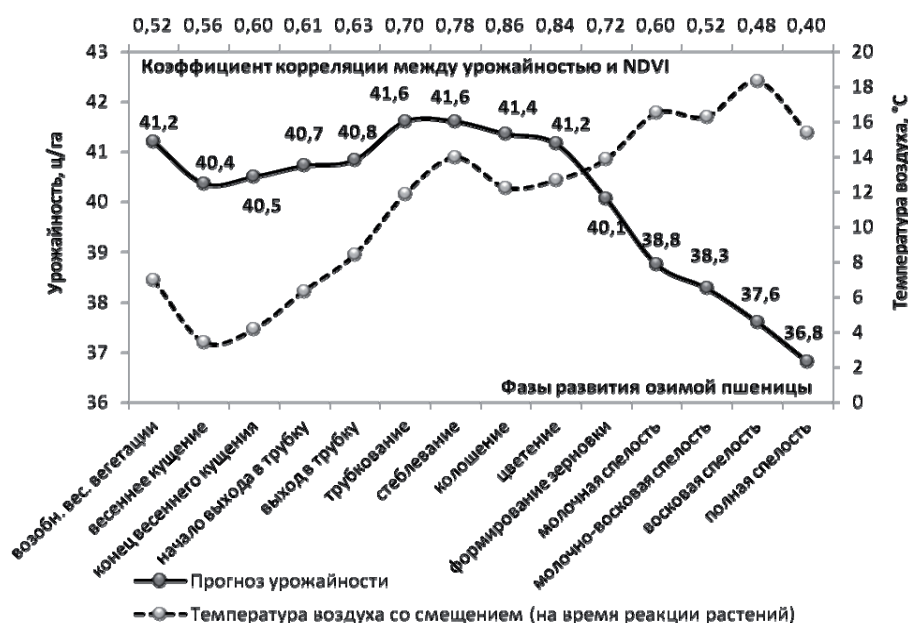


Рис. 1 – Коэффициент корреляции между урожайностью и NDVI озимой пшеницы в Ставропольском крае

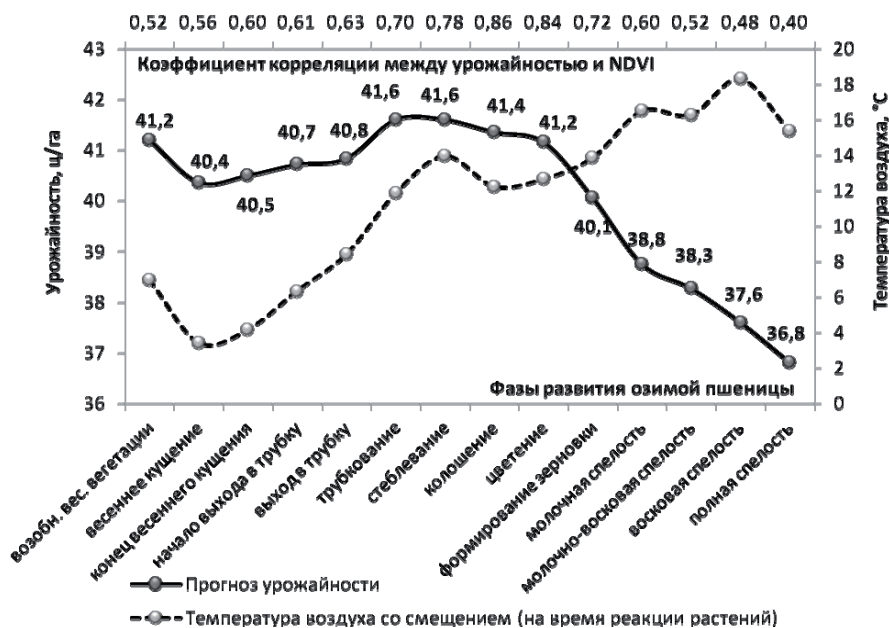


Рис. 2 – Динамика прогнозируемой урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае, 2016 г. (данные NDVI на 7 июля 2016 г.)

Связь показателей качества зерна с NDVI посевов озимой пшеницы в Ставропольском крае в различные фазы роста и развития (по данным за 2003–2016 гг.)

Фаза развития	Для количества зерна 2-го и 3-го классов		Для количества продовольственного зерна	
	коэффициент корреляции	коэффициент детерминации	коэффициент корреляции	коэффициент детерминации
Возобновление весенней вегетации	-0,60**	0,36	-0,69**	0,48
Весеннее кущение	-0,59**	0,35	-0,71**	0,50
Конец весеннего кущения	-0,55**	0,3	-0,68**	0,46
Начало выхода в трубку	-0,56**	0,31	-0,67**	0,45
Выход в трубку	-0,60**	0,36	-0,66**	0,44
Трубкование	-0,60**	0,36	-0,60**	0,36
Стеблевание	-0,72**	0,52	-0,72**	0,53
Колошение	-0,75**	0,56	-0,76**	0,58
Цветение	-0,77**	0,59	-0,76**	0,58
Формирование зерновки	-0,82**	0,68	-0,73**	0,53
Молочная спелость	-0,76**	0,58	-0,60**	0,36
Молочно-восковая спелость	-0,70**	0,49	-0,57**	0,33
Восковая спелость	-0,60**	0,36	-0,52**	0,27

Примечание: \*\* – коэффициенты корреляции значимы для  $p=0,01$

Кроме того, если по уравнениям регрессии для каждой фазы роста и развития рассчитать значения величин количества зерна 2-го и 3-го классов, а также количества продовольственного зерна и построить их динамику в течение вегетации, то полученный таким образом график будет отражать ход формирования качества зерна озимой пшеницы для всей территории Ставропольского края.

На процесс накопления запасных белков в зерне значительное влияние оказывают такие климатические факторы, как влагообеспеченность, температура воздуха и инсоляция, которые изменяются в течение вегетации растений озимой пшеницы. Кроме того, изменения одного фактора в определённый период роста и развития проходит на фоне изменений других. Поэтому график динамики прогнозируемого качества имеет вид неоднородно

меняющейся кривой. В то же время тенденция изменения рассматриваемых показателей указывает на то, что в 2016 г. формирование качества зерна озимой пшеницы характеризовалось его снижением вплоть до уборки урожая, о чём свидетельствуют линии тренда.

Получение высокобелкового урожая озимой пшеницы возможно, если в период налива зерна растения хорошо обеспечены азотом, ограничены во влаге при повышенных температурах воздуха, обеспечены интенсивной богатой ультрафиолетовыми лучами фотосинтетически активной радиацией. Умеренный дефицит влаги и повышенная температура, с одной стороны, активизируют нитрификационную деятельность в почве, что способствует обогащению её азотом, с другой – усиливают дыхание в растениях, которое сопро-

вождается расходом углеводов [8, 9]. Эти два процесса способствуют биосинтезу аминокислот и, как следствие, повышению содержания белка в зерне и улучшению его качества.

По данным гидрометцентра Ставропольского края, весенне-летний период 2016 г. характеризовался значительным выпадением осадков. Так, в марте средняя сумма осадков по краю составляла 39 мм (142% от климатической нормы), в мае – 95 мм (165% от нормы), в июне – 102 мм (131% от нормы) и в июле – 91 мм (156%). Таким образом, весь период роста и развития озимой пшеницы проходил в условиях переувлажнения.

Всё это нашло отражение в динамике прогнозируемого качества зерна озимой пшеницы в 2016 г. на Ставрополье. Так, если в период весенней вегетации прогноз зерна 2-го и 3-го классов составлял 27,0% и продовольственного зерна 76,1, то к концу вегетации эти показатели снизились до 18,2 и 72,8% соответственно. Следует отметить, что по факту в Ставропольском крае в 2016 г. было собрано 17,7% зерна 2-го и 3-го классов, а продовольственного – 69,7%.

**Вывод.** Для Ставропольского края существует возможность использования вегетационного индекса NDVI как для прогноза урожая и качества зерна озимой пшеницы, так и для объективного контроля хода их формирования для таких территорий, как край или область.

## Литература

1. Ерошенко Ф.В. Фотосинтетическая продуктивность растений озимой пшеницы высокорослых и низкорослых сортов: дисс. ... докт. биол. наук / ГОУВПО «Воронежский государственный университет». Воронеж, 2011.
2. Куссиль Н.Н. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS / Н.Н. Куссиль, А.Н. Кравченко, С.В. Скаун [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 95–107.
3. Сторчак И.Г., Ерошенко Ф.В. Использование NDVI для оценки продуктивности озимой пшеницы в Ставропольском крае // Земледелие. 2014. № 7. С. 12–15.
4. Мурагова Н.Р., Терехов А.Г. Опыт пятилетнего оперативного мониторинга сельскохозяйственных угодий Северного Казахстана с помощью спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 4. № 2. С. 277–283.
5. Лупян Е.А. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») / Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Барталев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
6. Майорова В.И. Контроль состояния сельскохозяйственных полей на основе прогнозирования динамики индекса NDVI по данным космической мультиспектральной и гиперспектральной съёмки / В.И. Майорова, А.М. Банников, Д.А. Гришко [и др.] // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2013. № 7. С. 199–228.
7. Брыксин В.М., Евтюшкин А.В., Рычкова Н.В. Прогнозирование урожайности зерновых культур на основе данных дистанционного зондирования и моделирования биопроductивности // Известия Алтайского государственного университета. 2010. № 1–2. С. 89–93.
8. Кулинцев В.В. Система земледелия нового поколения Ставропольского края / В.В. Кулинцев, Е.И. Годунова, Л.И. Желнакова [и др.]. Ставрополь: АГРУС – Ставроп. гос. аграрного ун-та, 2013. 520 с.
9. Кулинцев В.В. Рекомендации по научно обоснованному уходу за посевами озимой пшеницы для повышения урожайности зерна и его качества. В.В. Кулинцев, Е.И. Годунова, И.В. Нешин [и др.]. Ставрополь, 2014.