

УДК: 633.11«324»:528.8:631.5

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-240-251

Ф.В. Ерошенко¹, И.Г. Сторчак², И.В. Энговатова³, Н.Г. Лиховид⁴**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ****АННОТАЦИЯ**

Для повышения устойчивости зернового производства на региональном уровне необходимы достоверные и оперативные методы мониторинга состояния посевов в течение всей вегетации, а также способы раннего прогнозирования не только урожайности, но и качества зерна озимой пшеницы. Для этого используют спутниковые данные сезонной динамики вегетационного индекса NDVI, что позволяет оценивать физиологическое состояние посевов и величину будущего урожая. Цель исследований — выявить связь между данными дистанционного зондирования Земли и показателями качества озимой пшеницы для условий Ставропольского края. Работа выполнена в отделе физиологии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» совместно с институтом космических исследований РАН. Данные по качеству зерна в Ставропольском крае за период с 2003 по 2018 гг. предоставлены Ставропольским филиалом ФГБУ «Федеральный центр оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки». Вегетационные индексы NDVI получены с помощью сервиса «VEGA» ИКИ РАН. Проведённый анализ данных показал, что максимальный коэффициент корреляции NDVI с количеством зерна 2-го и 3-го классов составил 0,83 со знаком минус в фазу формирования зерновки. С количеством продовольственного зерна максимальная обратная связь отмечается в фазу возобновления весенней вегетации (коэффициенты корреляции -0,62). Динамика прогноза качества зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае в 2018 г. имеет довольно широкий диапазон изменений, что связано с условиями роста и развития растений. Для условий Ставропольского края наиболее тесная корреляция между вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы и качественными показателями наблюдается в период с 10 по 22 календарные недели. При анализе связи качественных показателей со средними значениями NDVI в разные месяцы вегетационного периода выявлена тесная обратная связь за апрель, май, июнь, а также за период апрель–май.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: озимая пшеница, качество зерна, данные дистанционного зондирования Земли, вегетационный индекс NDVI

¹ ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: yer-sniish@mail.ru

² ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: sniish.storchak@gmail.com

³ ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: chernova_skfu@mail.ru

⁴ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», ул. Пушкина, д. 1, 355000, Ставропольский край, Ставрополь, Россия; *e-mail*: likhovid@mail.ru

Fedor V. Eroshenko¹, Irina G. Storchak², Irina V. Engovatova³, Natalia G. Likhovid⁴

USE OF REMOTE SENSING EARTH DATA FOR REGIONAL ASSESSMENT OF WINTER WHEAT GRAIN QUALITY

ABSTRACT

To improve the sustainability of grain production at the regional level, reliable and operational methods for monitoring the state of crops during the entire growing season, as well as methods for early prediction of not only yield, but also the quality of winter wheat grain are needed. For this, satellite data of the seasonal dynamics of the vegetation index NDVI are used, which allows one to evaluate the physiological state of crops and the size of the future crop. The purpose of research is to identify the relationship between the data of remote sensing of the Earth and winter wheat quality indicators for the conditions of the Stavropol Territory. This work was carried out in the Department of Plant Physiology of the North-Caucasian Federal Scientific and Agricultural Agrarian Federal State Budgetary Scientific Institution together with the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. Data on grain quality in the Stavropol Territory for the period from 2003 to 2018 were provided by the Stavropol branch of the Federal Center for the Safety and Quality Assessment of Grain and its Processing Products. Vegetation indices NDVI obtained using the VEGA service IKI RAS. An analysis of the data showed that the maximum correlation coefficient of NDVI with the amount of grains of the 2nd and 3rd classes was 0.83 with a minus sign in the phase of formation of the grain. With the amount of food grain, the maximum feedback is observed in the phase of the resumption of spring vegetation (correlation coefficients -0.62). The dynamics of the forecast of winter wheat grain quality in the Stavropol Territory in 2018 has a fairly wide range of changes, which is associated with the conditions of plant growth and development. For the conditions of the Stavropol Territory, the closest correlation between the vegetative index NDVI of winter wheat crops and quality indicators is observed from 10 to 22 calendar weeks. When analyzing the relationship of quality indicators with average NDVI values in different months of the growing season, close feedback was revealed for April, May, June, and also for the period April–May.

KEYWORDS: winter wheat, grain quality, Earth remote sensing data, NDVI vegetation index

ВВЕДЕНИЕ

Ставропольский край является лидером по производству продовольственной пшеницы в стране [Ерошенко и др., 2016]. При анализе статистических данных выявлена тенденция снижения качества зерна — так, если за период 2001–2005 гг. доля пшеницы 3-го класса в общем объеме производимого в крае зерна составляла 45,3 %, то в 2016–2018 гг. она снизилась до 22,3 %. Причинами данного снижения могут служить: климатические изменения (увеличение количества осадков и повышение температуры воздуха) [Кулинцев и др., 2013], внедрение сортов озимой пшеницы интенсивного типа, которые способны формировать более высокий урожай, но с меньшими показателями качества зерна; внесение недостаточного количества минеральных удобрений [Менькина и др., 2018], а также износ

¹ North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonov str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: yer-sniish@mail.ru

² North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonov str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: sniish.storchak@gmail.com

³ North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonov str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: chernova_skfu@mail.ru

⁴ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “North-Caucasian Federal University”, Pushkin str., 1, 355000, Stavropol Territory, Stavropol, Russia; *e-mail*: likhovid@mail.ru

материально-технических средств и др.¹ Из литературных источников известно, что для условий Ставропольского края с изменением почвенно-климатических зон происходит снижение качественных показателей [Воропаева А.А. и др., 2019]. Следовательно, природно-климатические условия, элементы технологии возделывания, уровень минерального питания оказывают большое влияние на качество зерна озимой пшеницы, возделываемой в Ставропольском крае.

Важной задачей агропромышленного комплекса Ставропольского края является получение стабильно высоких урожаев качественного зерна озимой пшеницы. Для её решения необходимо разрабатывать достоверные и оперативные методы мониторинга состояния посевов в течение всей вегетации, а также прогноза урожайности и качества зерна. Для этого активно используют данные дистанционного зондирования Земли [Kussul, 2018], которые позволяют получать необходимую информацию на различных уровнях пространственной агрегации [Якушев и др., 2019]. Отмечается, что спутниковые данные сезонной динамики вегетационного индекса NDVI позволяет оценивать, как физиологическое состояние посевов, так и величину будущего урожая [Ёлкина и др., 2017]. Достоинством таких оценок является их оперативность, когда получение снимков возможно несколько раз в сутки. Кроме того, такие данные отличаются объективностью, т.е. информация, полученная по космоснимкам, показывает действительное состояние исследуемых объектов [Troy et al., 2016]. Также использование данных дистанционного зондирования Земли обеспечивает широкий охват исследуемой территории [Nagy et al., 2018; Hassan et al., 2019]. Существуют различные подходы к прогнозированию урожайности: оценка состояния полей по вегетационным индексам, статистическая обработка результатов мониторинга, поиск года-аналога, построение моделей роста и регрессионных зависимостей продуктивности от вегетационных индексов. При построении регрессионных моделей в качестве данных ДЗЗ используют вегетационный индекс NDVI. Вместе с тем главный вопрос возможностей дистанционной оценки качества урожая в научной литературе к настоящему времени пока ещё не нашел должного отражения, поэтому **цель исследований** — выявить связь между данными дистанционного зондирования Земли и показателями качества озимой пшеницы для условий Ставропольского края.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена в отделе физиологии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Вегетационные индексы NDVI получены с помощью сервиса «VEGA» Института космических исследований РАН.

В качестве базового геоинформационного программного обеспечения использовалась платформа Quantum GIS 2.18; математическая и статистическая обработка данных проводилась в табличном редакторе Microsoft Excel 2010.

В своих анализах мы пользовались усредненными данными вегетационного индекса NDVI всех полей озимых культур в Ставропольском крае для установления закономерностей, связанных с озимой пшеницей. С нашей точки зрения, такое допущение вполне уместно, т.к. из всех озимых культур больше 1 % занимает только озимый ячмень. В то же время, во-первых, биологические особенности озимой пшеницы и озимого ячменя схожи, а, во-вторых, площадь посевов под этой культурой составляет всего около 4 % от площади под пшеницей, что меньше ошибки опыта.

¹ Сельское хозяйство в Ставропольском крае: статистический сборник. Ставрополь: Северо-Кавказстат, 2018. 130 с.

Agriculture in the Stavropol Territory: A statistical compilation. Stavropol: Severo-Kavkazstat, 2018. 130 p. (in Russian).

Статистические данные качества зерна озимой пшеницы Ставропольского края предоставлены Ставропольским филиалом ФГБУ «Федеральный центр оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки». Для характеристики урожая зерна озимой пшеницы используют государственный стандарт «Пшеница. Технические условия» (ГОСТ52554-2006. Пшеница. Технические условия.). Чаще всего используются значения доли веса в валовом сборе продовольственного зерна (выраженного в процентах) 4-х классов, которые отличаются по содержанию сырой клейковины. Для продовольственного зерна установлен минимальный порог содержания клейковины 18 %, а пшеница, для которой этот показатель превышает 23 % (выше 3-го класса), относится к высококачественной.

Для характеристики качества зерна для таких территорий, как район, почвенно-климатическая зона, край (область) используют суммарную долю зерна 2 и 3 классов (высококачественное зерно), а также количество продовольственного зерна в общем урожае. Динамика этих показателей в Ставропольском крае за последние 15 лет представлена на рис. 1.

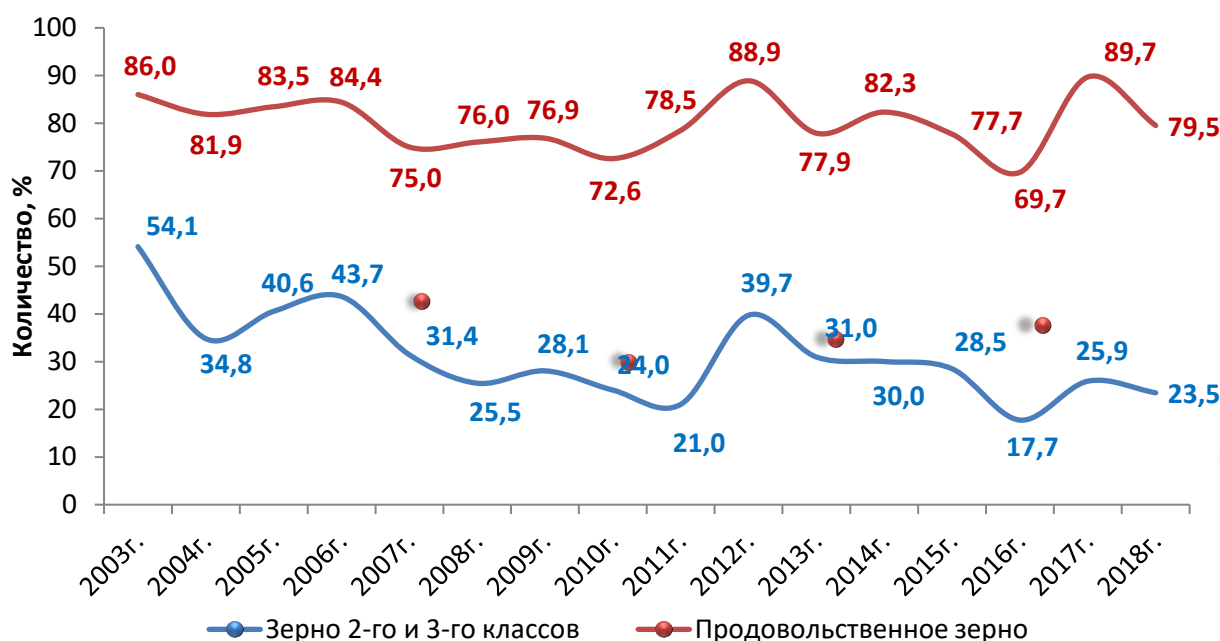


Рис. 1. Динамика производства продовольственного зерна и зерна 2-го и 3-го классов в Ставропольском крае

Fig. 1. Dynamics of production of food grains and grains of the 2nd and 3rd classes in the Stavropol Territory

Предположения о том, что существует связь между вегетационным индексом NDVI и показателями качества зерна озимой пшеницы основываются на следующих физиологических закономерностях:

- содержание азота в растениях — один из основных показателей, определяющих качество зерна озимой пшеницы [Гаркуша и др., 2000];
- днем азота и хлорофилла в растениях [Андрянова, Тарчевский, 2000];
- существует обратная корреляционная связь между содержанием хлорофилла в растениях и вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы [Ерошненко др., 2016].

Следовательно, между NDVI посевов озимой пшеницы и показателями качества зерна должна быть обратная взаимосвязь.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нами были изучены закономерности формирования качества зерна озимой пшеницы на территории Ставропольского края (рис. 2). Анализ данных показал, что максимальное количество зерна 2-го и 3-го классов получают в Александровском, Благодарненском, Георгиевском, Кочубеевском, Минераловодском Новоселицком, Курском, Степновском и Советском районах, наименьшее — в Арзгирском, Грачевском, Красногвардейском, Левокумском, Петровском и Шпаковском районах. Наибольшее количество продовольственного зерна было выращено на территории Кочубеевского, Александровского и Новоселицкого районов. Минимальные значения этого показателя отмечены в Апанасенковском, Арзгирском, Будённовском, Петровском, Предгорном, Туркменском муниципальных районах. В целом по Ставропольскому краю наблюдаемая тенденция снижения качества производимого зерна озимой пшеницы происходит с запада на восток, т.к. в этом направлении изменяются почвенно-климатические условия.

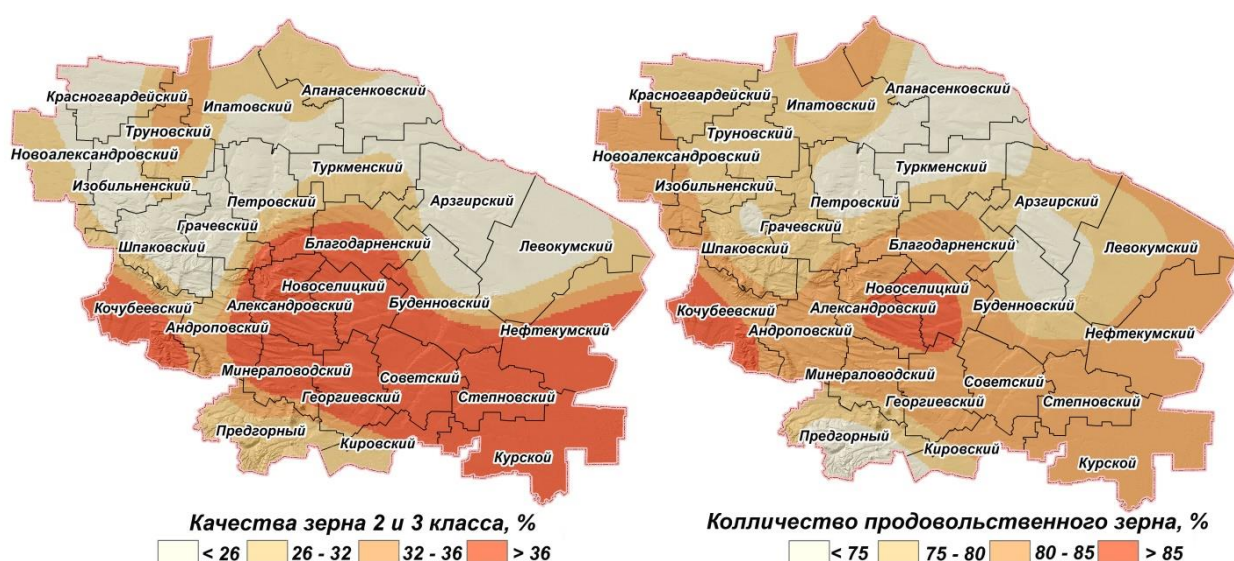


Рис. 2. Распределение по территории Ставропольского края качества зерна озимой пшеницы

Fig. 2. Distribution of winter wheat grain quality on the territory of the Stavropol Territory

Таким образом, качество зерна озимой пшеницы зависит от почвенно-климатических условий выращивания.

Из литературных источников известно, что для озимой пшеницы максимальное значение NDVI соответствует VIII этапу органогенеза (фаза колошение) [Буховец и др., 2018]. Используя эти данные, мы соотнесли значения вегетационного индекса к определённым фазам роста и развития растений.

Исследования показали, что максимальный коэффициент корреляции NDVI с относительной долей высококачественного зерна составил значение 0,83 со знаком минус в фазу формирования зерновки. С долей продовольственного зерна максимальная обратная связь отмечается в фазе возобновления весенней вегетации (коэффициенты корреляции -0,62) (табл.1).

Табл. 1. Связь показателей качества зерна с NDVI посевов озимой пшеницы в Ставропольском крае в различных фазах роста и развития (по данным за 2003–2018 гг.)

Table 1. Relationship between grain quality indicators and NDVI of winter wheat sowing in the Stavropol Territory in various phases of growth and development (according to data for 2003–2018)

Фаза развития	Для высококачественного зерна		Доля продовольственного зерна			
	R_{corr}	Уравнения регрессии	R^2	R_{corr}	Уравнения регрессии	R^2
возобновление весенней вегетации	-0,6	$y = -79.274x + 66.317$	0,36	-0,62	$y = -49.043x + 101.75$	0,38
весеннее кущение	-0,58	$y = -66.837x + 63.631$	0,34	-0,56	$y = -38.26x + 98.587$	0,31
конец весеннего кущения	-0,55	$y = -60.069x + 63.426$	0,3	-0,48	$y = -31.524x + 96.935$	0,23
начало выхода в трубку	-0,56	$y = -67.33x + 71.724$	0,31	-0,45	$y = -32.045x + 99.31$	0,2
выход в трубку	-0,6	$y = -88.459x + 89.935$	0,35	-0,41	$y = -36.309x + 104.13$	0,17
трубкование	-0,61	$y = -117.13x + 115.04$	0,37	-0,31	$y = -35.32x + 105.3$	0,1
стеблевание	-0,73	$y = -150.52x + 144.82$	0,53	-0,44	$y = -53.848x + 120.67$	0,19
колошение	-0,76	$y = -147.79x + 145.06$	0,58	-0,51	$y = -59.208x + 125.64$	0,26
цветение	-0,78	$y = -143.24x + 139.88$	0,61	-0,51	$y = -55.292x + 121.98$	0,26
формирование зерновки	-0,83	$y = -135.37x + 129.27$	0,69	-0,48	$y = -46.847x + 113.96$	0,23
рост зерновки	-0,78	$y = -111.79x + 104.97$	0,61	-0,41	$y = -35.212x + 103.26$	0,17
молочно-восковая спелость	-0,71	$y = -82.902x + 78.886$	0,5	-0,47	$y = -32.689x + 98.827$	0,22
восковая спелость	-0,57	$y = -67.989x + 63.708$	0,32	-0,47	$y = -33.561x + 96.069$	0,22
полная спелость	-0,6	$y = -79.274x + 66.317$	0,36	-0,62	$y = -49.043x + 101.75$	0,38

Таким образом возможно прогнозировать качество зерна озимой пшеницы будущего урожая с достаточно большой степенью достоверности, начиная с возобновления весенней вегетации.

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 рис. 3 представлена динамика прогноза качества зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае в 2018 г. Из графика видно, что качественные характеристики имеют довольно широкий диапазон изменений, что связано с условиями роста и развития растений.

В течение вегетации растений озимой пшеницы идёт процесс накопления запасных белков, на которые, как отмечалось выше, большое влияние оказывают почвенно-климатические условия возделывания. При этом изменение одного из факторов, определяющих рост и развитие растений, влечёт за собой изменение других. Поэтому график динамики прогноза качества зерна озимой пшеницы — неоднородно меняющаяся кривая.

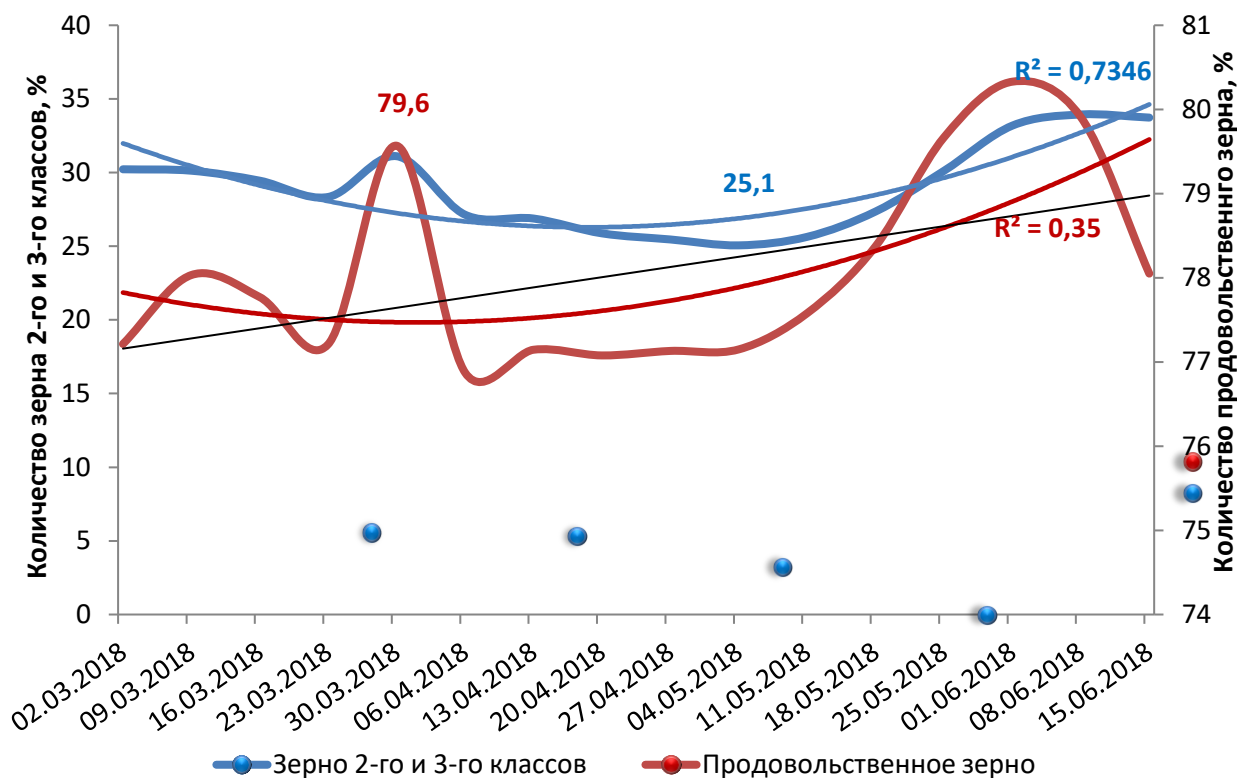


Рис. 3. Динамика прогноза качества зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае в 2018 г.

Fig. 3. Dynamics of the forecast of winter wheat grain quality in the Stavropol Territory in 2018

Получение высококачественного зерна возможно, если на XI этапе органогенеза растения озимой пшеницы достаточно обеспечены азотом, умеренно высокой температурой, при небольшом дефиците влаги, а также обеспечены интенсивной богатой ультрафиолетовыми лучами ФАР. Небольшая засуха при повышенной температуре стимулирует нитратную деятельность в почве и усиливает дыхание в растениях, которое сопровождается расходом углеводов [Кулинцев и др. 2013], что способствует увеличению белка в зерне озимой пшеницы, что благоприятно сказывается на его качестве.

По данным гидрометцентра Ставропольского края температура воздуха в весенне-летний период 2018 г. была выше климатической нормы, так в марте она превышала климатическую норму на 1,2° С и составила значение 3,5° С, в апреле — на 14 % (10,8° С), в мае — на 19 % (17,7°С), июне — на 17 % (22,5°С). Суммарное количество осадков в весенний период 2018 г. составило 147 мм. В марте выпало 88 мм (151 % климатической нормы), в апреле — 15 мм. (66 %), в мае — 44 мм (34 % от нормы). В июне 2018 г. выпало всего 0,5 мм осадков при норме 84 мм. (рис.4). Такое изменение погодных условий ожидается отразилось на динамике прогноза качества зерна.

Следовательно, для прогноза качества зерна озимой пшеницы и контроля хода его формирования возможно использовать данные дистанционного зондирования.

Наряду с явными достоинствами такого способа оценки качества урожая зерна озимой пшеницы, у него есть и недостаток, который заключается в дополнительных преобразованиях данных NDVI для приведения их в соответствие с определёнными фазами развития растений. Чтобы устранить этот недостаток, мы провели анализ связи качественных показателей с вегетационным индексом NDVI в конкретные даты года (номер недели). Полученные данные показали (табл. 2), что можно прогнозировать качество зерна озимой пшеницы, выращенной в условиях Ставропольского края, с 10 недели года. Значимые коэффициенты корреляции при таком способе анализа проявляются вплоть до 21-й недели с начала года, что соответствует датам в интервале 28 мая – 3 июня (формирование зерновки).

Таким образом, в период с 10-й по 21-ю неделю года существует высокая обратная корреляционная связь между вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы в Ставропольском крае и качеством зерна будущего урожая.

При анализе связи качественных показателей озимой пшеницы, возделываемой в Ставропольском крае, со средними значениями NDVI в разные месяцы вегетационного периода получены значимые коэффициенты корреляции за апрель, май, июнь, а также за период апрель–май (рис. 5).

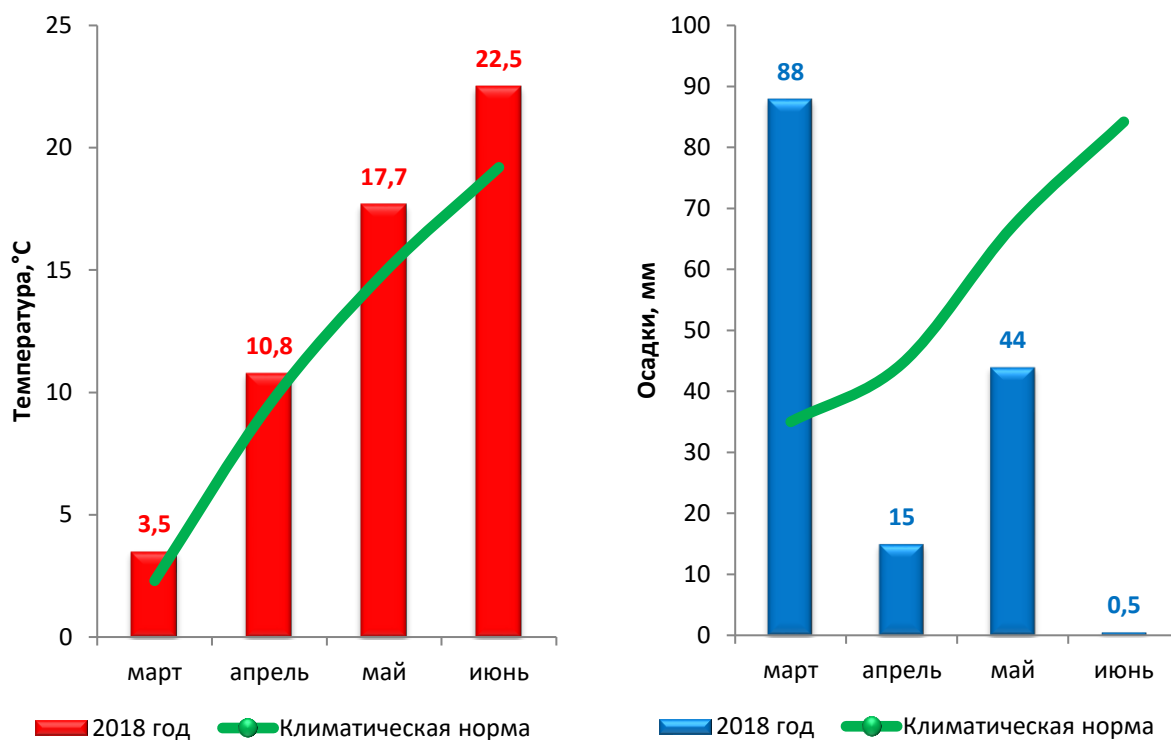


Рис. 4. Температура воздуха и количество осадков в 2018 г.
(метеостанция Ставрополь)

Fig. 4. Air temperature and precipitation in 2018
(weather station Stavropol)

Табл. 2. Связь показателей качества зерна озимой пшеницы с NDVI в различные даты (номер недели года) роста и развития озимой пшеницы в Ставропольском крае (по данным за 2003–2017 гг.)

Table 2. Relationship between winter wheat grain quality indicators and NDVI on different dates (the number of the next year) of growth and development of winter wheat in the Stavropol Territory (according to data for 2003–2017)

№ п/п	Неделя года	Для высококачественного зерна		Для продовольственного зерна	
		R _{corr}	Уравнения регрессии	R _{corr}	Уравнения регрессии
1	9	-0,16	$y = -20,986x + 39,752$	-0,50**	$y = -39,677x + 95,227$
2	10	-0,29**	$y = -35,982x + 45,816$	-0,59**	$y = -45,559x + 97,897$
3	11	-0,42**	$y = -52,538x + 52,566$	-0,68**	$y = -52,817x + 101,01$
4	12	-0,57**	$y = -66,228x + 59,011$	-0,78**	$y = -55,764x + 103,03$
5	13	-0,63**	$y = -67,167x + 61,069$	-0,83**	$y = -53,858x + 103,59$
6	14	-0,72**	$y = -69,166x + 64,837$	-0,81**	$y = -48,029x + 103,05$
7	15	-0,76**	$y = -74,678x + 71,763$	-0,75**	$y = -44,916x + 104,14$
8	16	-0,75**	$y = -81,613x + 80,474$	-0,63**	$y = -41,677x + 104,96$
9	17	-0,77**	$y = -85,913x + 88,348$	-0,59**	$y = -40,162x + 106,53$
11	18	-0,80**	$y = -99,471x + 102,25$	-0,57**	$y = -43,48x + 110,89$
12	19	-0,79**	$y = -115,99x + 117,85$	-0,52**	$y = -47,233x + 115,13$
13	20	-0,74**	$y = -123,03x + 125,29$	-0,47**	$y = -47,632x + 116,29$
14	21	-0,56**	$y = -106,24x + 111,82$	-0,23**	$y = -26,078x + 99,723$
15	22	-0,52**	$y = -95,372x + 101$	-0,16	$y = -17,391x + 92,695$
16	23	-0,34**	$y = -48,7x + 64,284$	0,04	$y = 3,4296x + 77,772$
17	24	-0,14	$y = -17,437x + 41,788$	0,23	$y = 17,567x + 69,934$

* – коэффициенты корреляции значимы для $p=0,05$

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

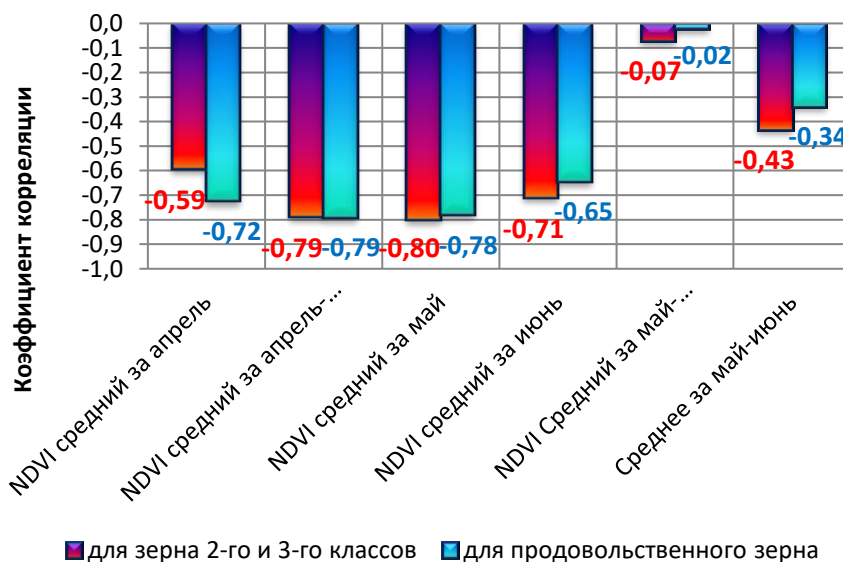


Рис. 5. Коэффициенты корреляции между средними месячными значениями вегетационного индекса NDVI и относительной долей зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае

Fig. 5. Correlation coefficients between monthly average values of the vegetative index NDVI and the relative share of winter wheat grain in the Stavropol Territory

ВЫВОДЫ

Полученные результаты свидетельствуют, что для посевов озимой пшеницы, возделываемой в Ставропольском крае, существует обратная связь между значениями вегетационного индекса NDVI и относительной долей высококачественного зерна (2-го и 3-го классов). Максимальный коэффициент корреляции составил значение 0,83 со знаком минус в фазу формирования зерновки. С долей продовольственного зерна максимальная обратная связь отмечается в фазе возобновления весенней вегетации (коэффициент корреляции -0,62). При этом в период с 10-й по 21-ю календарные недели существует тесная связь между этими показателями. Полученные результаты могут быть основой для разработки методов мониторинга состояния посевов озимой пшеницы в течение всей вегетации и прогноза качества будущего урожая.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 15-35-10419.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Federal Property Fund, project No 15-35-10419.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.
2. Буховец А.Г., Сёмин Е.А., Костенко Е.И., Яблоновская С.И. Моделирование динамики вегетационного индекса NDVI озимой пшеницы в условиях ЦФО. Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2018. № 2 (57). С. 186–199.
3. Воропаева А.А., Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И. Влияние технологии возделывания на урожай и качество зерна озимой пшеницы в условиях неустойчивого увлажнения центрального Предкавказья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2019. № 5 (79). С. 72–76.
4. Гаркуша В.Ф., Уманов С.С., Петрова Л.Н. Технология возделывания зерновых колосовых культур в Ставропольском крае. Рекомендации. Ставрополь-Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2000. 84 с.
5. Ерошенко Ф.В., Барталёв С.А., Сторчак И.Г., Плотников Д.Е. Возможности дистанционной оценки урожайности озимой пшеницы на основе вегетационного индекса фотосинтетического потенциала. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016. Т. 13. № 4. С. 99–112.
6. Ёлкина Е.С., Барталёв С.А., Толпин В.А., Лупян Е.А. Возможности сервиса спутникового мониторинга «Вега». Современные подходы к изучению экологических проблем в физической и социально-экономической географии. X Международная молодёжная школа-конференция. М.: Институт географии РАН, 2017. С. 162–163.
7. Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Желнакова Л.И. Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Ставрополь: АГРУС, 2013. 520 с.
8. Менькина Е.А., Шаповалова Н.Н., Воропаева А.А. Влияние предшественников и удобрений на урожайность озимой пшеницы, возделываемой по технологии No-till на обыкновенном чернозёме Ставропольского края. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2018. № 3 (71). С. 55–59.
9. Якушев В.П., Дубенок Н.Н., Лупян Е.А. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования земли для сельского хозяйства. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019. Т. 16. № 3. С. 11–23.

10. *Hassan A., Yang M., Rasheed A., Yang G.* A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant Science*, 2019. P. 95–103.
11. *Kussul N., Mykola L., Shelestov A., Skakun S.* Crop inventory at regional scale in Ukraine: developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and sar satellite imagery. *Italian Journal of Remote Sensing*, 2018. V. 51. No 1. C. 627–636.
12. *Magney T.S., Eitel J.U.H., Huggins D.R., Vierling L.A.* Proximal NDVI derived phenology improves in-season predictions of wheat quantity and quality. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016. P. 46–60.
13. *Nagy A., Fehér J., Tamás J.* Wheat and maize yield forecasting for the Tisza river catchment using MODIS NDVI time series and reported crop statistics. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018. P. 41–49.

REFERENCES

1. *Andrianova Yu.E., Tarchevsky I.A.* Chlorophyll and plant productivity. Moscow: Nauka, 2000. 135 p. (in Russian).
2. *Bukhovets A.G., Semin E.A., Kostenko E.I., Yablonovskaya S.I.* Modeling the dynamics of the vegetative index NDVI of winter wheat in the Central Federal District. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*, 2018. No 2 (57). P. 186–199 (in Russian).
3. *Eroshenko F.V., Bartalev S.A., Storchak I.G., Plotnikov D.E.* Opportunities for remote assessment of winter wheat productivity based on the vegetative index of photo-synthetic potential. *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*, 2016. V. 13. No 4. P. 99–112 (in Russian).
4. *Garkusha V.F., Umanov S.S., Petrova L.N.* The technology of cultivation of cereal crops in the Stavropol Territory. Recommendations. Stavropol-Zernograd: All-Russian Research, Design and Technological Institute of Agricultural Mechanization and Electrification, 2000. 84 p. (in Russian).
5. *Hassan A., Yang M., Rasheed A., Yang G.* A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant Science*, 2019. P. 95–103.
6. *Kulintsev V.V., Godunova E.I., Zhelnakova L.I.* The farming system of the new generation of the Stavropol Territory. Stavropol: AGRUS, 2013. 520 p. (in Russian).
7. *Kussul N., Mykola L., Shelestov A., Skakun S.* Crop inventory at regional scale in Ukraine: developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and sar satellite imagery. *Italian Journal of Remote Sensing*, 2018. V. 51. No 1. C. 627–636.
8. *Magney T.S., Eitel J.U.H., Huggins D.R., Vierling L.A.* Proximal NDVI derived phenology improves in-season predictions of wheat quantity and quality. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016. P. 46–60.
9. *Menkina E.A., Shapovalova N.N., Voropaeva A.A.* The influence of predecessors and fertilizers on the yield of winter wheat cultivated using No-till technology on ordinary chernozem of the Stavropol Territory. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*, 2018. No 3 (71). P. 55–59 (in Russian).
10. *Nagy A., Fehér J., Tamás J.* Wheat and maize yield forecasting for the Tisza river catchment using MODIS NDVI time series and reported crop statistics. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018. P. 41–49.
11. *Voropaeva A.A., Shapovalova N.N., Godunova E.I.* The influence of cultivation technology on the yield and quality of grain of winter wheat under conditions of unstable moistening of the central Ciscaucasia. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*, 2019. No 5 (79). P. 72–76 (in Russian).

12. *Yakushev V.P., Dubenok N.N., Lupyay E.A.* Application experience and development prospects of technologies for remote sensing of land for agriculture. *Current Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*, 2019. V. 16. No 3. P. 11–23 (in Russian).

13. *Yolkina E.S., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Lupyay E.A.* Opportunities of the Vega satellite monitoring service. *Modern Approaches to the Study of Environmental Problems in Physical and Socio-Economic Geography. X International Youth School Conference*. Institute of Geography RAS, 2017. P. 162–163 (in Russian).
