

## Особенности динамики вегетационного индекса NDVI в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края

И. Г. Сторчак<sup>1</sup>✉, Ф. В. Ерошенко<sup>1</sup>, Е. О. Шестакова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

✉ E-mail: [sniish.storchak@gmail.com](mailto:sniish.storchak@gmail.com)

**Аннотация.** В настоящее время в аграрном секторе начинают активно использоваться результаты исследований, позволяющие прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Известно, что полученные регрессионные модели зависят от почвенно-климатических условий возделывания. Для того чтобы определить степень развитости и состояния растений, можно использовать вегетационный индекс NDVI. Достоинствами такого метода являются объективность получаемых оценок и способность их применения к большим территориям. К сожалению, исследования влияния почвенно-климатических зон (ПЗК) возделывания на взаимосвязь урожайности озимой пшеницы с данными ДЗЗ практически не ведутся. Целью работы было выявление влияния условий различных почвенно-климатических зон Ставропольского края на особенности связей данных дистанционного зондирования Земли с продуктивностью посевов озимой пшеницы. Исследования проводили на базе ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр». Объектами исследований служили посевы озимой пшеницы Ставропольского края. В ходе работы использовали статистические данные Министерства сельского хозяйства Ставропольского края. Вегетационный индекс NDVI получали с помощью сервиса «BEGA» Института космических исследований Российской академии наук. Установлена взаимосвязь между NDVI и урожайностью озимой пшеницы для почвенно-климатических зон Ставропольского края. Полученные модели обладают высокой степенью достоверности (коэффициент аппроксимации в пределах 0,59–0,82, коэффициент корреляции – 0,77–0,90). Регрессионная модель связи среднего NDVI за вегетативно-генеративный период и урожайности зерна Ставропольского края, построенная с использованием данных почвенно-климатических зон, обладает достаточно высокой точностью (коэффициент корреляции – 0,82, коэффициент аппроксимации – 0,72). Использование данных дистанционного зондирования Земли, рассчитанных по почвенно-климатическим зонам, существенно повышает сопряженность вегетационного индекса NDVI с продуктивностью посевов озимой пшеницы. Это дает возможность более точно прогнозировать урожайность для всего Ставропольского края.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, регрессионные модели, вегетационный индекс NDVI, почвенно-климатическая зона, урожайность.

**Для цитирования:** Сторчак И. Г., Ерошенко Ф. В., Шестакова Е. О. Особенности динамики вегетационного индекса NDVI в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края // Аграрный вестник Урала. 2019. № 9 (188). С. 12–18. DOI: 10.32417/article\_5daf47c545e434.25766589.

**Дата поступления статьи:** 25.03.2019.

### Постановка проблемы (Introduction)

Получение высокого урожая зерна озимой пшеницы является важной задачей аграрной науки и сельскохозяйственного производства. Ее решение связано в том числе с разработкой оперативных и достоверных методов контроля состояния посевов, прогноза урожая и его качества. Для этих целей стали использовать данные дистанционного зондирования Земли, которые позволяют получать информацию для таких административно-территориальных единиц, как отдельное поле, район, почвенно-климатическая зона, субъект РФ или страна в целом [1–2].

Для того чтобы определить степень развитости и состояния растений, можно использовать вегетационный индекс NDVI [3, 4, 5, 6]. Достоинствами такого метода являются объективность получаемых оценок и способность

их применения к большим территориям. Из литературных источников известно, что такие модели обладают зависимостью от условий выращивания [7, 8]. К сожалению, исследования влияния почвенно-климатических зон (ПЗК) возделывания на взаимосвязь урожайности озимой пшеницы с данными ДЗЗ практически не ведутся.

В связи с этим целью работы было выявление влияния условий различных почвенно-климатических зон Ставропольского края на особенности связей данных дистанционного зондирования Земли с продуктивностью посевов озимой пшеницы.

### Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр». Объектами исследований служили посевы озимой пшеницы Став-

ропольского края. В ходе работы использовали статистические данные Министерства сельского хозяйства Ставропольского края. NDVI получали с помощью сервиса «ВЕГА» ИКИ РАН.

### Результаты (Results)

По почвенно-климатическим условиям в Ставропольском крае выделено 4 зоны: крайне-засушливая (I), засуш-

ливая (II), неустойчивого (III) и достаточного увлажнения (IV) [9].

С помощью данных сервиса «ВЕГА» и учета посевных площадей озимой пшеницы была рассчитан ход динамики NDVI различных почвенно-климатических зон с 2002 по 2017 годы (рис. 1).

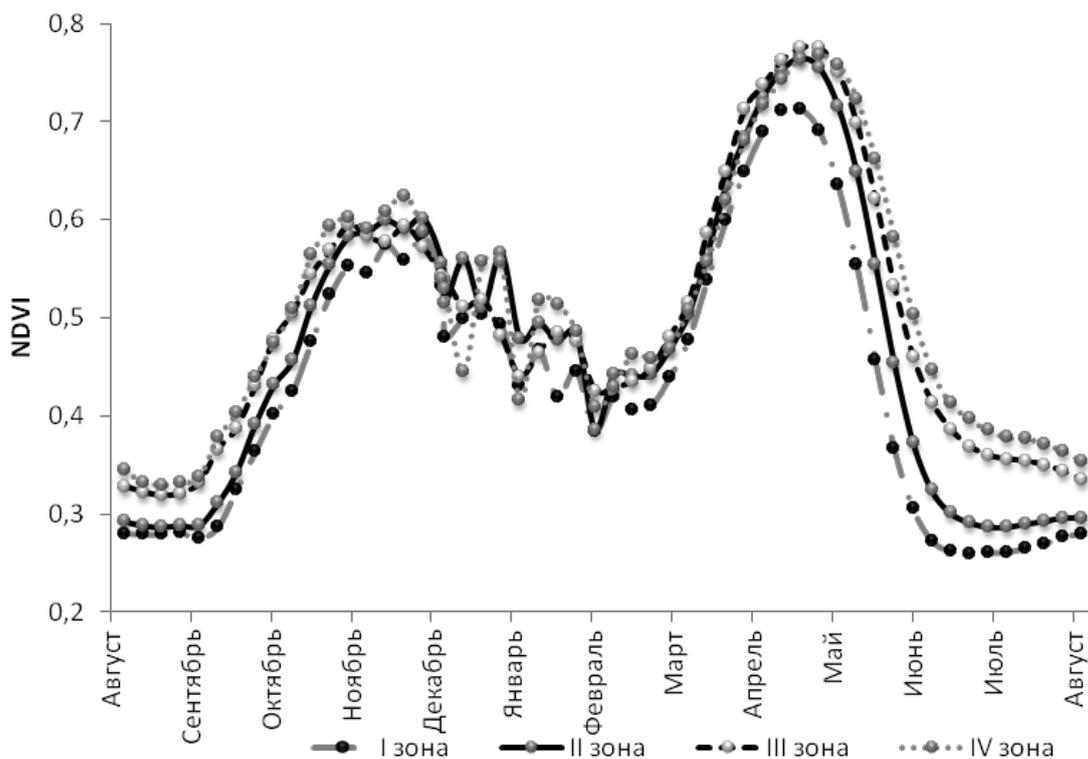


Рис. 1. Ход динамики вегетационного индекса озимой пшеницы

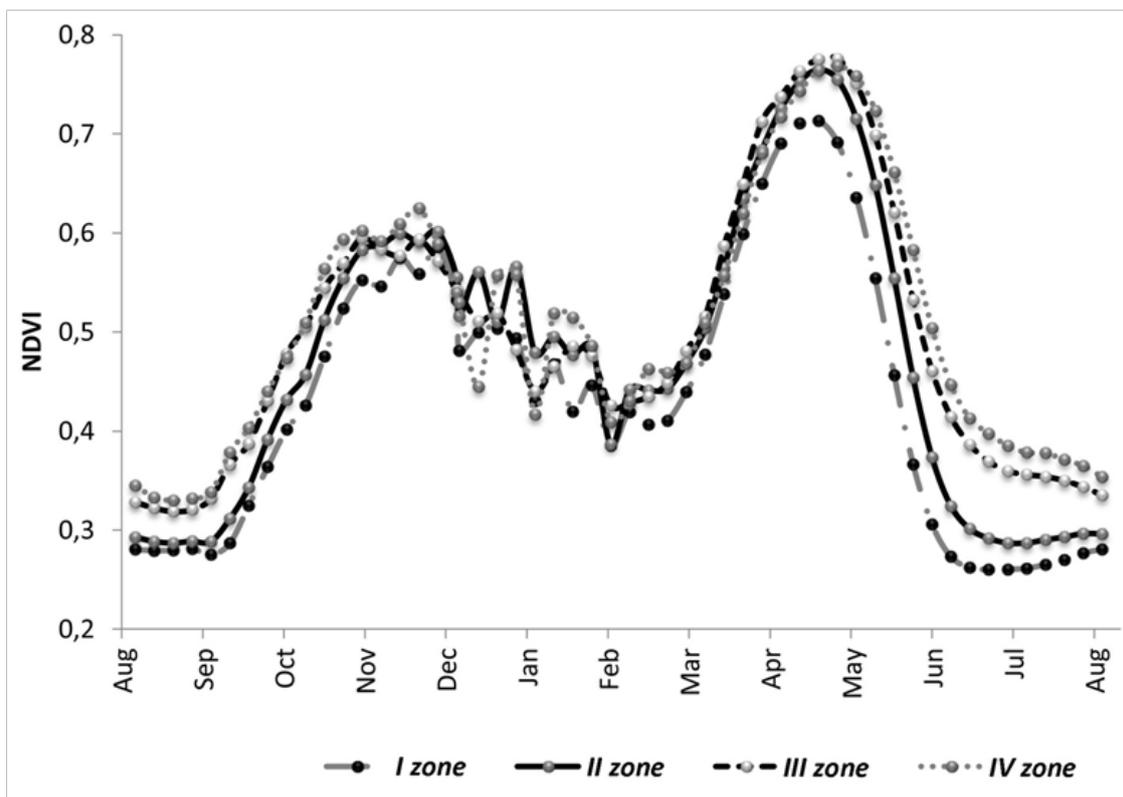


Fig. 1. The course of the dynamics of the vegetative index of winter wheat

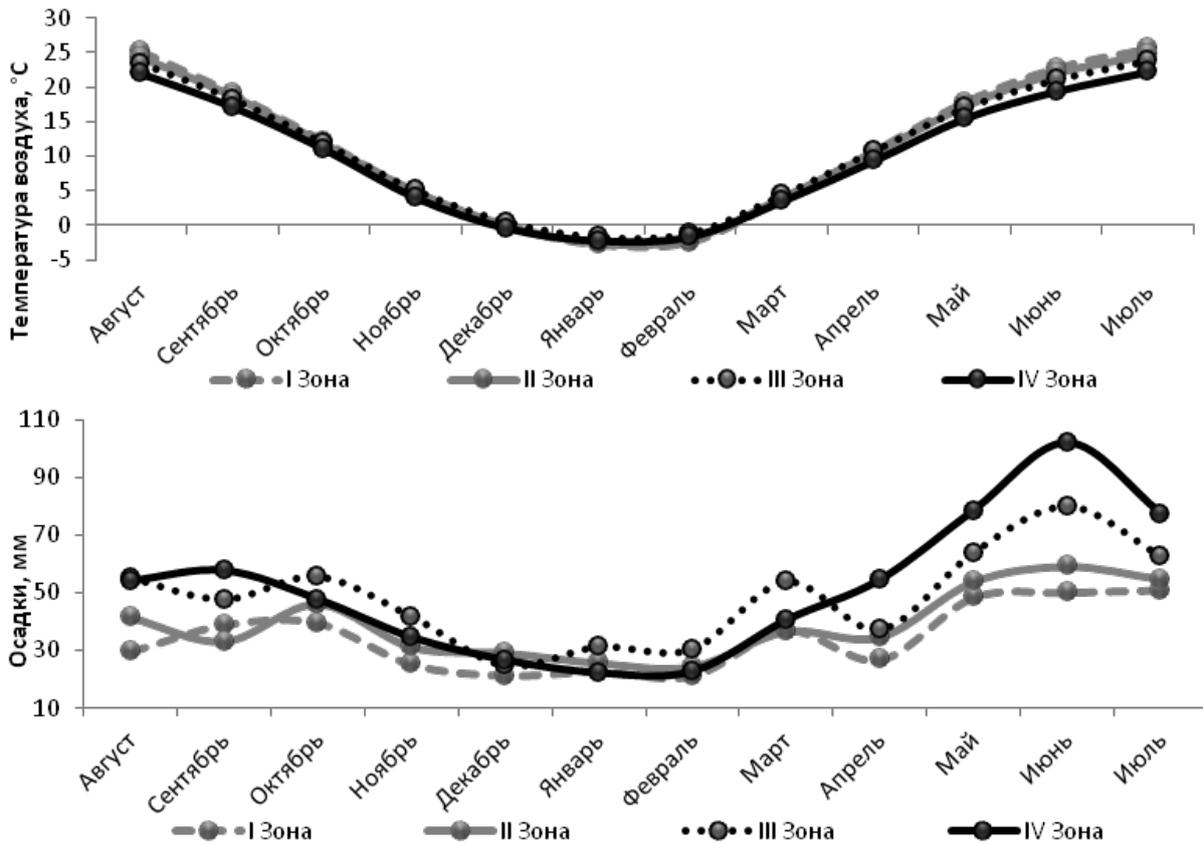


Рис. 2. Температура воздуха и количество осадков в почвенно-климатических зонах Ставропольского края (среднегодовое значение)

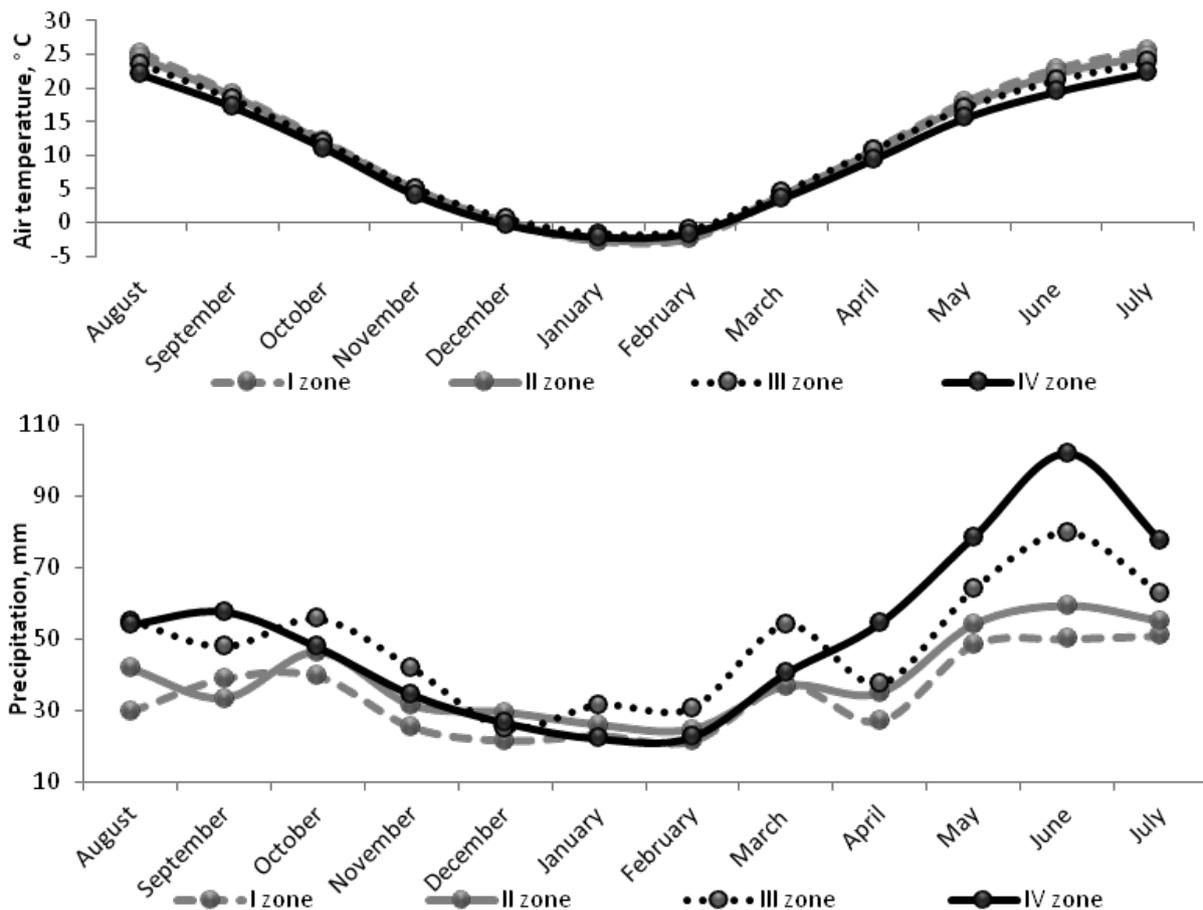


Fig. 2. Air temperature and precipitation in the soil and climatic zones of the Stavropol Territory (mean annual values)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что от зоны возделывания посевов озимой пшеницы зависят онтогенетические изменения NDVI. При улучшении условий выращивания (как в осенний период, так и в репродуктивный) увеличиваются значения NDVI. С момента возобновления весенней вегетации и до конца фазы трубкования отмечается выравнивание NDVI по почвенно-климатическим зонам края.

Это может быть обусловлено тем, что достаточная влажность почвы перед посевом способствует формированию более развитой биомассы, а следовательно, увеличивается площадь ассимиляционной поверхности. Данное превосходство сохраняется и в ранневесенний период (рис. 2).

Последующее развитие посевов озимой пшеницы происходит при хорошем водном режиме, так как в этот период еще не израсходована влага, накопленная за зимний период. При этом температурный режим в крайне засушливой и засушливой зонах выше, чем в III и IV. Такие

условия способствуют усиленному развитию растений, а следовательно, происходит выравнивание значений NDVI по почвенно-климатическим зонам в весенний период.

В конце IV и перед началом VIII этапов органогенеза наблюдается рост температурного режима, а также снижение запасов продуктивной влаги в почве, при этом в I зоне наблюдается плохое их восполнение за счет выпадающих осадков. Из-за этого происходит разделение посевов по мощности их развития и высоте растений в зависимости от почвенно-климатических условий [10]. Поэтому в максимальных значениях NDVI наблюдаются различия этого показателя в II, III и IV зонах по сравнению с крайне засушливой зоной. Более высокое значение NDVI в этот период в III зоне по сравнению с IV можно объяснить лучшим температурным режимом.

Полученная в ходе работы корреляционная связь урожайности с NDVI повышается с улучшением условий выращивания. Это может быть связано с тем, что действие факторов окружающей среды не позволяет реализовать

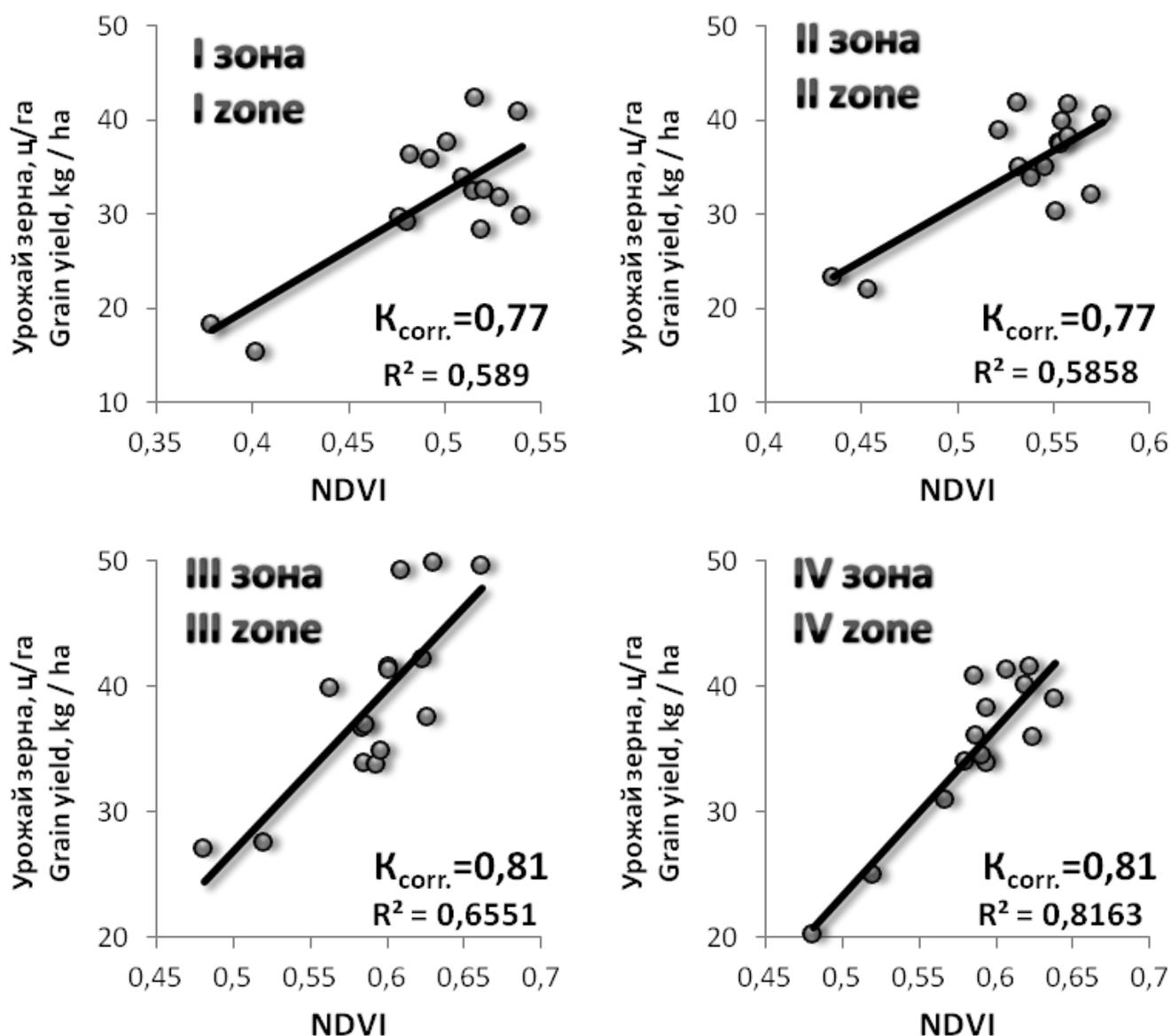


Рис. 3. Связь урожайности озимой пшеницы от среднего NDVI за вегетативно-генеративный период (2002–2017 гг.)  
Fig. 3. Connection of winter wheat yield from middle NDVI during the vegetative-generative period (2002–2017)

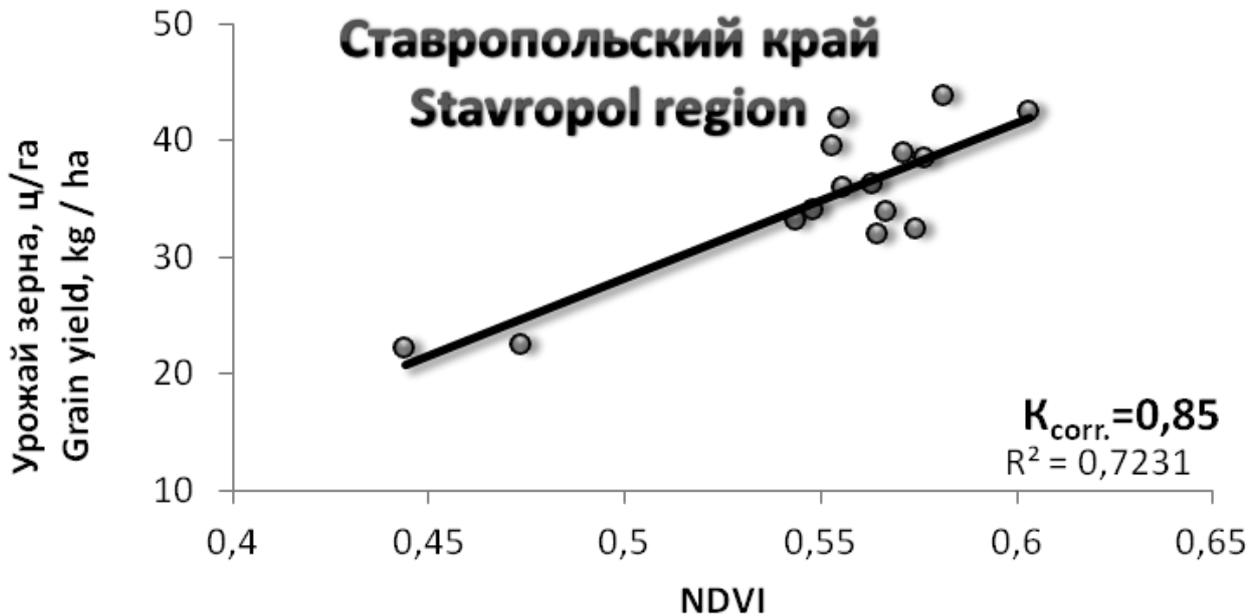


Рис. 4. Зависимости урожая зерна от среднего NDVI за вегетативно-генеративный период для Ставропольского края (2002–2017 гг.)  
Fig. 4. Dependencies of grain yield on average NDVI for the vegetative-generative period for the Stavropol Territory (2002–2017)

посевам в достаточной степени потенциал продуктивности, связанный с технологическими и генотипическими особенностями в таких условиях.

В ходе работы нами была построена регрессионная зависимость среднего NDVI за вегетативно-генеративный период от урожая зерна для всего Ставропольского края (рис. 4). Так  $K_{корр.}$  данной модели составил величину, равную 0,85,  $R^2$  – 0,72.

Генеративный период характеризуется четким разделением значений NDVI по ПЗК, которые зависят от погодных условий.

Таким образом, онтогенетические изменения вегетационного индекса посевов озимой пшеницы в различных ПЗК края зависят от условий выращивания.

По всем почвенно-климатическим зонам края были построены модели зависимости среднего NDVI от урожайности озимой пшеницы (рис. 3).  $R^2$  для данных моделей находятся в пределах от 0,59 до 0,82, а  $K_{корр.}$  – от 0,77 до 0,90 в зависимости от ПЗК Ставропольского края.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Использование данных ДЗЗ, рассчитанных по почвенно-климатическим зонам, существенно повышает сопряженность вегетационного индекса NDVI с продуктивностью посевов озимой пшеницы. Это дает возможность более точно прогнозировать урожайность для всего Ставропольского края.

#### Библиографический список

1. 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: материалы X Международной молодежной школы-конференции. Москва, 2017. С. 162–163.
2. Волкова Е. С. Использование ГИС-технологий в сельском хозяйстве Ставропольского края // Проблемы рационального природопользования и пути их решения: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГБОУ ВО «ДГТУ». Махачкала, 2018. С. 202–204.
3. Фомин Д. С., Чащин А. Н. Вегетационный индекс NDVI в оценке зерновых культур опытных полей Пермского НИИ-ИСХ // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (72). С. 39–42.
4. Буховец А. Г., Семин 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.
5. Федулов Ю. П., Подушин Ю. В., Мязина А. Н., Чухиль А. А., Сафонова Т. Г. Связь нормализованного индекса вегетации (NDVI) с урожайностью посевов озимой пшеницы // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 71-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2015 год. Краснодар, 2016. С. 106–107.
6. Осоргин Ю. В., Осоргина О. Н. Изучение взаимосвязи урожайности яровой пшеницы и индекса вегетации NDVI в условиях северного района оренбургской области на основе данных дистанционного зондирования Земли // Вклад молодых ученых в аграрную науку: материалы международной научно-практической конференции. Кинель, 2018. С. 122–124.

7. Терехин Э. А. Оценка сезонных значений вегетационного индекса (NDVI) для детектирования и анализа состояния посевов сельскохозяйственных культур // Исследование Земли из космоса. 2015. № 1. С. 23.
8. Сторчак И. Г. Прогноз урожайности озимой пшеницы с использованием вегетативного индекса NDVI для условий Ставропольского края: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук. Ставрополь, 2016. 22 с.
9. Кулинцев В. В., Годунова Е. И., Желнакова Л. И. [и др.] Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Ставрополь, 2013. 520 с.
10. Шестакова Е. О., Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г. Радиационный режим посевов озимой пшеницы в зависимости от основных элементов технологии возделывания в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Известия Горского государственного аграрного университета. 2018. Т. 55. № 3. С. 23–27.
11. Ерошенко Ф. В., Чередниченко И. Г. Регрессионные модели оценки урожайности озимой пшеницы в ставропольском крае с использованием NDVI // Бюллетень Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства. 2013. № 5. С. 58–64.

#### Об авторах:

Ирина Геннадьевна Сторчак<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела физиологии растений, +7 918 747-02-56, [sniish.storchak@gmail.com](mailto:sniish.storchak@gmail.com)

Федор Владимирович Ерошенко<sup>1</sup>, доктор биологических наук, заведующий отделом физиологии растений, +7 962 454-14-96, [yer-sniish@mail.ru](mailto:yer-sniish@mail.ru)

Елена Олеговна Шестакова<sup>1</sup>, аспирант отдела физиологии растений, +7 988 858-18-85, [shestakova.e.o@yandex.ru](mailto:shestakova.e.o@yandex.ru)

<sup>1</sup>Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

## Features of the dynamics of the vegetation index of ndvi in different soil-climatic zones of the Stavropol territory

I. G. Storchak<sup>1</sup>✉, F. V. Eroshenko<sup>1</sup>, E. O. Shestakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>North-Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia

✉E-mail: [sniish.storchak@gmail.com](mailto:sniish.storchak@gmail.com)

**Abstract.** Currently, in the agricultural sector, research results are being actively used to predict crop yields using Earth remote sensing data. It is known that the resulting regression models depend on soil and climatic conditions of cultivation. In order to determine the degree of development and condition of plants, you can use the vegetation index NDVI. The advantage of this method is the objectivity of the estimates, and the ability to apply them to large areas. Unfortunately, studies of the influence of soil-climatic zones (CLC) of cultivation on the relationship between the yield of winter wheat and Earth remote sensing data are practically not conducted. The aim of the work was to identify the influence of the conditions of various soil-climatic zones of the Stavropol Territory on the features of the connections of Earth remote sensing data with the productivity of winter wheat crops. The studies were carried out on the basis of the FSUE “North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center”. The objects of research were crops of winter wheat of the Stavropol Territory. In the course of work, the statistical data of the Ministry of Agriculture of the Stavropol Territory was used. The NDVI vegetation index was obtained using the VEGA service of the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. The relationship between NDVI and winter wheat yield for the soil and climatic zones of the Stavropol Territory has been established. The resulting models have a high degree of confidence (the coefficient of approximation is within 0.5–90.82, the correlation coefficient is 0.77–0.90). The regression model of the connection of the average NDVI for the vegetative-generative period and the grain yield of the Stavropol Territory, built using data from soil-climatic zones, has a fairly high accuracy (correlation coefficient 0.82, approximation coefficient 0.72). The use of Earth remote sensing data calculated by soil and climatic zones significantly increases the correlation between the NDVI vegetation index and the productivity of winter wheat sowing. This makes it possible to more accurately predict the yield for the entire Stavropol Territory.

**Keywords:** winter wheat, regression models, NDVI vegetation index, soil-climatic zone, yield.

**For citation:** Storchak I. G., Eroshenko F. V., Shestakova E. O. Osobennosti dinamiki vegetatsionnogo indeksa NDVI v razlichnykh pochvenno-klimaticheskikh zonakh Stavropol'skogo kraja [Features of the dynamics of the vegetation index of NDVI in different soil-climatic zones of the Stavropol territory] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 9 (188). Pp. 12–18. DOI: 10.32417/article\_5daf47c545e434.25766589. (In Russian.)

#### References

1. Yolkina E. S., Bartalev S. A., Tolpin V. A., Lupyan E. A. Vozmozhnosti servisa sputnikovogo monitoringa VEGA [Possibilities of satellite monitoring service VEGA] // Sovremennyye podkhody k izucheniyu ekologicheskikh problem v fizicheskoy i sotsial'no-ekonomicheskoy geografii: materialy X Mezhdunarodnoy molodezhnoy shkoly-konferentsii. Moscow, 2017. Pp. 162–163. (In Russian.)

2. Volkova E. S. Ispol'zovaniye GIS-tekhnologiy v sel'skom khozyaystve Stavropol'skogo kraya [The use of GIS technology in agriculture of the Stavropol Territory] // Problemy ratsional'nogo prirodopol'zovaniya i puti ikh resheniya: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 45-letiyu FGBOU VO "DGTU". Makhachkala, 2018. Pp. 202–204. (In Russian.)
3. Fomin D. S., Chashchin A. N. Vegetatsionnyy indeks NDVI v otsenke zernovykh kul'tur opytnykh poley Permskogo NIISKH [Vegetation index NDVI in the assessment of grain crops from experimental fields of the Perm Research Institute of Agriculture] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. No. 4 (72). Pp. 39–42. (In Russian.)
4. Bukhovets A. G., Semin E. A., Kostenko E. I., Yablonovskaya S. I. Modelirovaniye dinamiki vegetatsionnogo indeksa NDVI ozimoy pshenitsy v usloviyakh TSFO [Modeling the dynamics of the vegetative index of NDVI for winter wheat under the conditions of the Central Federal District] // Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2018. No. 2 (57). Pp. 186–199. (In Russian.)
5. Fedulov Yu. P., Podushin Yu. V., Myazina A. N., Chukhil' A. A., Safonova T. G. Svyaz' normalizovannogo indeksa vegetatsii (NDVI) s urozhaynost'yu posevov ozimoy pshenitsy [Communication of the normalized vegetation index (NDVI) with the yield of winter wheat crops] // Nauchnoye obespecheniye agropromyshlennogo kompleksa: sbornik statey po materialam 71-y nauchno-prakticheskoy konferentsii prepodavateley po itogam NIR za 2015 god. Krasnodar, 2016. Pp. 106–107. (In Russian.)
6. Osorgin Yu. V., Osorgina O. N. Izucheniye vzaimosvyazi urozhaynosti yarovoy pshenitsy i indeksa vegetatsii NDVI v usloviyakh severnogo rayona orenburgskoy oblasti na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Study of the relationship between the yield of spring wheat and the NDVI vegetation index in the northern area of the Orenburg region based on the Earth remote sensing data] // Vklad molodykh uchenykh v agrarnuyu nauku materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kinel', 2018. Pp. 122–124. (In Russian.)
7. Terekhin E. A. Evaluation of the seasonal values of the vegetation index (NDVI) for the detection and analysis of the state of crops of crops // Earth Observation and Remote Sensing. 2015. No. 1. Pp. 23. (In Russian.)
8. Storchak I. G. Prognoz urozhaynosti ozimoy pshenitsy s ispol'zovaniyem vegetativnogo indeksa NDVI dlya usloviy Stavropol'skogo kraya: avtoreferat dis. ... kand. s.-kh. Nauk [Forecast of winter wheat yield using the vegetative NDVI index for the conditions of the Stavropol Territory: abstract of dis. ... candidate of agricultural sciences]. Stavropol, 2016. 22 p. (In Russian.)
9. Kulintsev V. V., Godunova E. I., Zhelnakova L. I. [et al.] Sistema zemledeliya novogo pokoleniya Stavropol'skogo kraya [Farming system of the new generation of the Stavropol Territory]. Stavropol, 2013. 520 p. (In Russian.)
10. Shestakova E. O., Eroshenko F. V., Storchak I. G. Radiatsionnyy rezhim posevov ozimoy pshenitsy v zavisimosti ot osnovnykh elementov tekhnologii vozdeleyvaniya v zone neustoychivogo uvlazhneniya Stavropol'skogo kraya [Radiation regime of winter wheat sowing, depending on the main elements of the cultivation technology in the zone of unstable moistening of the Stavropol Territory] // Journal of proceedings of the Gorsky State Agrarian University. 2018. T. 55. No. 3. Pp. 23–27. (In Russian.)
11. Eroshenko F. V., Cherednichenko I. G. Regressionnyye modeli otsenki urozhaynosti ozimoy pshenitsy v stavropol'skom kraye s ispol'zovaniyem NDVI [Regression models for estimating the yield of winter wheat in the Stavropol region using NDVI] // Byulleten' Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sel'skogo khozyaystva. 2013. No. 5. Pp. 58–64. (In Russian.)

#### Authors' information:

Irina G. Storchak<sup>1</sup>, candidate of agricultural sciences, senior research fellow of Department of Plant Physiology, +7 918 747-02-56, [sniish.storchak@gmail.com](mailto:sniish.storchak@gmail.com)

Fedor V. Eroshenko<sup>1</sup>, doctor of biological sciences, head of Department of Plant Physiology, +7 962 454-14-96, [yer-sniish@mail.ru](mailto:yer-sniish@mail.ru)

Elena O. Shestakova<sup>1</sup>, post-graduate student of Department of Plant Physiology, +7 988 858-18-85, [shestakova.e.o@yandex.ru](mailto:shestakova.e.o@yandex.ru)  
<sup>1</sup>North-Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia