

## Эффективность фосфоритования черноземных почв северной лесостепи Курганской области

Т. И. Кобякова<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Станция агрохимической службы «Шадринская», Шадринск, Россия

✉E-mail: agrohim\_45\_2@mail.ru

**Аннотация.** Исследования по оценке эффективности применения фосфоритной муки в четырехпольном зернопаровом севообороте в условиях северной лесостепи Курганской области проводились в 2014–2018 гг. в условиях производственного опыта, заложенного на полях ООО «Рассвет» Шадринского района в 2015 г. Целью исследований являлась оценка эффективности применения фосфоритной муки на черноземных почвах в зернопаровом севообороте в условиях северной лесостепной зоны Курганской области. Черноземы выщелоченные ООО «Рассвет» Шадринского района Курганской области характеризуются преимущественно слабокислой реакцией среды и средним содержанием гумуса. Содержание подвижного фосфора низкое, содержание обменного калия повышенное. Внесение фосфоритной муки позволяет, с одной стороны, стабилизировать кислотно-основное состояние почвы, а с другой стороны – оптимизировать содержание подвижного фосфора. По результатам исследований 2015–2018 гг. применение фосфоритной муки в почвенно-климатических условиях северной лесостепи Зауралья на черноземных почвах с  $pH_{\text{сол}} < 5,5$  единиц и содержанием подвижного фосфора в пересчете на  $P_2O_5$  менее 50 мг/кг в норме 0,6 т/га однократно за ротацию зернопарового севооборота обеспечивает прибавку урожайности в среднем на 4,1 %. При этом гидролитическая кислотность снижается на 8,8 %, а сумма поглощенных оснований увеличивается на 7,5 %. Внесение фосфоритной муки обеспечивает повышение содержания белка на 34 %, клейковины – на 30 % по сравнению с контролем. Целесообразно дальнейшие исследования вести в направлении увеличения нормы внесения фосфоритной муки до 2–2,5 т/га однократно за ротацию севооборота.

**Ключевые слова:** гидролитическая кислотность, плодородие, подвижный фосфор, фосфоритование, яровая пшеница, белок, клейковина.

**Для цитирования:** Кобякова Т. И. Эффективность фосфоритования черноземных почв северной лесостепи Курганской области // Аграрный вестник Урала. 2019. № 9 (188). С. 8–11.

**Дата поступления статьи:** 16.07.2019.

### Постановка проблемы (Introduction)

Одной из важнейших задач современного земледелия является воспроизводство и рациональное использование плодородия почвы. Агрохимические исследования направлены на обеспечение оптимального круговорота биогенных элементов в агроэкосистемах, улучшение агрохимических свойств почвы. Химическая мелиорация позволяет существенно повысить плодородие почв, регулируя кислотно-основное состояние и баланс элементов питания [1, 2, 3, 4].

Степень кислотности почвы и содержание подвижного фосфора относятся к числу важнейших показателей плодородия, определяющих в конечном итоге продуктивность сельскохозяйственных культур в агроценозе.

Для северной лесостепной зоны Зауралья актуальна проблема увеличения площади черноземных почв, в которых наряду с прогрессирующим подкислением отмечается снижение уровня содержания подвижного фосфора [5, 6, 7].

По данным исследований ФГБУ САС «Шадринская», на территории центральной и северо-западной агроклиматических зон Курганской области 104,4 тыс. га пашни на фоне кислой реакции среды характеризуются низким и очень низким содержанием подвижного фосфора и нуждаются в проведении фосфоритования [8]. Анализ использования средств химизации показывает, что в период

с 2013 по 2017 гг. ежегодно фосфоритование проводится на площади 10 тыс. га пашни, что крайне недостаточно. При этом научно обоснованных данных об эффективности фосфоритования черноземных почв в северной лесостепной зоне Зауралья недостаточно. Для фосфоритования экономически наиболее целесообразно использовать фосфоритную муку [9].

### Методология и методы исследования (Methods)

Целью исследований является оценка эффективности применения фосфоритной муки на черноземных почвах в зернопаровом севообороте в условиях северной лесостепной зоны Курганской области.

Исследования по оценке эффективности применения фосфоритной муки в четырехпольном зернопаровом севообороте в условиях северной лесостепи Курганской области проводились в 2014–2018 гг. в условиях производственного опыта, заложенного на полях ООО «Рассвет» Шадринского района.

Климат северной лесостепи Курганской области континентальный. Основные его особенности – холодная продолжительная малоснежная зима и короткое, но жаркое с периодически повторяющимися засухами лето. Переходные периоды (весна, осень) короткие. Ветреная погода весной способствует потере значительного количества влаги и иссушению почвы [10].

Таблица 1

## Влияние фосфоритной муки на агрохимические показатели чернозема выщелоченного

Вариант	pH <sub>сол</sub>	H <sub>r</sub>	S	V, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %
		ммоль / 100 г почвы			мг/кг почвы		
2015 год							
Контроль	5,1	4,04	35,0	89,6	34,1	139,0	5,3
Фосфоритная мука, 0,6 т/га	5,1	4,08	34,6	87,8	35,5	140,1	5,1
HCP <sub>05</sub>	0,2	0,13	0,9	–	1,8	1,9	0,2
2018 год							
Контроль	5,1	3,98	34,4	89,6	30,3	135,6	5,2
Фосфоритная мука, 0,6 т/га	5,2	3,72	37,2	90,9	36,9	133,1	5,2
HCP <sub>05</sub>	0,2	0,09	1,2	–	2,3	2,3	0,2

Table 1

## The effect of phosphate rock on the agrochemical properties of leached chernozem

Variant	pH of salt extract	Hydrolytic acidity	S	V, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Gumus, %
		mmol / 100 g of soil			mg/kg of soil		
2015							
Control	5.1	4.04	35.0	89.6	34.1	139.0	5.3
Phosphate flour, 0.6 t/ha	5.1	4.08	34.6	87.8	35.5	140.1	5.1
HCP <sub>05</sub>	0.2	0.13	0.9	–	1.8	1.9	0.2
2018							
Контроль	5.1	3.98	34.4	89.6	30.3	135.6	5.2
Phosphate flour, 0.6 t/ha	5.2	3.72	37.2	90.9	36.9	133.1	5.2
HCP <sub>05</sub>	0.2	0.09	1.2	–	2.3	2.3	0.2

Таблица 2

## Влияние фосфоритной муки на урожайность яровой пшеницы (в среднем в 2016–2018 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Белок, %	Клейковина, %
Контроль	2,89	9,1	16,2
Фосфоритная мука, 0,6 т/га	3,01	12,2	21,1
HCP <sub>05</sub>	0,09	2,0	3,9

Table 2

## The effect of phosphate flour on the yield of spring wheat (on average in 2016–2018)

Variant	Productivity, t/ha	Protein, %	Gluten, %
Control	2.89	9.1	16.2
Phosphate flour, 0.6 t/ha	3.01	12.2	21.1
HCP <sub>05</sub>	0.09	2.0	3.9

Производственный опыт был заложен в 2015 году. Почва производственного опыта – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднегумусный среднемощный. Фосфоритная мука в норме 0,6 т/га в физическом весе была внесена под основную обработку единоразово в 2015 году. Сравнение проводилось с контрольным вариантом, где фосфоритная мука не вносилась. В вариантах опыта в качестве фона ежегодно вносились азотные удобрения (30 кг/га действующего вещества азота). Агротехника в опыте общепринятая для северной лесостепной зоны Курганской области.

Отбор проб почв проводился в соответствии с ГОСТ 28168-89 из пахотного слоя (0–20 см) по вариантам опыта ежегодно в трехкратной повторности. Общее содержание гумуса определялось по Тюрину (ГОСТ 26213-91), обменная кислотность (pH<sub>сол</sub>) – потенциометрически по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85), гидролитическая кислотность (H<sub>r</sub>) – по Каппену (ГОСТ 26212-91), содержание подвижных соединений фосфора и калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91), сумма поглощенных оснований (S) – по методу Каппена (ГОСТ 27821-88), степень насыщенности почвы основаниями (V) рассчитывалась на основании величин гидролитической кислотности и суммы поглощенных оснований.

**Результаты (Results)**

Черноземы выщелоченные ООО «Рассвет» Шадринского района Курганской области характеризуются преимущественно слабокислой реакцией среды и средним содержанием гумуса. Содержание подвижного фосфора низкое, содержание обменного калия повышенное (таблица 1).

Внесение фосфоритной муки позволяет, с одной стороны, стабилизировать кислотно-основное состояние почвы, а с другой стороны – оптимизировать содержание подвижного фосфора. Фосфор способствует формированию корневой системы, повышает интенсивность кущения зерновых, ускоряет созревание растений. Внесение фосфоритной муки в норме 0,6 т/га пашни привело к достоверному снижению гидролитической кислотности и повышению суммы поглощенных оснований, что обеспечило повышение степени насыщенности почвы основаниями (таблица 1).

Внесение фосфоритной муки обеспечило достоверную прибавку урожая яровой пшеницы на уровне 0,12 т/га по сравнению с контролем. При этом отмечено повышение качества зерна: содержание белка повысилось с 9,1 до 12,2 %, содержание клейковины повысилось с 16,2 до 21,1 % по сравнению с контролем (таблица 2).

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

Применение фосфоритной муки в почвенно-климатических условиях северной лесостепи Зауралья на черноземных почвах с  $pH_{\text{сол}} < 5,5$  единиц и содержанием подвижного фосфора в пересчете на  $P_2O_5$  менее 50 мг/кг в норме 0,6 т/га однократно за ротацию зернопарового севооборота обеспечивает прибавку урожайности в среднем на 4,1 %. При этом гидролитическая кислотность снижается на 8,8 %, а сумма поглощенных оснований увеличивается на 7,5 %. Целесообразно дальнейшие исследования вести в направлении увеличения нормы внесения фосфоритной муки до 2–2,5 т/га однократно за ротацию севооборота.

**Библиографический список**

1. Каренгина Л. Б., Байкенова Ю. Г. К методике расчета комплексного агрохимического окультуривания полей // Аграрный вестник Урала. 2016. № 8 (150). С. 31–37.
2. Чекмарев П. А., Лукманов А. А., Владимиров К. В. Подвижный фосфор и его баланс в пахотных почвах Республики Татарстан // Мир инноваций. 2015. № 1-4. С. 1–8.
3. Еремин Д. И. Сохранение плодородия сибирских черноземов как неотъемлемая часть продовольственной безопасности страны // Агропродовольственная политика России. 2017. № 10 (70). С. 83–89.
4. Небытов В. Г. Влияние фосфорных удобрений на урожайность культур в севообороте на черноземе в Орловской области // Инновационный путь развития предприятий АПК: сборник научных трудов по материалам XL международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава. 2017. С. 41–45.
5. Стекольников К. Е., Горб И. С., Кольцова О. М. Влияние длительного применения удобрений и мелиоранта на кислотно-основный режим чернозема выщелоченного // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. № 4. С. 22–31.
6. Плотников А. М. Агрохимические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность зерновых культур под влиянием удобрений и химических мелиорантов в условиях Зауралья // Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 4 (28). С. 30–35.
7. Кобякова Т. И., Уфимцева Л. В. Оценка показателей плодородия почв сельскохозяйственных угодий северной лесостепи Зауралья // Агрохимический вестник. 2018. № 5. С. 2–5.
8. Кобякова Т. И., Уфимцева Л. В. Динамика кислотности черноземных почв северной лесостепи Курганской области // Агрохимический вестник. 2017. Т. 5. № 5. С. 34–36.
9. Кирпичников Н. А., Чернышкова Л. Б. Научное обоснование применения фосфоритной муки в условиях многолетнего полевого опыта // Плодородие. 2017. № 5 (98). С. 20–23.
10. Системы удобрения в агротехнологиях Зауралья / О. В. Волынкина [и др.]. Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. 284 с.

**Об авторах:**

Татьяна Ивановна Кобякова<sup>1</sup>, кандидат биологических наук, директор, +7 912 834-22-21, [agrohim\\_45\\_2@mail.ru](mailto:agrohim_45_2@mail.ru)  
<sup>1</sup>Станция агрохимической службы «Шадринская», Шадринск, Россия

## Efficiency of phosphorition of the chernozem soils of northern forest-steppe of Kurgan region

T. I. Kobyakova<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Station of agrochemical service “Shadrinskaya”, Shadrinsk, Russia

✉E-mail: [agrohim\\_45\\_2@mail.ru](mailto:agrohim_45_2@mail.ru)

**Abstract.** Studies assessing the effectiveness of the use of phosphorition in a four-field grain-pair crop rotation under the conditions of the northern forest-steppe of the Kurgan region were conducted in 2014–2018 in the “Rassvet”. Evaluation of the effectiveness of the use of phosphorition of chernozem soils in grain-pair crop rotation under the conditions of the

northern forest-steppe zone of the Kurgan region was the purpose of the research. The leached chernozems of “Rassvet” of the Shadrinskiy district of the Kurgan region are characterized mainly by a weak acid reaction and an average humus content. The content of mobile phosphorus is low, the content of exchangeable potassium is high. The use of phosphorition allows stabilizing the acid-base condition of the soil and optimizing the content of mobile phosphorus. In 2015–2018, the use of phosphorition under conditions of the northern forest steppe of the Trans-Urals on chernozem soils with  $\text{pH}_s < 5.5$  units and mobile phosphorus content in terms of  $\text{P}_2\text{O}_5$  less than 50 mg/kg in the norm of 0.6 t/ha once for the rotation of grain-pair crop rotation provides yield increase by an average of 4.1 %. At the same time, the hydrolytic acidity decreases by 8.8 %, and the amount of absorbed bases increases by 7.5 %. The use of phosphate rock provides an increase in the protein content by 34 %, gluten by 30 % compared with the control. It is advisable to conduct further research in the direction of an increase in the rate of introduction of phosphate rock to 2–2.5 t/ha once for the rotation of the crop rotation.

**Keywords:** hydrolytic acidity, fertility, mobile phosphorus, phosphorition, spring wheat, protein, gluten.

**For citation:** Kobyakova T. I. Effektivnost' fosforitovaniya chernozemnykh pochv severnoy lesostepi Kurganskoj oblasti [Efficiency of phosphorition of the chernozem soils of northern forest-steppe of Kurgan region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 9 (188). Pp. 8–11. DOI: ... (In Russian.)

### References

1. Karengina L. B., Baikenova Yu. G. K metodike rascheta kompleksnogo agrokhimicheskogo okul'turivaniya poley [To the method of calculating the complex agrochemical cultivation of fields] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. No. 8 (150). Pp. 31–37. (In Russian.)
2. Chekmarev P. A., Lukmanov A. A., Vladimirov K. V. Podvizhnyy fosfor i ego balans v pakhotnykh pochvakh Respubliki Tatarstan [Mobile phosphorus and its balance in arable soils of the Republic of Tatarstan] // World of Innovation. 2015. No. 1–4. Pp. 1–8. (In Russian.)
3. Eremin D. I. Sokhraneniye plodorodiya sibirskikh chernozemov kak neotyemlemaya chast' prodovol'stvennoy bezopasnosti strany [Preservation of fertility of the Siberian chernozem, as an integral part of the country's food security] // Agro-food policy in Russia. 2017. No. 10 (70). Pp. 83–89. (In Russian.)
4. Nebytov V. G. Vliyaniye fosfornykh udobreniy na urozhaynost' kul'tur v sevooborote na chernozeme v Orlovskoy oblasti [Influence of phosphate fertilizers on crop yields in crop rotation on the chernozem in the Oryol region] // Innovatsionnyy put' razvitiya predpriyatiy APK: sbornik nauchnykh trudov po materialam XL mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava. 2017. Pp. 41–45. (In Russian.)
5. Stekolnikov K. E., Gorb I. S., Koltsova O. M. Vliyaniye dlitel'nogo primeneniya udobreniy i melioranta na kislotno-osnovnyy rezhim chernozema vshchelochennogo [The effect of long-term use of fertilizers and improver on the acid-base regime of leached chernozem] // Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2013. No. 4. Pp. 22–31. (In Russian.)
6. Plotnikov A. M. Agrokhimicheskiye svoystva chernozema vshchelochennogo i produktivnost' zernovykh kul'tur pod vliyaniem udobreniy i khimicheskikh meliorantov v usloviyakh Zaural'ya [Agrochemical properties of leached chernozem and productivity of grain crops under the influence of fertilizers and chemical ameliorants in the conditions of Zauralye] // Vestnik Kurganskoj gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2018. No. 4 (28). Pp. 30–35. (In Russian.)
7. Kobyakova T. I., Ufimtseva L. V. Otsenka pokazateley plodorodiya pochv sel'skokhozyaystvennykh ugodiy severnoy lesostepi Zaural'ya [Evaluation of soil fertility indicators of agricultural lands of the northern forest steppe of Zauralye] // Agrochemical Herald. 2018. No. 5. Pp. 2–5. (In Russian.)
8. Kobyakova T. I., Ufimtseva L. V. Dinamika kislotnosti chernozemnykh pochv severnoy lesostepi Kurganskoj oblasti [Dynamics of acidity of chernozem soils of the northern forest-steppe of the Kurgan region] // Agrochemical Herald. 2017. Vol. 5. No. 5. Pp. 34–36. (In Russian.)
9. Kirpichnikov N. A., Chernyshkova L. B. Nauchnoye obosnovaniye primeneniya fosforitnoy muki v usloviyakh mnogoletnego polevogo opyta [Scientific substantiation of the use of phosphate rock under the conditions of many years of field experience] // Plodorodie. 2017. No. 5 (98). Pp. 20–23. (In Russian.)
10. Sistemy udobreniya v agrotekhnologiyakh Zaural'ya [Fertilizer systems in Zauralye agrotechnologies] / O. V. Volynkina [et al.]. Kurtamysh: OOO “Kurtamyshskaya tipografiya”, 2017. 284 p. (In Russian.)

### Authors' information:

Tat'yana I. Kobyakova, candidate of biological sciences, director, +7 912 834-22-21, [agrohimp\\_45\\_2@mail.ru](mailto:agrohimp_45_2@mail.ru)

<sup>1</sup>Station of agrochemical service “Shadrinskaya”, Shadrinsk, Russia



## 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.

**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).

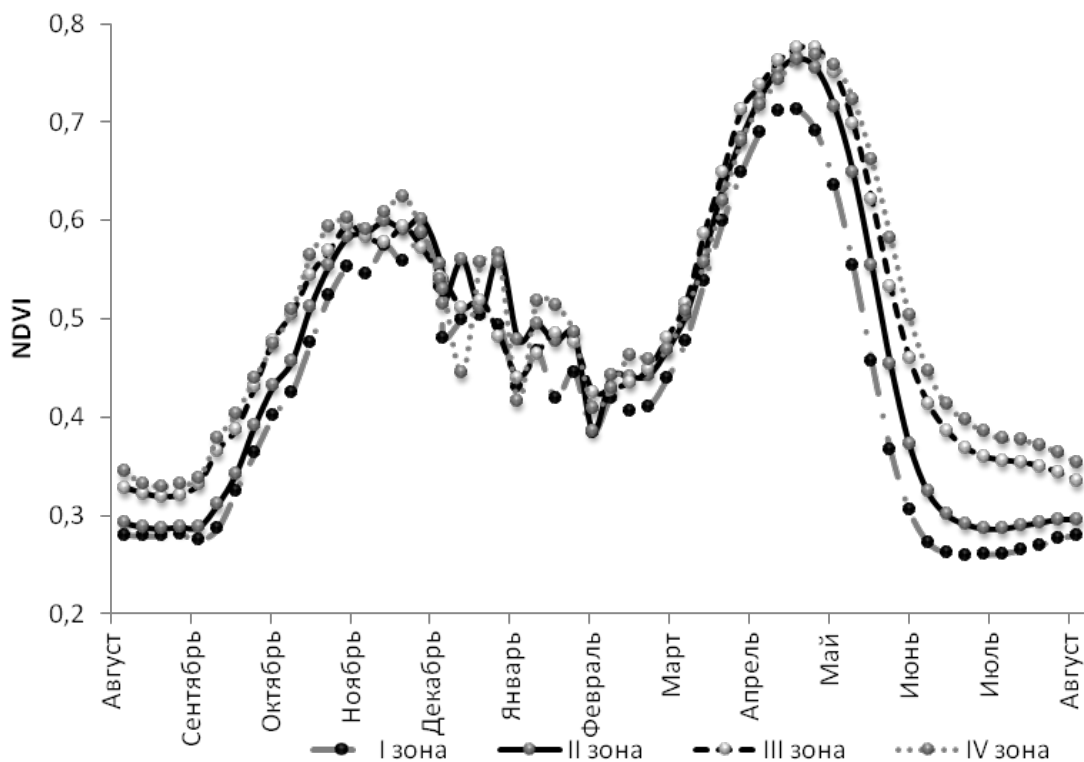


Рис. 1. Ход динамики вегетационного индекса озимой пшеницы

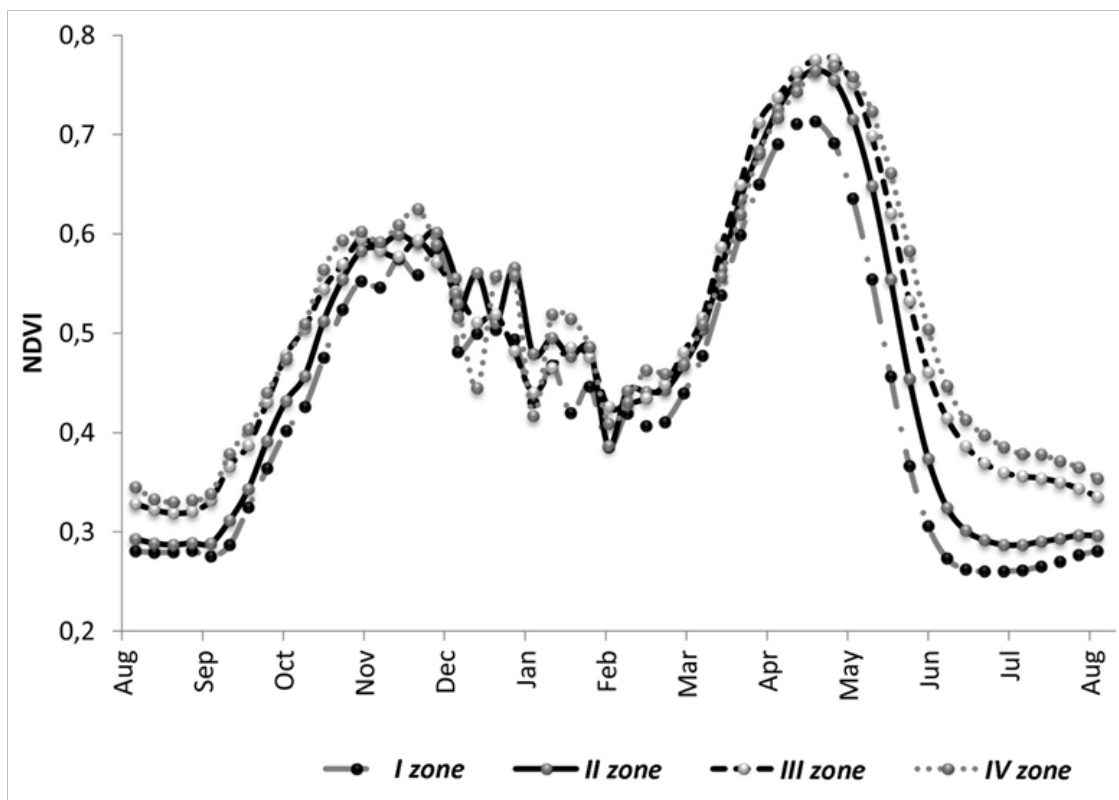


Fig. 1. The course of the dynamics of the vegetative index of winter wheat

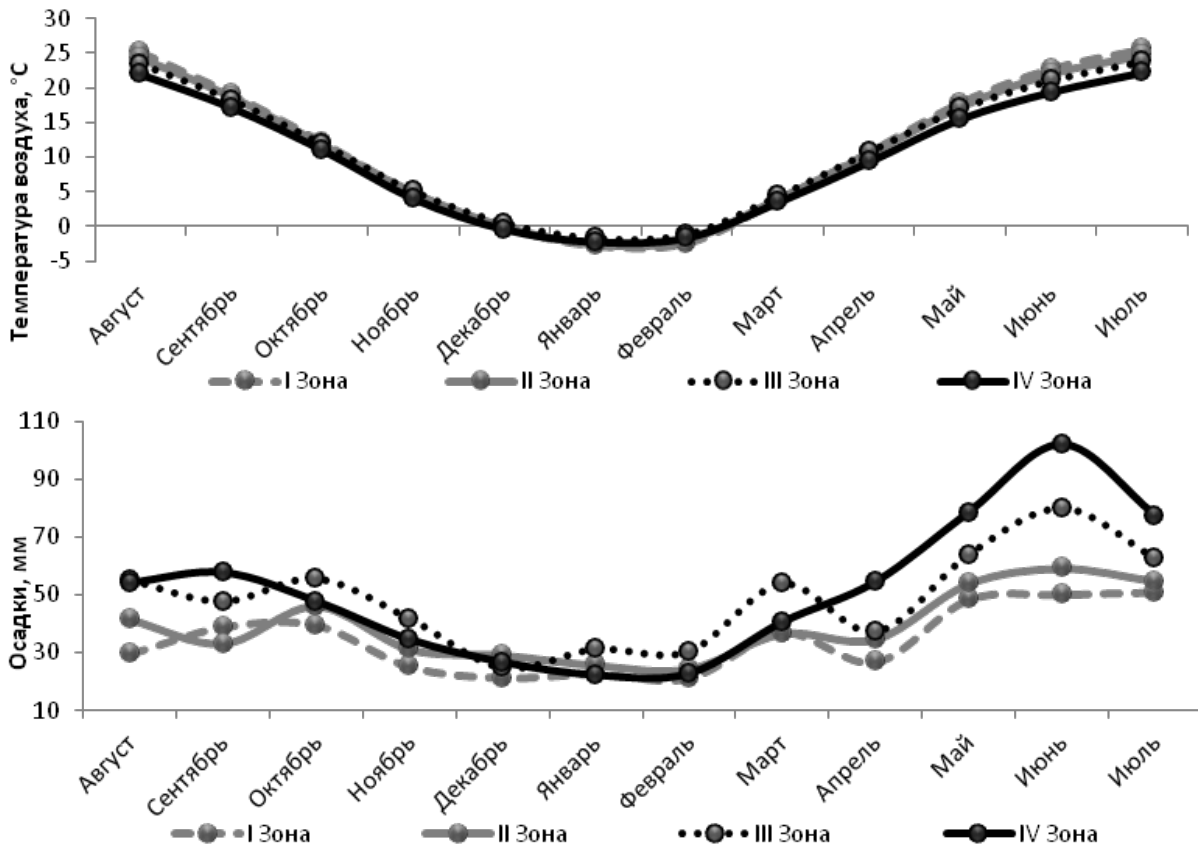


Рис. 2. Температура воздуха и количество осадков в почвенно-климатических зонах Ставропольского края (среднегодовое значение)

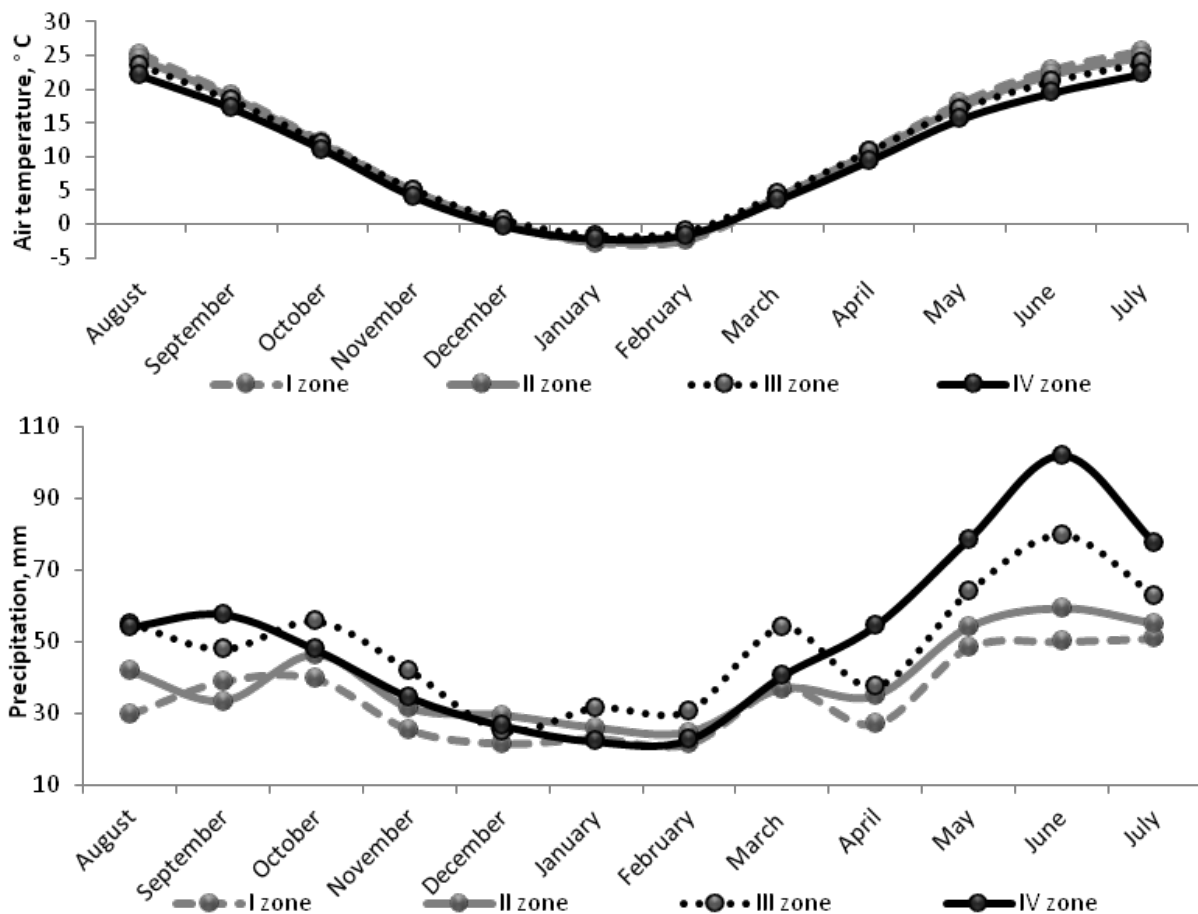


Fig. 2. Air temperature and precipitation in the soil and climatic zones of the Stavropol Territory (mean annual values)

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

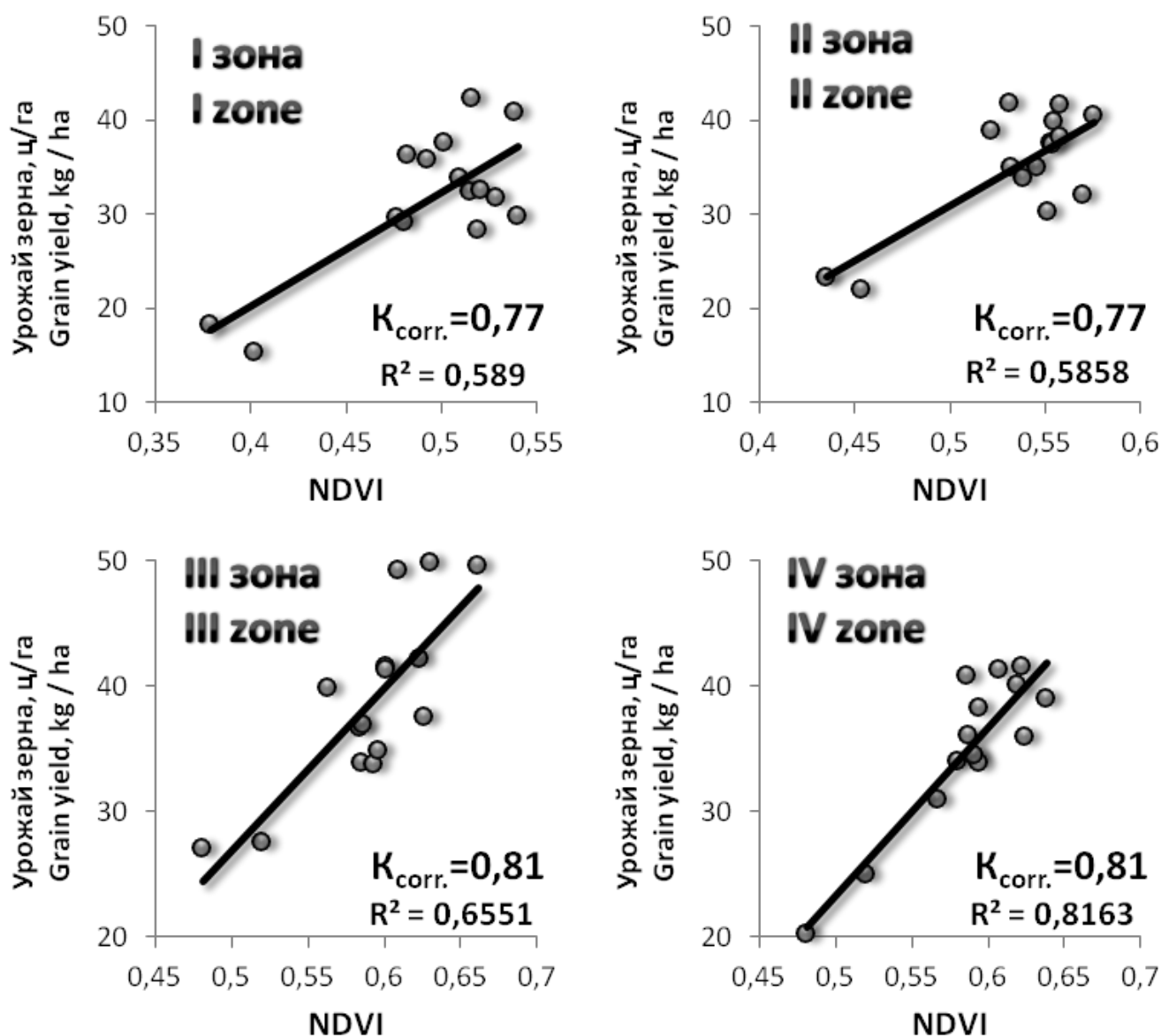


Рис. 3. Связь урожайности озимой пшеницы от среднего NDVI за вегетативно-генеративный период (2002–2017 гг.)  
Fig. 3. Connection of winter wheat yield from middle NDVI during the vegetative-generative period (2002–2017)



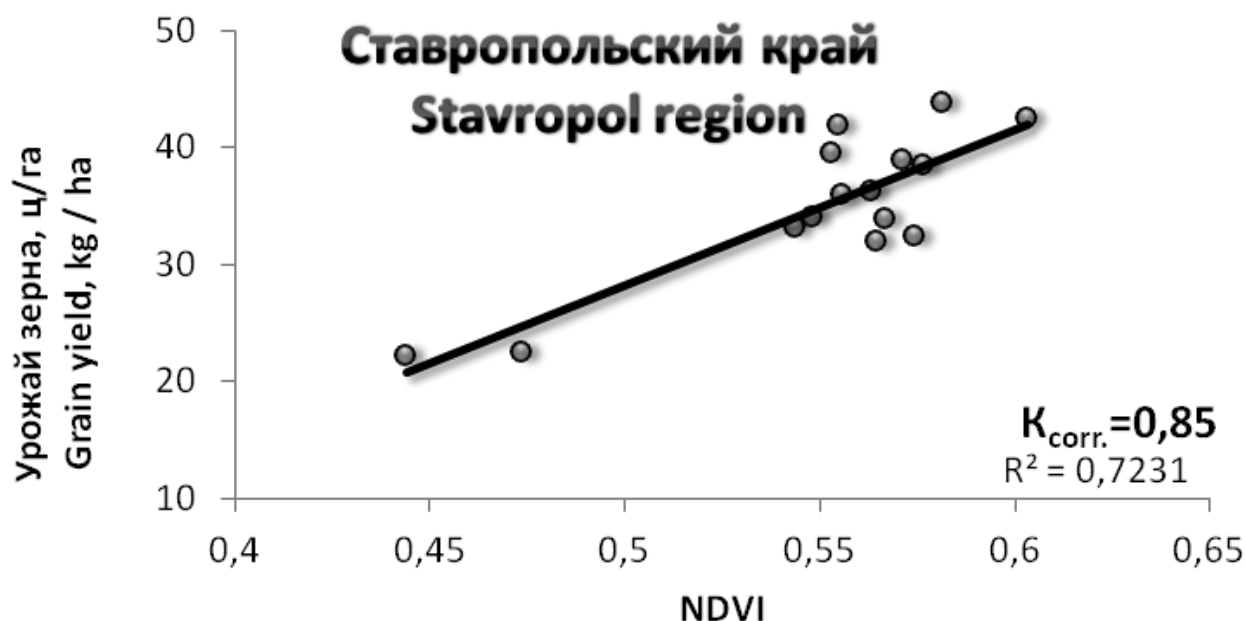


Рис. 4. Зависимости урожая зерна от среднего NDVI за вегетативно-генеративный период для Ставропольского края (2002–2017 гг.)  
Fig. 4. Dependencies of grain yield on average NDVI for the vegetative-generative period for the Stavropol Territory (2002–2017)

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., Чашин 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 kraya [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: ... (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