

СВЯЗЬ УРОЖАЙНОСТИ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ С NDVI ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПОЛЕЙ

И. Г. СТОРЧАК, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник,

Е. О. ШЕСТАКОВА, аспирант,

Ф. В. ЕРОШЕНКО, доктор биологических наук, заведующий отделом,

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр

(356241, г. Михайловск, Ставропольский край, ул. Никонова, д. 49; e-mail: sniish.storchak@gmail.com, shestakova.e.o@yandex.ru, yer-sniish@mail.ru)

Ключевые слова: озимая пшеница, сорт, предшественник, уровень минерального питания, сроки сева, нормы высева, вегетационный индекс, NDVI.

В настоящее время как в России, так и за рубежом стали использовать данные дистанционного зондирования Земли, в том числе NDVI, для оценки продуктивности сельскохозяйственных культур. Эти данные получены для больших территорий, таких как край, область и район. К сожалению, мало работ, посвященных изучению данного направления исследований для отдельных полей. Целью работы было установить взаимосвязи урожайности с NDVI посевов для отдельных полей озимой пшеницы. Работу выполняли в 2015–2017 гг. в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Объектом исследований были посевы озимой пшеницы с различными элементами технологии возделывания (сорта, предшественники, уровень минерального питания, сроки сева и нормы высева). В наших опытах урожайность озимой пшеницы на предшественнике пар в среднем по сортам составила 51,3 ц/га, на предшественнике озимая пшеница – 34,4 ц/га. Улучшение условий минерального питания на предшественнике пар способствовало увеличению урожайности озимой пшеницы на 31 %, а на предшественнике озимая пшеница – на 35 %. Изучение влияния сроков сева на урожайность озимой пшеницы показало, что в среднем по сортам за 2015–2017 гг. наибольшая урожайность была сформирована на оптимальном сроке сева – 46,4 ц/га. Элементы технологии возделывания, такие как сорт, предшественник, минеральное питание, сроки и нормы высева, оказывают большое влияние на оптико-биологические свойства посевов озимой пшеницы. Связь между урожайностью и вегетационным индексом NDVI оценивается коэффициентом корреляции, равным 0,62. Хотя такая взаимосвязь является значимой для условий проведенного опыта, она менее тесная, чем в случае с усредненными значениями таких территорий, как район, почвенно-климатическая зона и край (или область) в целом, которая описывается в литературе. С нашей точки зрения, это обусловлено проявлением технологических особенностей посевов.

INFLUENCE OF ELEMENTS OF TECHNOLOGY ON CROP PRODUCTIVITY AND NDVI OF WHEAT WHEAT SOWINGS

I. G. STORCHAK, candidate of agricultural sciences, senior researcher,

E. O. SHESTAKOVA, postgraduate student,

F. V. EROSHENKO, doctor of biological sciences, head of department,

North-Caucasian Federal Scientific Agrarian Center

(49 Nikonova str., 356241, Mikhailovsk, Stavropol territory; e-mail: sniish.storchak@gmail.com, shestakova.e.o@yandex.ru, yer-sniish@mail.ru)

Keywords: winter wheat, variety, predecessor, level of mineral nutrition, timing of sowing, seeding rates, vegetative index, NDVI.

Nowadays, both in Russia and abroad, data from remote sensing of the Earth, including NDVI, was used to assess the productivity of agricultural crops. These data are obtained for large areas, such as the edge, region and region. Unfortunately, in the literature there are few papers devoted to the study of this field of research for individual fields. They are necessary, since they will allow establishing some mechanisms of NDVI interrelation with the physiological state of winter wheat crops. Therefore, the aim of the work was to establish the relationship of yields with NDVI crops for individual fields of winter wheat. Work was carried out in 2015–2017. In the North Caucasian FNAC. The objects of the research were sowing of winter wheat with various elements of cultivation technology (varieties, predecessors, the level of mineral nutrition, timing of sowing and seeding rates). In our experiments, the yield of winter wheat on the predecessor of the pairs averaged 51.3 centner / ha on average, with 34.4 centners per hectare on winter wheat. Improving the conditions of mineral nutrition on the steam precursor contributed to an increase in the yield of winter wheat by 31 %, and on the predecessor winter wheat by 35 %. The study of the influence of the sowing time on the yield of winter wheat showed that, on average, for varieties in 2015–2017, The highest yield was formed at the optimal sowing time – 46.4 c / ha. Elements of cultivation technology, such as variety, precursor, mineral nutrition, timing and seeding rates, have a great influence on the optical and biological properties of winter wheat crops. The relationship between yield and vegetation index NDVI is estimated by a correlation coefficient of 0.62. Although such a relationship is significant for the conditions of the conducted experiment, it is nevertheless less tight than in the case of the average values of such territories as the area, soil and climatic zone and the region (or region) as a whole, which is described in the literature. From our point of view, this is due to the manifestation of technological features of crops.

Положительная рецензия представлена М. П. Жуковой, доктором сельскохозяйственных наук, профессором Ставропольского государственного аграрного университета.

Формирование урожая посевов сельскохозяйственных культур определяется фотосинтетической продуктивностью, которая зависит от условий выращивания [1]. Использование различных элементов технологии позволяет оптимизировать производственный процесс растений при их возделывании. Разные предшественники, уровень минерального питания, сроки и нормы сева оказывают большое влияние на фотосинтетические показатели посева, которые характеризуют его оптико-биологические свойства, зависящие от стеблестоя, высоты, площади ассимиляционной поверхности, содержания хлорофилла, а также от архитектоники растений [2, 3].

Для оценки продуктивности сельскохозяйственных культур можно использовать вегетационный индекс NDVI [4]. Он рассчитывается с помощью коэффициентов спектральной яркости посева в красной и ближней инфракрасной областях спектра электромагнитных волн, следовательно, этот показатель может быть использован как одна из характеристик его оптико-биологических свойств [5, 6].

Литературные данные свидетельствуют о том, что сорта с определенными морфофизиологическими признаками обладают характерной для них архитектурой посева и оптико-биологическими свойствами. Кроме того, сортовые особенности оказывают влияние даже на микробиологическую активность почвы под посевами озимой пшеницы, что находит отражение в показателях фотосинтетической продуктивности [7]. Наряду с этим различные элементы технологии возделывания озимой пшеницы оказывают влияние как на площадь ассимиляционной поверхности, так и на содержание хлорофилла, а следовательно, и на вегетационный индекс NDVI.

Известно, что при анализе данных дистанционного зондирования с пространственным разрешением 250 м (сканер MODIS) отмечается устойчивая корреляционная связь NDVI с урожайностью озимой пшеницы для больших административных единиц, таких как район, почвенно-климатическая зона, край или область [8]. Но для отдельных полей такая закономерность не наблюдается. Это связано с тем, что посевы сельскохозяйственных культур обладают сортовыми и технологическими особенностями, которые влияют как на фотосинтетическую продуктивность, так и на оптико-биологические свойства [9]. К сожалению, мало работ посвящено изучению данного направления. Такие исследования необходимы, поскольку они позволят установить некоторые механизмы взаимосвязи NDVI с физиологическим состоянием посевов озимой пшеницы.

Цель и методика исследований. Целью работы было установить взаимосвязи урожайности с NDVI посевов для отдельных полей озимой пшеницы.

Общие условия и методы проведения исследований. Исследования проводили в период с 2015 по 2017 г. на опытном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр». Объектами исследований служили посевы озимой пшеницы сортов селекции ФГБНУ «Ставропольский НИИ сельского хозяйства»: Зустрич, Ставка, Слава, Стат, Анисимовка. Исследуемые объекты расположены в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Среднегодовое количество осадков – 511–636 мм, ГТК – 1,0–1,1, сумма активных температур выше 10 °С – 3300–3650 °С [10]. Почвы представлены черноземом обыкновенным среднemosным малогумусным тяжелосуглинистым. Предшественниками были черный пар и озимая пшеница. Фоны мине-

Таблица 1
Влияние предшественников и минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы различных сортов, 2015–2017 гг.

Table 1

Influence of precursors and mineral fertilizers on the productivity of winter wheat of various varieties, 2015–2017

Сорт <i>Variety</i>	Пар <i>Steam</i>		Озимая пшеница <i>Winter wheat</i>	
	контроль, ц/га <i>control, centner / ha</i>	удобренный, ц/га <i>fertilized, centner / ha</i>	контроль, ц/га <i>control, centner / ha</i>	удобренный, ц/га <i>fertilized, centner / ha</i>
Зустрич <i>Zustrich</i>	47,6	63,0	35,9	43,0
Ставка <i>Stavka</i>	54,0	72,2	33,8	48,5
Слава <i>Slava</i>	52,6	68,7	34,9	49,4
Стат <i>Stat'</i>	48,0	64,1	32,5	42,9
Анисимовка <i>Anisimovka</i>	54,2	67,2	34,7	48,1
Среднее <i>Average</i>	51,3	67,0	34,4	46,4
НСР_{0,05} NDS_{0,05}	2,6	3,4	1,7	2,3

Таблица 2
Влияние сроков сева на урожайность озимой пшеницы различных сортов, 2015–2017 гг.

Table 2
Influence of sowing time on the yield of winter wheat of various varieties, 2015–2017

Сорт <i>Variety</i>	Срок сева <i>Sowing time</i>		
	ранний, ц/га <i>early, centner / ha</i>	оптимальный, ц/га <i>optimal, centner / ha</i>	поздний, ц/га <i>late, centner / ha</i>
Зустріч <i>Zustrich</i>	42,8	42,9	38,3
Ставка <i>Stavka</i>	43,3	48,5	45,0
Слава <i>Slava</i>	45,9	49,4	49,7
Стать <i>Stat'</i>	41,5	42,9	41,8
Анисимовка <i>Anisimovka</i>	41,4	48,1	42,4
Среднее <i>Average</i>	43,0	46,4	43,4
НСР <i>NDS</i> _{0,05}	2,2	2,3	2,1

Таблица 3
Влияние норм высева на урожайность озимой пшеницы различных сортов, 2015–2017 гг.

Table 3
Influence of seeding rates on productivity of winter wheat of various varieties, 2015–2017

Сорт <i>Variety</i>	Нормы высева <i>Sowing rates</i>		
	4 млн, ц/га <i>4 million, centner / ha</i>	5 млн, ц/га <i>5 million, centner / ha</i>	6 млн, ц/га <i>6 million, centner / ha</i>
Зустріч <i>Zustrich</i>	43,0	42,9	42,5
Ставка <i>Stavka</i>	47,4	48,5	46,1
Слава <i>Slava</i>	47,7	49,4	47,5
Стать <i>Stat'</i>	41,4	42,9	39,7
Анисимовка <i>Anisimovka</i>	49,2	48,1	46,0
Среднее <i>Average</i>	45,7	46,4	44,3
НСР <i>NDS</i> _{0,05}	2,3	2,3	2,2

рального питания: контроль (без удобрений) и удобрённый фон – N₆₀P₆₀K₆₀ перед посевом и N₃₀ ранней весной. Нормы высева – 4, 5 и 6 млн всхожих семян на 1 га (оптимальная норма высева – 5 млн). Сроки сева – ранний, оптимальный и поздний. Повторность опыта – трехкратная. Агротехника общепринятая для зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Показатель NDVI определяли с помощью прибора GreenSeeker® (Trimbl, USA) [11]. Измерения проводили с интервалом от четырех до семи дней по 4–6 замеров на каждой повторности варианта.

Результаты исследований. Нами было изучено влияние основных технологических приемов возделывания на формирование урожая озимой пшеницы. В среднем по сортам за изучаемый период урожайность озимой пшеницы в наших опытах на предшественнике пар составила 51,3 ц/га, а на предшественнике озимая пшеница – 34,4 ц/га (табл. 1).

Улучшение условий минерального питания на предшественнике пар способствовало увеличению урожайности озимой пшеницы в среднем на 31 %, а на предшественнике озимая пшеница – на 35 %. Наибольшая урожайность на предшественнике пар на контрольном варианте отмечена у сорта Анисимовка (54,2 ц/га), а на удобренном фоне – Ставка (72,2 ц/га). На предшественнике озимая пшеница лидером по урожайности на контрольном варианте был сорт Зустріч (35,9 ц/га), а на удобренном фоне – сорт Слава (49,4 ц/га).

Изучение влияния сроков сева на урожайность озимой пшеницы показало, что в среднем по сортам за 2015–2017 гг. наибольшая урожайность была сформирована на оптимальном сроке сева – 46,4 ц/га. На раннем и позднем сроках величины урожайности составили 43,0 и 43,4 ц/га, что на 7 % и 6 % соответственно меньше, чем у оптимального срока (табл. 2).

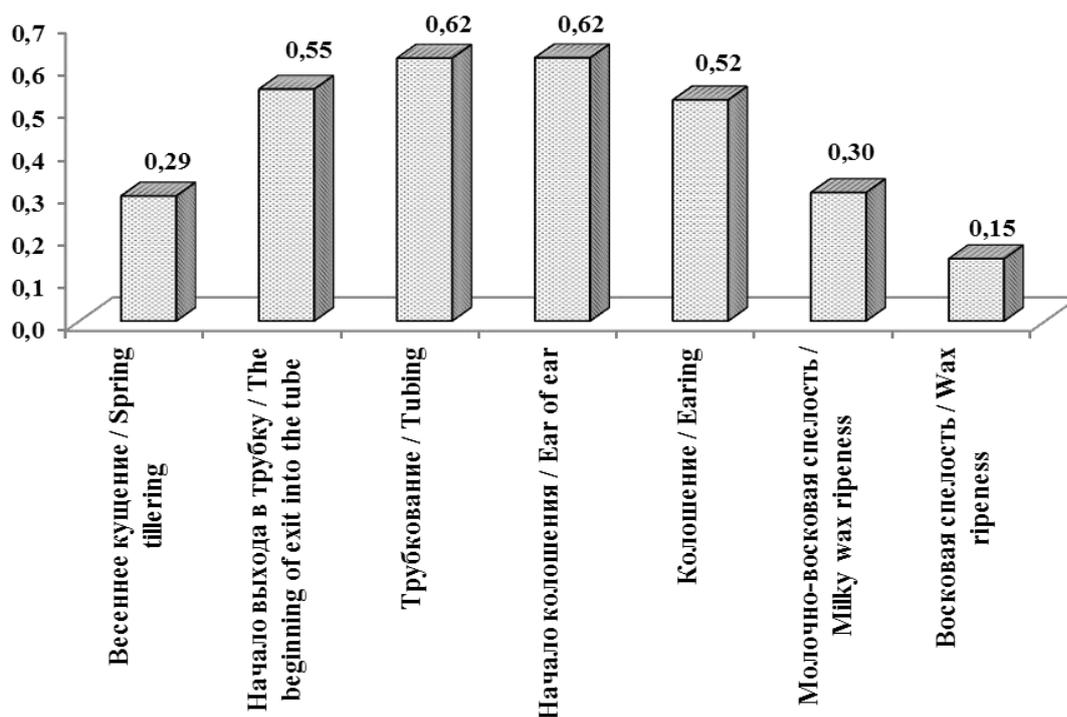


Рис. 1. Коэффициенты корреляции между NDVI и урожайностью озимой пшеницы, в среднем за 2015–2017 гг. (значимость коэффициентов корреляции: $p = 0,05–0,23$; $p = 0,01–0,30$)

Fig. 1. Coefficients of correlation between NDVI and the yield of winter wheat, on average for 2015–2017 (the significance of correlation coefficients: $p = 0.05–0.23$, $p = 0.01–0.30$)

Исследования показали (табл. 3), что за исследуемый период в среднем по сортам максимальная урожайность озимой пшеницы наблюдалась на варианте с нормой высева 5 млн всхожих семян на гектар (46,4 ц/га), а наименьшая – при 6 млн (44,3 ц/га), что на 3 % меньше чем при норме высева 4 млн всхожих семян на гектар (45,7 ц/га).

Хотя в среднем по сортам различия были небольшие, тем не менее у сорта Старт они были более существенные. Так, самая низкая урожайность у этого сорта (39,7 ц/га) была получена на варианте с нормой высева 6 млн всхожих семян на гектар, что меньше, чем на вариантах с 4 и 5 млн на 4 % и 8 % соответственно.

Нами была изучена корреляционная связь между вегетационным индексом NDVI посевов всех вариантов (сорта, предшественники, минеральные удобрения, сроки сева и нормы высева) в различные фазы роста и развития и их урожайностью (рис. 1).

Наиболее тесная такая связь отмечена в начале колошения, в среднем за годы исследований коэффициент корреляции составил 0,62. Полученные ре-

зультаты дают возможность использования данных дистанционного зондирования Земли для построения моделей зависимости NDVI от урожайности озимой пшеницы, что также может быть использовано для оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур в течение вегетации.

Выводы

Элементы технологии возделывания, такие как сорт, предшественник, минеральное питание, сроки и нормы высева, оказывают большое влияние как на оптико-биологические свойства посевов озимой пшеницы, так и на их урожайность.

Связь между урожайностью и вегетационным индексом NDVI оценивается коэффициентом корреляции, равным 0,62. Хотя такая взаимосвязь является значимой для условий нашего опыта, она менее тесная, чем в случае с усредненными значениями таких территорий, как район, почвенно-климатическая зона и край (или область) в целом [12]. С нашей точки зрения, это обусловлено проявлением технологических особенностей посевов.

Литература

1. Мокронос А. Т. Физиолого-экологические аспекты / А. Т. Мокронос, В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова // Фотосинтез. 2-е изд., испр. и доп. М. : Издат. центр «Академия», 2006. 488 с.
2. Варламов В. А. Влияние предшественников и минерального питания на хлебопекарные свойства зерна озимой пшеницы / В. А. Варламов, Е. Н. Варламова // Нива Поволжья. 2013. № 27. С. 14–20.
3. Кравцова Н. Е. Влияние комплексных удобрений на минеральное питание озимой пшеницы / Н. Е. Кравцова, Д. В. Божков // Сб. науч. тр. Sworld. 2013. Т. 51. № 4. С. 101–103.
4. Куссуль Н. Н. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS / Н. Н. Куссуль, А. Н. Кравченко, С. В. Скакун, Т. И. Адаменко, А. Ю. Шелестов, А. В. Колотий, Ю. А. Грипич // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 95–107.

5. Майорова В. И. Контроль состояния сельскохозяйственных полей на основе прогнозирования динамики индекса NDVI по данным космической мультиспектральной и гиперспектральной съемки / В. И. Майорова, А. М. Банников, Д. А. Гришко, И. С. Жаренов, В. В. Леонов, А. Г. Топорков, А. А. Харлан // Наука и образование : электрон. науч.-техн. изд. 2013. № 7. С. 199–228.
6. Савин И. Ю. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России / И. Ю. Савин, Е. А. Лупян, С. А. Барталев // Геоматика. 2011. № 2. С. 69–76.
7. Ерошенко Ф. В. Оптические свойства растений и оценка их физиологического состояния / Ф. В. Ерошенко // Бюллетень Ставропольского науч.-исследовательского ин-та сельского хозяйства. 2014. № 6. С. 84–90.
8. Ерошенко Ф. В. Площадь ассимиляционной поверхности и NDVI посевов озимой пшеницы / Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак, Е. О. Шестакова // Земледелие. 2015. № 7. С. 37–39.
9. Ерошенко Ф. В. Регрессионные модели оценки урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае с использованием NDVI / Ф. В. Ерошенко, И. Г. Чередниченко // Бюллетень Ставропольского науч.-исследовательского ин-та сельского хозяйства. 2013. № 5. С. 58–64.
10. Кулинцев В. В. Система земледелия нового поколения Ставропольского края / В. В. Кулинцев, Е. И. Годунова, Л. И. Желнакова, В. И. Удовыдченко, Л. Н. Петрова, В. К. Дридигер, С. А. Антонов, Д. Ю. Андрианов, Д. С. Дзыбов, В. В. Кравцов, Ф. В. Ерошенко, М. Т. Куприченко, В. И. Ковтун, Ю. А. Кузыченко, Е. П. Шустикова, А. И. Хрипунов, Н. Н. Шаповалова, В. Г. Чертов, А. Б. Володин, Н. М. Комаров и др. Ставрополь, 2013. 520 с.
11. Железова С. В. Использование прибора GreenSeeker® RT200 для мониторинга посевов озимой пшеницы при разных технологиях возделывания / С. В. Железова, Е. В. Березовский, Д. П. Аброськин // Проблемы агрохимии и биологии. 2013. № 1. С. 57–60.
12. Сторчак И. Г. Прогноз урожайности озимой пшеницы с использованием вегетационного индекса NDVI для условий Ставропольского края : дис. ... канд. с.-х. наук. Ставрополь : Ставропольский гос. аграрный университет, 2016.

References

1. Mokronosov A. T. Physiological and ecological aspects / A. T. Mokronosov, V. F. Gavrilenko, T. V. Zhigalova // Photosynthesis. 2nd ed., ispr. and add. M. : Published center «Academy», 2006. 488 p.
2. Varlamov V. A. Influence of precursors and mineral nutrition on baking properties of winter wheat / V. A. Varlamov, E. N. Varlamov // Niva Povolzhya. 2013. No. 27. P. 14–20.
3. Kravtsova N. E. Effect of complex fertilizers on mineral nutrition of winter wheat / N. E. Kravtsova, D. V. Bozhkov // Collection of proceedings Sworld. 2013. Vol. 51. No. 4. P. 101–103.
4. Kussul N. N. Regression models for yield estimation of agricultural crops according to the MODIS / N. N. Kussul, A. N. Kravchenko, S. V. Skakun, T. I. Adamenko, A. Y. Shelestov, A. V. Kolotii, J. A. Gripich // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2012. Vol. 9. No. 1. P. 95–107.
5. Mayorova V. I. Condition monitoring of agricultural fields based on prediction of the dynamics of NDVI according to space multispectral and hyperspectral shooting / V. I. Mayorova, A. M. Bannikov, D. A. Grishko, I. S. Zharenov, V. V. Leonov, A. G. Toporkov, A. A. Harlan // Science and education : electron. scientific-technical ed. 2013. No. 7. P. 199–228.
6. Savin I. Yu. Operational satellite monitoring of crops in Russia / I. Yu. Savin, E. A. Loupian, S. A. Bartalev // Geomatika. 2011. No. 2. P. 69–76.
7. Eroshenko F. V. Optical properties of plants and assessment of their physiological state / F. V. Eroshenko // Bulletin of Stavropol scientific-research institute of agriculture. 2014. No. 6. P. 84–90.
8. Eroshenko F. V. Area of assimilation surface and NDVI winter wheat crops / F. V. Eroshenko, I. G. Storchak, E. O. Shestakova // Agriculture. 2015. No. 7. P. 37–39.
9. Eroshenko F. V. Regression models of estimation of winter wheat yield in the Stavropol region using NDVI / F. V. Eroshenko, I. G. Cherednichenko // Bulletin of Stavropol scientific-research institute of agriculture. 2013. No. 5. P. 58–64.
10. Kulintsev V. V. The farming system of the new generation in Stavropol region / V. V. Kulintsev, E. I. Godunova, L. I. Jelnakova, V. I. Udovydchenko, L. N. Petrova, V. K. Dridiger, S. A. Antonov, D. Yu. Andrianov, D. S. Zybov, V. V. Kravtsov, F. V. Eroshenko, M. T. Kupriченко, V. I. Kovtun, Yu. A. Kuzychenko, E. P. Shustikova, A. I. Khripunov, N. N. Shapovalova, V. G. Chertov, A. B. Volodin, N. M. Komarov et al. Stavropol, 2013. 520 p.
11. Zhelezova S. V. Use of the device GreenSeeker RT200 to the monitoring of winter wheat crops under different cultivation technologies / S. V. Zhelezova, E. V. Berzovsky, D. P. Abroskin // Problems of chemistry and biology. 2013. No. 1. P. 57–60.
12. Storchak I. G. Forecast of winter wheat yield using vegetation index NDVI for the conditions of the Stavropol territory : dis. ... cand. of agricult. sc. Stavropol : Stavropol state agrarian university, 2016.