

УДК 633.15:631.52

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-82-89

Г.Я. Кривошеев ✉

А.С. Игнатьев

Н.А. Шевченко

В.Л. Газе

И.А. Лобунская

Аграрный научный центр «Донской»,
Зерноград, Ростовская обл., Россия

✉ genadiy.krivosheev@mail.ru

Поступила в редакцию: 15.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С.,
Шевченко Н.А., Газе В.Л., Лобунская И.А.

Оценка засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы методом остаточного водного дефицита

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Селекция на засухоустойчивость — одно из важнейших направлений селекции кукурузы в связи с усилением аридности климата и расположением посевов кукурузы в зонах с неустойчивым и недостаточным увлажнением.

Методы. Полевые и лабораторные опыты проведены в 2011–2013 гг., 2015–2023 гг. в «Аграрном научном центре „Донской“». Полевые опыты заложены согласно Методике проведения полевых опытов с кукурузой. Почва опытного участка — чернозем обыкновенный с мощностью гумусового слоя до 140 см. Климат умеренно-континентальный, зона неустойчивого увлажнения. Годы проведения характеризовались различной степенью засухливости (ГТК 0,32–0,87). Объектом исследований служили 155 новых константных самоопыленных линий кукурузы. Определение засухоустойчивости выполнено методом остаточного водного дефицита.

Результаты. Выделено 56 засухоустойчивых самоопыленных линий кукурузы с низкими значениями остаточного водного дефицита (ОВД) в фазе цветения (4,6–13,3%) и в фазе молочно-восковой спелости (6,8–14,2%). Величина ОВД зависела не только от линий, но и от условий года проведения эксперимента. Выявлена тенденция увеличения остаточного водного дефицита в жаркие и засухливые годы. Установлена средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0,44$) между величиной ОВД в фазе цветения и среднесуточной температуры воздуха в июле; между величиной водного дефицита в фазе молочно-восковой спелости и среднесуточными температурами воздуха в августе ($r = -0,65$). Выявлены невысокие, но достоверные коэффициенты корреляции ($r = -0,24 \dots -0,27$) между ОВД и количеством осадков в различные периоды развития кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза (*Zea Mays* L.), самоопыленные линии, тесткроссные гибриды, засухоустойчивость, остаточный водный дефицит, коэффициент корреляции

Для цитирования: Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С., Шевченко Н.А., Газе В.Л., Лобунская И.А. Оценка засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы методом остаточного водного дефицита. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 82–89.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-82-89>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-82-89

Gennady Ya. Krivosheev ✉

Alexey S. Ignatiev

Nikolai A. Shevchenko

Valentina L. Gaze

Irina A. Lobunskaya

Agricultural Research Center “Donskoy”,
Zernograd, Rostov Region, Russia

✉ genadiy.krivosheev@mail.ru

Received by the editorial office: 15.05.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Krivosheev G.Ya., Ignatiev A.S.,
Shevchenko N.A., Gaze V.L., Lobunskaya I.A.

Estimation of drought resistance of self-pollinated maize lines by the residual water deficit method

ABSTRACT

Relevance. Breeding for drought resistance is one of the most important areas of maize breeding due to the increasing climate aridity and the location of maize crops in areas with unstable and insufficient moisture.

Methods. Field and laboratory trials were conducted at the “Agricultural Research Center “Donskoy” in 2011–2013, 2015–2023. Field trials were laid out according to the Methodology of Field Trials with Maize. The soil of the experimental plot was ordinary blackearth (chernozem), with a 140 cm of humus layer thickness. The climate was moderate continental with unstable moisture. The years of the study were characterized by different degrees of aridity (HTC 0.32–0.87). The objects of the study were 155 new constant self-pollinated maize lines. The estimation of drought resistance was carried out by the residual water deficit method.

Results. There have been identified fifty-six drought-resistant self-pollinated maize lines with low values of residual water deficit (RWD) in the flowering phase (4.6–13.3%) and in the milky-wax ripeness phase (6.8–14.2%). The RWD value depended not only on the lines, but also on the conditions of the year of the trial. There has been established a tendency for residual water deficit to increase in hot and dry years. There has been identified an average negative correlation ($r = -0.44$) between the value of the RWD in the flowering phase and the average daily air temperature in July; between the water deficit value in the milky-wax ripeness phase and the average daily air temperature in August ($r = -0.65$). There have been revealed low but reliable correlation coefficients ($r = -0.24 \dots -0.27$) between the RWD and the amount of precipitation in different periods of maize development.

Key words: maize (*Zea Mays* L.), self-pollinated lines, test-cross hybrids, drought resistance, residual water deficit, correlation coefficient

For citation: Krivosheev G.Ya., Ignatiev A.S., Shevchenko N.A., Gaze V.L., Lobunskaya I.A. Estimation of drought resistance of self-pollinated maize lines by the residual water deficit method. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 82–89 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-82-89>

Введение/Introduction

Происходят нарастающие глобальные изменения климата, влияющие на сельскохозяйственный сектор экономики [1]. Проявляется это прежде всего в усилении аридности климата [2, 3].

Усиление аридности климата и наличие значительных территорий с недостаточным увлажнением обуславливают необходимость ведения работ по селекции на засухоустойчивость [4]. Особенно важно такое направление работ для кукурузы, относящейся к мезофитам — влаголюбивым сельскохозяйственным культурам. Основным фактором стресса, который ограничивает ее урожайность, является засуха [5]. Исследователи подтверждают значительное снижение производства зерна кукурузы в засушливые годы, что отражается на стабильности урожаев этой культуры [6]. Существует большое количество методов определения засухоустойчивости растений [7]. Оценка засухоустойчивости может быть выполнена лабораторными методами на ранних этапах онтогенеза, например по проросткам, полученным в растворах с высоким осмотическим давлением [8]. Однако наиболее эффективны методы изучения растения в полевых условиях. Один из наиболее распространенных — метод остаточного водного дефицита, позволяющий на естественном или искусственном фоне дифференцировать изучаемый материал по устойчивости к недостатку влаги [9].

Эффективность селекции на засухоустойчивость в значительной мере зависит от наличия соответствующего материала. Поиск источников устойчивости к засухе и включение их в селекционный процесс — непереносимое условие эффективности работы аграриев [10]. Создание и выделение нового селекционного материала, сочетающего высокие значения основных ценных признаков, — важнейшая задача [5, 11]. Генетическому улучшению кукурузы, в том числе устойчивости к водному стрессу, уделяется особое внимание зарубежными [12, 13] и отечественными [14, 15] исследователями. Отмечена эффективность отбора селекционного материала в регионах с засушливым климатом [16–20].

При отсутствии засухи водный дефицит может быть незначительным, что не позволит дифференцировать изучаемые образцы по устойчивости к водному стрессу. Поэтому представляет интерес изучение влияния климатических параметров на величину остаточного водного дефицита (ОВД).

Цель исследований — выделить новые самоопыленные линии кукурузы, устойчивые к водному стрессу, выявить влияние метеоусловий года на величину ОВД.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевые и лабораторные опыты проведены в 2011–2013 гг., 2015–2023 гг. в «Аграрном научном центре „Донской“», расположенном в Зерноградском районе Ростовской области Российской Федерации.

Полевые опыты были заложены согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹.

Почва опытного участка — чернозем обыкновенный с мощностью гумусового слоя до 140 см.

Климат умеренно-континентальный, зона неустойчивого увлажнения.

За период с 2006 по 2021 г. в АНЦ «Донской» селектировано 155 новых самоопыленных линий кукурузы. Новые линии хранятся в коллекции благодаря пересеву и размножению, присвоение номеров или наименований выполнено с учетом номеров делянок в поле или номеров обмолота. По мере завершения создания все линии были изучены по признаку засухоустойчивости. Первая группа линий (41) создавалась в 2006–2010 гг., вторая (41) — в 2009–2014 гг., третья (48) — в 2013–2017 гг., четвертая (25) — в 2016–2020 гг. (табл. 1).

Каждая самоопыленная линия высевалась на площади 20 м². Площадь опытного участка, занимаемого первой группой линий, составила 820 м², второй — 820 м², третьей — 960 м² и четвертой — 500 м².

Новые самоопыленные линии получены стандартным (початкорядным) методом согласно Методическим указаниям по селекции кукурузы², то

Таблица 1. Новые самоопыленные линии кукурузы, изучаемые на ОВД

Table 1. New self-pollinated maize lines studied at RWD

Годы			
2011–2013	2015–2017	2018–2020	2021–2023
PLS 61 зМ, ДК 47111, СП 200, КВ 399 АМВ, С 255, RD 6, КВ 262, СП 201, СП 202, СП 203, С 13, Тр-1, RD 3, RG 213, С 232, ДК 64/123, С 29, С 86, С 87, С 95, С 160, Гб 834, С 204 А, Зр 498, КМ 57, С 163, С 196, КВ 204, КС 211, РП 276, КВ 399 МВ, ТВ 7331 А, TVA-173, КС 212, КС 213, КС 214, С 204, СП 75/15-1, СП 75/15-2, ДС 768/85, С 238, КВ 272, КВ 357, ДС 257/85-1, ДС 257/85-2, ДС 257/85-3, КВ 498 МВ, КВ 469, Зр 498А, ДС 257/85-4, ДС 257/85-5, ДС 257/85-6, КС 312, КС 313, КС 314, СП 56/57, СП 246/276, СП 280-1, КС 315, КС 316, КС 317, СП 280-2, ДС 498/203, ДС 498/217-1, КС 318, С 225, С 227, ДК 3511, ДС 498/217, ДС 498/217-2, ДС 498/217-3, 0169 МВ, ТВ7331, ДК655, ДС 498/217-4, КВ 334 МВ, КВ 263, КВ 9873В, Р 101, 326 МВ, КВ 397, КВ 398	ЛШ 7, ЛШ 10, ЛШ 12, КС 317 А, КС 318, ЛШ 2, ЛШ 3, ЛШ 8, ЛШ 14, ЛШ 15, ЛШ 16, ЛШ 17, КВ 240, РГС 246, СП 75/15-23, СП 75/15-13, ГК 26 АЗМ, КВ 399, КВ 373, ДС 257/85-0, ДС 768/85-4, ДС 768/85-3, СП 246/276-1, СП 246/276-2, СП 280-3, ДС 768/85-5, ДС 768/85-2А, СП 73/498-1, СП 73/498-2, ДС 498/203-3, ДС 768/85-2, ДС 768/85-3А, ДС 498/203-4, ИГ 236, ИГ 443, ИГ 391, ДС 768/85-3, ДС 768/85-6, ИГ 101, ИГ 225, ИГ 311, ИГ 315, ИГ 250, СП 56/57-0, СП 56/57-2, ИГ 150, ИГ 277, ИГ 238, ИГ 201, ИГ 253, СП 56/57-2/1, СП 56/57-21/1, ИГ 278, ИГ 281, ИГ 242, ИГ 244, ИГ 252, СП 56/57-2, СП 56/57-21/12, ИГ 239, ИГ 273, ИГ 355, ИГ 400, ИГ 401, СП 56/57-21/21, СП 56/57-2/2 и СП 56/57-2/3.	КА111121, КА111111, АР-1, RD 12, СП 75/15-11, СП 75/15-11, СП 75/15-13, ГК 26 АЗМ, КВ 399, КВ 373, ДС 257/85-0, ДС 768/85-4, ДС 768/85-3, СП 246/276-1, СП 246/276-2, СП 280-3, ДС 768/85-5, ДС 768/85-2А, СП 73/498-1, СП 73/498-2, ДС 498/203-3, ДС 768/85-2, ДС 768/85-3А, ДС 498/203-4, ИГ 236, ИГ 443, ИГ 391, ДС 768/85-3, ДС 768/85-6, ИГ 101, ИГ 225, ИГ 311, ИГ 315, ИГ 250, СП 56/57-0, СП 56/57-2, ИГ 150, ИГ 277, ИГ 238, ИГ 201, ИГ 253, СП 56/57-2/1, СП 56/57-21/1, ИГ 278, ИГ 281, ИГ 242, ИГ 244, ИГ 252, СП 56/57-2, СП 56/57-21/12, ИГ 239, ИГ 273, ИГ 355, ИГ 400, ИГ 401, СП 56/57-21/21, СП 56/57-2/2 и СП 56/57-2/3.	КА111121, КА111111, АР-1, RD 12, СП 75/15-11, СП 75/15-11, СП 75/15-13, ГК 26 АЗМ, КВ 399, КВ 373, ДС 257/85-0, ДС 768/85-4, ДС 768/85-3, СП 246/276-1, СП 246/276-2, СП 280-3, ДС 768/85-5, ДС 768/85-2А, СП 73/498-1, СП 73/498-2, ДС 498/203-3, ДС 768/85-2, ДС 768/85-3А, ДС 498/203-4, ИГ 236, ИГ 443, ИГ 391, ДС 768/85-3, ДС 768/85-6, ИГ 101, ИГ 225, ИГ 311, ИГ 315, ИГ 250, СП 56/57-0, СП 56/57-2, ИГ 150, ИГ 277, ИГ 238, ИГ 201, ИГ 253, СП 56/57-2/1, СП 56/57-21/1, ИГ 278, ИГ 281, ИГ 242, ИГ 244, ИГ 252, СП 56/57-2, СП 56/57-21/12, ИГ 239, ИГ 273, ИГ 355, ИГ 400, ИГ 401, СП 56/57-21/21, СП 56/57-2/2 и СП 56/57-2/3.

¹ Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. Вып. 1. 329 с.

² Методические указания по селекции кукурузы. М.: Колос, 1982. 56 с.

есть каждый отобранный самоопыленный початок высевался отдельным рядком, в пределах которого отбирались лучшие растения с лучшими початками, которые на следующий год высевались отдельными рядами, где проводился новый цикл отбора. И так продолжалось в течение 5–6 лет (отбор лучших початков на лучших растениях).

Все созданные линии относились к сортоотбору с зубовидным желтым зерном и красным стержнем початка — подвид кукуруза зубовидная (*Zea mays indentata*), они были гомозиготными, принадлежали к среднеранней и среднеспелой группам спелости.

В качестве стандартов взяты известные по устойчивости к водному стрессу самоопыленные линии кукурузы:

- ✓ PLS 61 ЗМ,
- ✓ 0169 МВ,
- ✓ КС 211,
- ✓ С 227,
- ✓ ГК 26 АЗМ,
- ✓ FC 18.

Самоопыленные линии 0169 МВ, КС 211, С 227 созданы в АНЦ «Донской», линии PLS 61 ЗМ, ГК 26 АЗМ, FC 18 относятся к линиям мировой коллекции.

Определение засухоустойчивости выполнено методом остаточного водного дефицита³. Водный дефицит — это недостаток насыщения водой растительных клеток, возникающий в результате интенсивной потери воды растением, невосполняемой поглощением ее из почвы. Чем меньше водный дефицит у растений, тем выше их устойчивость к водному стрессу.

Для изучения образцов по засухоустойчивости в полевых условиях необходимо наличие соответствующего (засушливого) фона. Во все

годы (за исключением 2014 года) исследований — 2011–2013 гг., 2015–2023 гг. — такой фон имелся благодаря погодным факторам (табл. 1).

АНЦ «Донской» и его опытные поля, находящиеся в Южной зоне Ростовской области, расположены в зоне неустойчивого увлажнения, среднесуточные значения осадков — 225,5 мм, среднесуточной температуры воздуха — 20,5 °С и ГТК — 0,89 за период вегетации кукурузы свидетельствуют о засушливости климата. В годы изучения эти показатели, как правило, еще сильнее ухудшались (количество осадков и ГТК снижались, а температуры воздуха увеличивались). Так, количество осадков по годам варьировало от 93,4 мм до 244,6 мм. Большинство лет испытания характеризовались меньшим количеством осадков, чем в средний год. Все годы эксперимента оказались более жаркими, чем средний год (среднесуточные температуры воздуха за период вегетации — 21,7–23,8%). Гидротермический коэффициент во все годы был ниже (0,32–0,87), чем по среднесуточному среднему значению (1949–2023 гг.).

Подобные результаты получены по месяцам июнь и август, в которых отмечаются критические периоды развития растений кукурузы (цветение, опыление и налив зерна). Так, ГТК в июле в годы проведения исследований снизился до 0,26–0,76 при среднесуточных данных 0,81, исключение составили только 2018 и 2019 гг. В августе во все годы (с 2006 по 2012 и с 2015 по 2020), помимо 2013 г., ГТК имел величины (0,06–0,66) меньше среднесуточных значений (0,67).

Изучено влияние климатических факторов: количество атмосферных осадков, среднесуточная температура воздуха, гидротермический коэффициент на величину остаточного водного дефицита самоопыленных линий. Других факторов влияния

Таблица 2. Климатические параметры в критические периоды развития и период вегетации растений кукурузы, 2011–2013 гг., 2015–2023 гг.

Table 2. Climatic parameters during crucial periods of maize vegetation and development, 2011–2013, 2015–2023

Годы	Климатические параметры								
	Осадки, мм			Среднесуточная температура воздуха, °С			ГТК		
	июль	август	период вегетации	июль	август	период вегетации	июль	август	период вегетации
2011	21,0	35,2	175,5	26,5	22,9	22,1	0,26	0,50	0,65
2012	29,2	47,3	191,1	25,0	24,4	23,3	0,38	0,63	0,67
2013	46,8	59,2	180,1	23,9	23,7	22,9	0,63	0,81	0,64
2015	32,2	14,8	230,7	24,0	24,2	21,7	0,43	0,20	0,86
2016	32,8	28,8	242,2	24,7	26,0	22,2	0,43	0,36	0,87
2017	42,2	45,5	235,6	25,9	24,6	22,6	0,55	0,60	0,85
2018	71,7	4,8	93,4	25,9	24,6	23,4	0,89	0,06	0,32
2019	71,4	48,0	194,1	22,7	23,4	22,6	1,01	0,66	0,70
2020	60,7	44,7	224,1	25,7	23,4	21,9	0,76	0,62	0,83
2021	24,6	51,1	244,6	26,7	28,8	23,8	0,30	0,57	0,84
2022	55,8	47,2	132,1	23,8	26,6	22,1	0,76	0,57	0,43
2023	51,3	19,5	218,2	23,6	25,6	21,8	0,70	0,25	0,83
среднее за 1949 — 2023 гг.	57,7	45,2	225,5	23,1	21,9	20,5	0,81	0,67	0,89

³ Литвинов Л.С. Методы оценки засухоустойчивости. Семеноводство. 1988. 6: 7–12.

не было. Самоопыленные линии изучались в одинаковых условиях (обработка почвы, минеральное питание, сроки посева, нормы высева и др.).

Математическая обработка экспериментальных данных проводилась по Доспехову Б.А.⁴ с использованием программ Statistika 10 и Excel (США). В частности, коэффициенты корреляции были рассчитаны по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \times \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

где:

r_{xy} — коэффициент корреляции; x_i — значения переменной x в выборке; $\bar{x}$ — среднее значение переменной x ; y_i — значения переменной y в выборке; $\bar{y}$ — среднее значение переменной y .

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Во все годы проведения эксперимента удалось дифференцировать самоопыленные линии по величине остаточного водного дефицита и его приросту.

Это объясняется значительными различиями самоопыленных линий по засухоустойчивости (табл. 2).

Так, например, в 2011 году в фазе цветения максимальное значение ОВД составило 25,4% (линия С 160), в тот же год минимальное значение в фазе цветения — 6,5% (линия КС 315).

В 2016 году у линии С 237 в фазе молочно-восковой спелости величина остаточного водного дефицита достигала 31,4%, а у линии ДС 257/85-1 — 8,3%. Величина водного дефицита зависела не

только от линий, но и от условий года, в котором проводились исследования.

Наиболее высокие усредненные по линиям значения ОВД в фазу цветения имелись в 2015 году — 14,4%, а самые низкие (4,9%) — в 2023 году.

В фазе молочно-восковой спелости самый высокий уровень водного дефицита отмечен в 2011 году — 16,2%, а самый низкий (8,1%) — в 2021 году.

Подобные результаты получены и по приросту ОВД в фазе молочно-восковой спелости по отношению к фазе цветения. Прирост зависел от самоопыленных линий и от условий года проведения исследований. У некоторых линий был отрицательный прирост (ДС 257/85-1, КВ 204, ТВ 7331 и др.), что связано, по-видимому, с поздним включением механизмов засухоустойчивости и условиями водного стресса.

Новые самоопыленные линии были дифференцированы на основе абсолютных значений ОВД в сравнении со стандартными линиями.

В 2011–2013 гг. в качестве стандарта использована засухоустойчивая линия 0169 МВ. Значения водного дефицита у нее составили: в фазе цветения — 9,4%, в фазе молочно-восковой спелости — 10,1%, прирост — 0,7%.

В качестве дополнительного стандарта была взята линия PLS 61 ЗМ с невысокой засухоустойчивостью, показатели ОВД, соответственно, составили 11,9%; 17,8%; 5,9% (табл. 3).

В 2015–2017 гг. взята засухоустойчивая стандартная линия КС 217 и менее засухоустойчивая — С 227. В 2018–2020 гг. — стандартные линии PLS 61 ЗМ и ГК 26 АЗМ с различной устойчивостью к водному стрессу. Линия FC 18 была

Таблица 3. Остаточный водный дефицит самоопыленных линий кукурузы, 2011–2013 гг., 2015–2023 гг.

Table 3. Residual water deficit of self-pollinated maize lines, 2011–2013, 2015–2023

Годы	ОВД, %								
	в фазу цветения			в фазу молочно-восковой спелости			прирост в фазе молочно-восковой спелости относительно фазы цветения		
	x_{max}	x_{min}	$\bar{x}$	x_{max}	x_{min}	$\bar{x}$	x_{max}	x_{min}	$\bar{x}$
2011	25,4	6,5	11,8	34,2	7,9	16,2	19,3	-5,8	4,3
2012	15,6	4,0	10,0	20,0	4,8	11,6	9,2	-7,1	1,6
2013	17,6	5,1	10,8	31,7	6,2	14,9	18,3	-5,2	4,1
2015	24,2	8,6	14,4	12,7	5,8	15,0	9,2	-6,5	0,5
2016	12,7	5,5	8,4	31,4	8,3	14,0	24,3	0,3	5,6
2017	24,3	5,6	12,2	18,6	8,3	13,9	6,9	-8,1	1,6
2018	14,7	3,5	9,2	24,5	8,0	12,2	12,6	0,2	3,1
2019	13,9	5,2	9,0	22,7	7,8	13,1	14,5	1,0	3,8
2020	26,2	5,1	8,8	48,4	6,9	13,0	28,8	0	4,2
2021	8,0	4,5	6,0	10,8	5,6	8,1	5,9	0,3	2,1
2022	12,1	7,4	9,6	15,4	8,4	11,4	3,4	0,5	1,8
2023	7,1	3,3	4,9	14,5	6,5	9,1	10,9	1,2	4,3

Примечание: x_{max} — максимальные значения, x_{min} — минимальные значения, $\bar{x}$ — средние значения.

⁴ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). — М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

Таблица 4. Значения остаточного водного дефицита стандартных линий кукурузы

Table 4. Residual water deficit values of standard maize lines

Годы изучения	Название стандартных линий	ОВД, %		
		в фазе цветения	в фазе молочно-восковой спелости	прирост в фазе молочно-восковой спелости относительно фазы цветения
2011–2013	PLS 61 3M	11,9	17,8	+5,9
	0169 MB	9,4	10,1	+0,7
2015–2017	KC 211	9,9	12,7	+2,8
	C 227	11,3	14,2	+2,9
2018–2020	PLS 61 3M	10,6	17,3	+6,7
	GK 26 A3M	9,9	11,9	+2,0
2021–2023	FC 18	6,7	12,0	+5,3

использована в качестве стандартной в 2021–2023 гг.

Все самоопыленные линии кукурузы, использовавшиеся как стандарты, были ранее изучены по засухоустойчивости, что позволило сопоставить с ними значения ОВД у новых самоопыленных линий.

Изучение засухоустойчивости проводилось по мере завершения их создания — достижения гомозиготности (константности). Это, как правило, происходило после 5-го или 6-го самоопыления (I_5 – I_6).

Так, в 2011–2013 гг. была изучена 41 новая константная самоопыленная линия кукурузы. Выделены 14 засухоустойчивых линий (ДК 47111, СП 203, КВ 204, КС 311, С 204 и др.) с низкими и невысокими значениями ОВД в фазе цветения (6,9–13,3%) и незначительным увеличением этих значений в фазе молочно-восковой спелости (9,0–13,4%), прирост водного дефицита составил от -1,0% до 2,1% (табл. 4).

В 2015–2017 гг. изучали новый набор самоопыленных линий, создание которых завершено к 2015 году. Из 41 линии выделено 17, в их числе КВ 334, ДС 498/217-4, RD 6, ДС 257/85-4, ДС 257/85-3 и др. Значения ОВД в фазе цветения у них составили 8,1–12,6%, в фазе молочно-восковой спелости — 9,9–14,2%, прирост — от -1,1% до 3,6%.

К 2018 году завершено создание 48 новых линий. Они изучены в 2018–2020 гг., выделено 12 линий со значениями остаточного водного дефицита в фазе цветения 7,7–10,4%; в фазе молочно-восковой спелости 10,3–12,6%, приростом ОВД 1,4–3,3%.

Новый набор, состоящий из 25 новых самоопыленных линий кукурузы, создание которых завершено в 2020 году, изучен в 2021–2023 гг. В эти годы ОВД ниже по сравнению с другими годами. У выделенных линий кукурузы он составил в фазе цветения 4,6–7,5%, в фазе молочно-восковой спелости — 6,8–10,1%, прирост равнялся 0,9–3,3%.

Данные по ОВД, полученные в течение длительного периода (с 2006 по 2013 гг. и с 2015 по

Таблица 5. Результаты оценки засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы методом остаточного водного дефицита

Table 5. Estimation results of drought resistance of self-pollinated maize lines using the residual water deficit method

Годы изучения	Выделившиеся линии	ОВД у выделенных линий, %		
		в фазе цветения	в фазе молочно-восковой спелости	прирост в фазе молочно-восковой спелости относительно фазы цветения
2011–2013	ДК 47111, СП 203, КВ 204, КС 211, С 204, С 238, ТВ 7331, КВ 357, ДК 655, КВ 498, КС 311, КВ 469, Зр 498 А, КВ 272	6,9...13,3	9,0...13,4	-1,0...+2,1
2015–2017	КВ 334, ДС 498/217-4, RD 6, ДС 257/85-4, ДС 257/85-3, ДС 257/85-1, ДС 257/85-6, ДС 257/85-4, ДС 498/217-3, ДС 257/85-5, ДС 498/203, КВ 262, КВ 263, ДС 498/217, С 204 А, СП 280-2, ТВ 7331 А, Зр 498	8,1...12,6	9,9...14,2	-1,1...+3,6
2018–2020	КС 317 А, ЛШ 16, КВ 240, ЛШ 17, ЛШ 2, СП 246/276-2, ДС 498/203-4, ДС 498/203-3, ДС 257/85-0, СП 280-3, КВ 273	7,7...10,4	10,3...12,6	+1,4...+3,3
2021–2023	СП 56/57-2/1, СП 56/57-21/1, СП 56/57-2/3, СП 56/57-2/2, СП 56/57, ДС 257/85-6, СП 56/57-0, ДС 257/85-3, СП 56/57-2/21, ДС 257/85-2, СП 56/57-21/12, СП 75/15-13, СП 75/15-11	4,6...7,5	6,8...10,1	+0,9...+3,3

2020 гг.), а также анализ климатических условий за эти годы позволили установить, что величина остаточного водного дефицита зависела от метеорологических условий лет проведения эксперимента, что подтверждают рассчитанные коэффициенты корреляции (рис. 1).

Выявлена средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0,44$) между величиной ОВД в

фазе цветения и среднесуточными температурами в июле. Низкие, но достоверные отрицательные коэффициенты корреляции получены между величиной ОВД в фазе цветения и количеством осадков за период вегетации ($r = -0,27$), количеством осадков в июле ($r = -0,27$), количеством осадков за период вегетации ($r = -0,26$) и величиной ГТК в июле ($r = -0,24$).

Средний отрицательный коэффициент корреляции получен между величиной ОВД в фазе молочно-восковой спелости и среднесуточными температурами воздуха в августе ($r = -0,65$), а также среднесуточной температурой воздуха за период вегетации кукурузы ($r = -0,30$) (рис. 2).

Низкие, но достоверные отрицательные коэффициенты корреляции выявлены между величиной ОВД в фазе молочно-восковой спелости и количеством осадков в июле ($r = -0,24$), ГТК в июле ($r = -0,23$).

Таким образом, имеется тенденция увеличения значений ОВД в более жарких и засушливых условиях, а это означает, что в таких условиях результаты оценки засухоустойчивости более надежны.

Выводы / Conclusions

Недостаточное увлажнение и высокие температуры воздуха в годы проведения эксперимента способствовали созданию фона для оценки исходного материала по засухоустойчивости.

Новые линии (155 шт.) значительно различались по остаточному водному дефициту как в фазе цветения (3,3–26,2%), так и в фазе молочно-восковой спелости (5,6–48,4%).

В 2011–2013 гг. выделено 14 засухоустойчивых линий со значениями ОВД в фазе цветения 6,9–13,3%, в фазе молочно-восковой спелости 9,0–13,4%. В 2015–2017 гг. лучшими по засухоустойчивости отмечены 17 линий: ОВД в фазе цветения — 8,1–12,6%, в фазе молочно-восковой спелости — 9,9–14,2%. В 2018–2020 гг. высокую устойчивость к водному стрессу проявили 12 линий с величиной ОВД в фазе цветения 7,7–10,4%, в фазе молочно-восковой спелости 10,3–12,6%. В 2021–2023 гг. низкие значения ОВД имели 13 линий в обе фазы развития, соответственно 4,6–7,5% и 6,8–10,1%. Величина ОВД зависела не только от линий, но и от условий года, в котором проводилось исследование. Выявлена тенденция увеличения значений ОВД в годы с более жаркими и засушливыми условиями.

Рис. 1. Коэффициенты корреляции между величинами ОВД в фазе цветения и климатическими параметрами, 2011–2013 гг., 2015–2023 гг.

Примечание: климатические параметры: 1 — осадки за июль, мм, 2 — осадки за август, мм, 3 — осадки за период вегетации, мм, 4 — среднесуточная температура воздуха в июле, °C, 5 — среднесуточная температура воздуха в августе, °C, 6 — среднесуточная температура воздуха за период вегетации, °C, 7 — ГТК в июле, 8 — ГТК в августе, 9 — ГТК за период вегетации.

Fig. 1. Coefficients of correlation between the RWD in the flowering stage and climatic parameters, 2011–2013, 2015–2023

Note: climate parameters: 1 — precipitation in July, mm, 2 — precipitation in August, mm, 3 — precipitation during the growing season, mm, 4 — average daily air temperature in July, °C, 5 — average daily air temperature in August, °C, 6 — average daily air temperature during the growing season, °C, 7 — hydrothermal climatic conditions in July, 8 — hydrothermal climatic conditions in August, 9 — hydrothermal climatic conditions during the growing season.

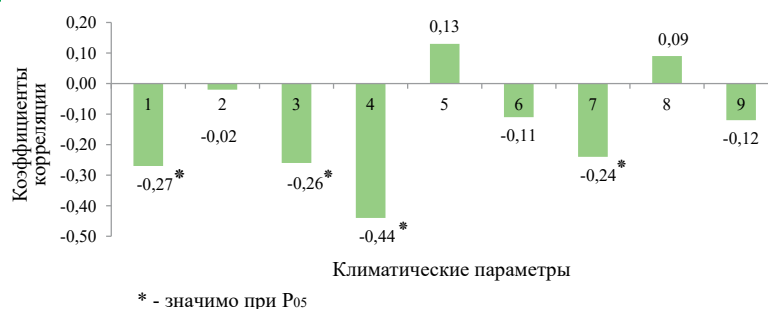
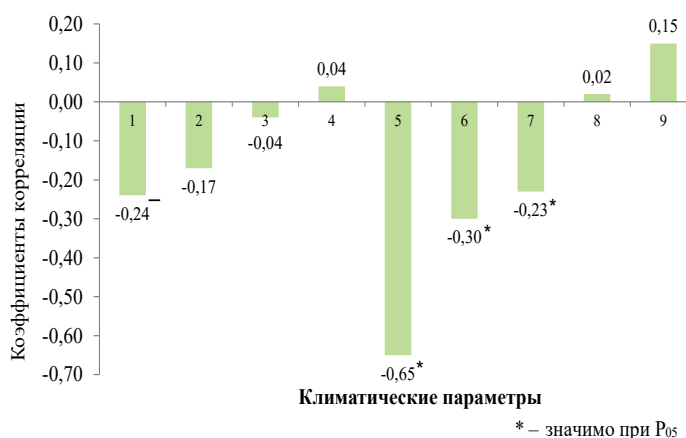


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между величинами ОВД в фазе молочно-восковой спелости и климатическими параметрами, 2011–2013, 2015–2023 гг.

Примечание: климатические параметры: 1 — осадки за июль, мм, 2 — осадки за август, мм, 3 — осадки за период вегетации, мм, 4 — среднесуточная температура воздуха в июле, °C, 5 — среднесуточная температура воздуха в августе, °C, 6 — среднесуточная температура воздуха за период вегетации, °C, 7 — ГТК в июле, 8 — ГТК в августе, 9 — ГТК за период вегетации.

Fig. 2. Coefficients of correlation between the RWD in the milky-wax stage and climatic parameters, 2011–2013, 2015–2023

Climate parameters: 1 — precipitation in July, mm, 2 — precipitation in August, mm, 3 — precipitation during the growing season, mm, 4 — average daily air temperature in July, °C, 5 — average daily air temperature in August, °C, 6 — average daily air temperature during the growing season, °C, 7 — hydrothermal climatic conditions in July, 8 — hydrothermal climatic conditions in August, 9 — hydrothermal climatic conditions during the growing season.



Установлена средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0,44$) между величиной ОВД в фазе цветения и среднесуточной температурой воздуха в июле; между величиной ОВД в фазе молочно-восковой спелости и среднесуточными температурами воздуха в августе ($r = -0,65$), а также среднесуточной температурой воздуха за период вегетации кукурузы ($r = -0,30$). Выявлены невысокие, но достоверные коэффициенты корреляции ($r = -0,24...-0,27$) между ОВД и количеством осадков в различные периоды развития изучаемых линий.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николаев М.В. Климатические изменения и ведение полеводства в зоне осушаемых земель Европейского Нечерноземья России: уязвимость и адаптация. *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(1): 60–74. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.60rus>
2. Матишов Г.Г., Дашкевич Л.В., Титов В.В., Кириллова Е.Э. Анализ внутривековой природной изменчивости в Приазовье и на Нижнем Дону: причина маловодья. *Наука Юга России*. 2021; 17(1): 13–23. <https://doi.org/10.7868/S25000640210102>
3. Гудко В.Н., Усатов А.В., Азарин К.В. Сезонная и годовая динамика гидротермических условий в восточной природно-сельскохозяйственной зоне Ростовской области в 1961–2020 гг. *Аридные экосистемы*. 2023; 29(2): 29–35. <https://elibrary.ru/osfpn>
4. Кривошеев Г.Я., Шевченко Н.А., Игнатиев А.С. Засухоустойчивость новых самоопыленных линий кукурузы и методы ее оценки. *Таврический вестник аграрной науки*. 2021; (3): 95–106. <https://elibrary.ru/mankwt>
5. Панфилова О.Н., Чугунова Е.В., Дерунова С.Н. Исходный материал для селекции кукурузы на засухоустойчивость. *Аграрный научный журнал*. 2020; (2): 29–37. <https://elibrary.ru/ifepop>
6. Панфилова О.Н., Чугунова Е.В., Дерунова С.Н. Зависимость урожая зерна кукурузы и уборочной влажности от ГТК в условиях Волгоградской области. *Аграрный научный журнал*. 2023; (1): 34–40. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i1pp34-40>
7. Worku M. *et al.* On-farm performance and farmers' participatory assessment of new stress-tolerant maize hybrids in Eastern Africa. *Field Crops Research*. 2020; 246: 107693. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107693>
8. Гусева С.А., Бочкарева Ю.В., Волков Д.П., Башинская О.С., Носко О.С., Ларина Т.В. Оценка относительной засухоустойчивости сортообразцов сахарной кукурузы в лабораторных условиях. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023; (5): 7. <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.33.4>
9. Лиховидова В.А., ИONOVA Е.В. Влияние засушливых условий выращивания на водный дефицит и содержание хлорофилла сортов озимой твердой пшеницы, различающихся по продуктивности. *Аграрная наука*. 2020; (5): 72–75. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-72-75>
10. Капустин С.И., Капустин А.С. Подбор исходного материала и комбинационная способность новых линий кукурузы в условиях степной зоны. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024; (2): 31–36. <https://elibrary.ru/sxtkyg>
11. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Влияние уровня влагообеспеченности на урожайность и питательную ценность сорговых культур. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2024; 54(2): 22–30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-2-3>
12. Yadav O.P. *et al.* Genetic Improvement of Maize in India: Retrospect and Prospects. *Agricultural Research*. 2015; 4(4): 325–338. <https://doi.org/10.1007/s40003-015-0180-8>
13. Sheoran S., Kaur Y., Kumar S., Shukla S., Rakshit S., Kumar R. Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize (*Zea mays* L.): Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 872566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>
14. Орлянская Н.А., Орлянский Н.А., Чеботарев Д.С. Сравнительная индексация раннеспелых гибридов кукурузы в экологическом испытании. *Аграрная наука Евро-Севера-Востока*. 2023; 24(4): 581–591. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591>
15. Горбачева А.Г., Кривошеев Г.Я., Игнатиев А.С., Орлянская Н.А. Экологическое изучение простых стерильных гибридов кукурузы — родительских форм. *Зерновое хозяйство России*. 2024; 16(4): 105–112. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-93-4-105-112>
16. Котляров В.В., Котляров Д.В., Яблонская Е.К., Новожилов А.С. Эффективность отбора на засухоустойчивость в популяции кукурузы в различных экологических условиях. *Научный журнал КубГАУ*. 2025; 205: 415–429. <https://elibrary.ru/qveqda>

REFERENCES

1. Nikolaev M.V. The impact of climate change on crop farming in the drained lands of the European Non-Chernozem region of Russia: vulnerability and adaptation assessment. *Agricultural Biology*. 2023; 58(1): 60–74. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.60eng>
2. Matishov G.G., Dashkevich L.V., Titov V.V., Kirillova E.E. Analysis of intracentury environmental variability in the Sea of Azov and Lower Don Regions: the cause of low water period. *Science in the South of Russia*. 2021; 17(1): 13–23 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S25000640210102>
3. Gudko V.N., Usatov A.V., Azarin K.V. Seasonal and annual dynamics of hydrothermal conditions in the Eastern natural and agricultural zone of the Rostov region in 1961–2020. *Arid ecosystems*. 2023; 29(2): 29–35 (in Russian). <https://elibrary.ru/osfpn>
4. Krivosheev G.Ya., Shevchenko N.A., Ignatiev A.S. Drought tolerance of the new self-pollinated lines of maize and the methods of its estimation. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021; (3): 95–106 (in Russian). <https://elibrary.ru/mankwt>
5. Panfilova O.N., Chugunova E.V., Derunova S.N. Source material for the selection of corn for drought tolerance. *Agrarian Scientific Journal*. 2020; (2): 29–37 (in Russian). <https://elibrary.ru/ifepop>
6. Panfilova O.N., Chugunova E.V., Dergunova S.N. Dependence of the corn grain yield and harvesting humidity on the SCC in the conditions of the north-west of the Volgograd region. *Agrarian Scientific Journal*. 2023; (1): 34–40 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i1pp34-40>
7. Worku M. *et al.* On-farm performance and farmers' participatory assessment of new stress-tolerant maize hybrids in Eastern Africa. *Field Crops Research*. 2020; 246: 107693. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107693>
8. Guseva S.A., Bochkareva Y.V., Volkov D.P., Bashinskaya O.S., Nosko O.S., Larina T.V. An evaluation of relative drought tolerance of sugar maize varieties under laboratory conditions. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023; (5): 7 (in Russian). <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.33.4>
9. Likhovidova V.A., Ionova E.V. The effect of arid growing conditions on water deficit and chlorophyll content of the winter wheat varieties with various productivity. *Agrarian science*. 2020; (5): 72–75 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-72-75>
10. Kapustin S.I., Kapustin A.S. Selection of source material and combinative ability of new corn lines in the steppe zone. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2024; (2): 31–36 (in Russian). <https://elibrary.ru/sxtkyg>
11. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V. The effect of the moisture availability rate on the productivity and nutritional value of sorghum crops. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024; 54(2): 22–30 (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-2-3>
12. Yadav O.P. *et al.* Genetic Improvement of Maize in India: Retrospect and Prospects. *Agricultural Research*. 2015; 4(4): 325–338. <https://doi.org/10.1007/s40003-015-0180-8>
13. Sheoran S., Kaur Y., Kumar S., Shukla S., Rakshit S., Kumar R. Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize (*Zea mays* L.): Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 872566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>
14. Orlyanskaya N.A., Orlyansky N.A., Chebotarev D.S. Comparative indexing of early-maturing corn hybrids in multi-environment trial. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24(4): 581–591 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591>
15. Gorbacheva A.G., Krivosheev G.Ya., Ignatiev A.S., Orlyanskaya N.A. Ecological study of parental forms of simple sterile maize hybrids. *Grain Economy of Russia*. 2024; 16(4): 105–112 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-93-4-105-112>
16. Kotlyarov V.V., Kotlyarov D.V., Yablonskaya H.K., Novozhilov A.S. Effectiveness of selection for drought resistance in corn populations under different ecological conditions. *Scientific Journal of KubSAU*. 2025; 205: 415–429 (in Russian). <https://elibrary.ru/qveqda>

17. Tynykulov M.K., Djemaedina I.M., Auzhanova M.A., Kuznecova M.A. Ecological examination of corn hybrids in drought conditions in Akmola region. *Science and education*. 2024; (1-2): 93–100. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2024-1-2-93-100>
18. Гусева С.А., Маслова Г.А., Носко О.С. Оценка исходного материала сахарной кукурузы для селекции в засушливых условиях Саратовской области. *Вестник Омского ГАУ*. 2024; 4(56): 54–65. <https://elibrary.ru/itciqf>
19. Кравцов А.М. Продуктивность среднеранних гибридов кукурузы иностранной селекции в зоне неустойчивого увлажнения на черноземе типичном Западного Предкавказья. *Современные векторы развития науки. Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2023 год*. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина. 2024; 28-30. <https://elibrary.ru/cnczdr>
20. Горбачева А.Г., Дридигер В.В., Ветошкина И.А. Поукосные и пожнивные посевы гибридов кукурузы в зоне достаточного увлажнения Ставропольского края. *АПК России*. 2024; 31(4): 509-514. <https://doi.org/10.55934/2587-8824-2024-31-4-509-514>

ОБ АВТОРАХ

Геннадий Яковлевич Кривошеев
кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
genadiy.krivosheev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5876-7672>

Алексей Станиславович Игнатьев
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
ignatev1983@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0319-4600>

Николай Алексеевич Шевченко
техник-исследователь
ORCID ID: 0000-0001-5869-367X

Валентина Леонидовна Газе
младший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-4618-6125>

Ирина Алексеевна Лобунская
агроном
<https://orcid.org/0000-0003-1537-8498>

Аграрный научный центр «Донской»,
ул. Научный городок, 3, Зерноград, Ростовская обл.,
347740, Россия

17. Tynykulov M.K., Djemaedina I.M., Auzhanova M.A., Kuznecova M.A. Ecological examination of corn hybrids in drought conditions in Akmola region. *Science and education*. 2024; (1-2): 93–100. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2024-1-2-93-100>

18. Guseva S.A., Maslova G.A., Nosco O.S. The evaluation of sweet corn basic material for breeding in arid conditions of the Saratov region. *Vestnik of Omsk SAU*. 2024; 4(56): 54–65 (in Russian). <https://elibrary.ru/itciqf>

19. Kravtsov A.M. Productivity of mid-early hybrids of corn of foreign selection in the zone of unstable moisture on typical chernozem of the Western Ciscaucasia. *Modern vectors of scientific development. Collection of articles based on the materials of the annual scientific and practical conference of teachers on the results of research for 2023*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. 2024; 28-30 (in Russian). <https://elibrary.ru/cnczdr>

20. Gorbacheva A.G., Dridiger V.V., Vetoshkina I.A. Post-harvest and post-harvest crops of corn hybrids in the zone of sufficient moisture in the Stavropol Territory. *Agro-industrial complex of Russia*. 2024; 31(4): 509-514 (in Russian). <https://doi.org/10.55934/2587-8824-2024-31-4-509-514>

ABOUT THE AUTHORS

Gennady Yakovlevich Krivosheev
Candidate of Agricultural Sciences,
leading researcher
genadiy.krivosheev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5876-7672>

Alexey Stanislavovich Ignatiev
Candidate of Agricultural Sciences,
senior researcher
ignatev1983@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0319-4600>

Nikolai Alekseevich Shevchenko
Technician-researcher
<https://orcid.org/0000-0001-5869-367X>

Valentina Leonidovna Gaze
junior researcher
<https://orcid.org/0000-0002-4618-6125>

Irina Alekseevna Lobunskaya
Agronomist
<https://orcid.org/0000-0003-1537-8498>

Agricultural Research Center “Donskoy”,
3 Nauchny gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740,
Russia

Подпишитесь на печатные выпуски «АГРАРНОЙ НАУКИ» с любого месяца и на любой срок

» В РЕДАКЦИИ по тел. +7 (495) 777-67-67, доб. 1453,
по agrovetpress@inbox.ru

» В АГЕНТСТВЕ ПОДПИСКИ
ООО «Урал-Пресс Округ»
<https://www.ural-press.ru/catalog/>

» БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
на отраслевом портале
<https://agrarnayanauka.ru/rassylka-zhurnala/>

» ПОДПИСКА НА АРХИВНЫЕ НОМЕРА
И ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ
на сайте Научной электронной библиотеки
www.elibrary.ru

