

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ И ПРИБАВКЕ УРОЖАЙНОСТИ ПРОСА ПОСЕВНОГО В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

**Камалеев Рамиль Дамирович**, кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, 460000, Оренбургская область, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29, 8 (35-32) 30-81-70, e-mail: fncbst@mail.ru.

**Неверов Александр Алексеевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН,

460000, Оренбургская область, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29, 8 (35-32) 30-81-70, e-mail: fncbst@mail.ru.

**Ключевые слова:** просо посевное, селекционный номер, прибавка урожайности, селекционируемый признак, многомерный анализ.

Продуктивность проса посевного с единицы площади обусловлена тремя компонентами структуры урожайности. Прибавка же в урожайности создается за счет аддитивного влияния различий этих компонентов у сравниваемых сортов. Целью исследования явилось выявление закономерностей в дисперсии урожайности и дисперсии прибавки урожайности зерна проса посевного. Исследования проводились в Оренбургской области РФ. Материалами исследований послужили длительные ряды наблюдений в селекционных питомниках проса посевного ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. Анализ связи проводился методом множественной линейной регрессии. Многомерный анализ выявил, что роль индексов в детерминации дисперсии прибавки урожайности значительно отличается от роли элементов структуры урожая в определении разброса значений самой урожайности. Так, если доля влияния озернённости метелки на дисперсию урожайности зерна проса составляет 67,5 % случая, то доля влияния индекса этого селекционируемого признака на вариацию прибавки урожайности составляет 49,4 % случая. При этом возрастает доля других индексов (с 17,9% до 28,0% – возрастание индекса количества продуктивных стеблей и с 5,6% до 11,6% – возрастание индекса массы 1000 зерен). Для практической селекции проса представляют интерес селекционные номера с лучшей озернённостью метёлки и высокой агроэкологической устойчивостью формирования урожая в загущенных посевах.

**Исследовательская работа выполнена согласно теме государственного задания № 0526-2022-0015**

### Введение

Урожайность зерновых культур функционально зависит от его структурных элементов: числа продуктивных стеблей на единице площади, количества зёрен в колосе или метёлке и абсолютной массы зерновки. В свою очередь число продуктивных стеблей – фактор мультипликативный и зависит от количества растений перед учётом урожая и продуктивной кустистости. Количество растений перед уборкой определяется, наряду с адаптивной устойчивостью генотипа к неблагоприятным условиям экологии, также посевными качествами семян, агротехникой и в значительной степени варьирует от фитосанитарных условий вегетационного периода.

Прибавка же урожайности создается за счет различного влияния этих компонентов у сравниваемых сортов. Эти различия выражаются как отношение компонента структуры урожая более продуктивного сорта (номера, линии) к тому же компоненту менее продуктивного сорта (номера, линии или стандарта) [1,2,6,7].

Цель нашей работы: выявление закономерностей в дисперсии урожайности и диспер-

сии прибавки урожайности зерна проса посевного.

### Материалы и методы исследований

Материалами исследований послужили длительные ряды наблюдений в селекционных питомниках проса посевного ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. Анализ связи проводился методом множественной линейной регрессии в программе Статистика.

### Результаты исследований

Для создания статистической модели и выявления закономерностей формирования урожайности проса посевного от элементов её структуры бралась урожайность стандарта в конкурсном сортоиспытании за 1995-2020 гг. (местоположение селекционного участка – Оренбургский район, Оренбургской области). Описательная статистика потенциальных предикторов данной модели показана в таблице 1.

Урожайность зерна варьировала от 4,3 до 40,9 ц га<sup>-1</sup> при среднем значении 19,7 ц га<sup>-1</sup>. Коэффициент вариации (V) составил 52,8%. Значительно варьировали элементы структуры урожая: количество растений на 1 м<sup>2</sup> от 52 до 436, среднее 214,8, V = 45,4%; количество зёрен в ме-

**Таблица 1**

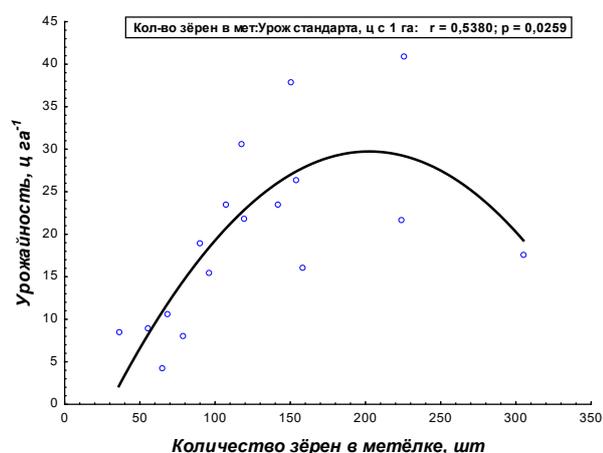
**Описательная статистика потенциальных предикторов для регрессионной модели урожайности проса (St.)**

Предикторы	Среднее	Min	Max	S <sup>a</sup>	V <sup>b</sup> , %
Урожайность проса, ц с 1 га	19,7	4,3	40,9	10,4	52,8
Количество растений на 1 м <sup>2</sup>	214,8	52,0	436,0	97,5	45,4
Продуктивная кустистость, шт.	1,0	1,0	1,5	0,1	10,0
Количество зёрен в метёлке, шт.	128,9	36,0	305,0	70,4	54,6
Масса 1000 зёрен, г	7,7	6,0	9,0	0,9	11,7

<sup>a</sup>Стандартное отклонение

<sup>b</sup>Коэффициент вариации

телке – от 36 до 305, среднее – 128,9, V = 54,6%. Два других элемента структуры урожая в меньшей степени изменялись, демонстрируя стабильные результаты: продуктивная кустистость от 1 до 1,5, V = 10%; масса 1000 зёрен от 6 до 9 грамм при среднем значении 7,7 г и V = 11,7 %.



**Рис. 1. – Связь урожайности проса с количеством зёрен в метёлке**

Анализ формы связей предикторов показал наличие сильной нелинейной зависимости урожайности проса от некоторых элементов структуры: например числа зёрен в метёлке (рис.1).

Учитывая нелинейность связей для модели множественной линейной регрессии, некоторые предикторы преобразованы через логарифмирование с помощью функции натурального логарифма (Ln). В результате получена статистическая модель множественной регрес-

сии урожайности проса с элементами структуры урожая (табл. 2), в которую вошли предикторы, детерминирующие дисперсию резульативного признака (предиктанта) в 90% случаев, со стандартной ошибкой оценки 3,6 ц га<sup>-1</sup>.

**Таблица 2**

**Регрессионная модель зависимости урожайности проса посевного от компонентов его структуры**

Источник варьирования	Коэффициенты регрессии	Уровень значимости	Доля влияния фактора, %
У-пересечение	-120,7	0,000	-
Ln (Число зёрен в метёлке)	15,3	0,000	67,5
Количество растений	0,09	0,000	17,9
Ln (масса 1000 зёрен)	24,5	0,015	5,6

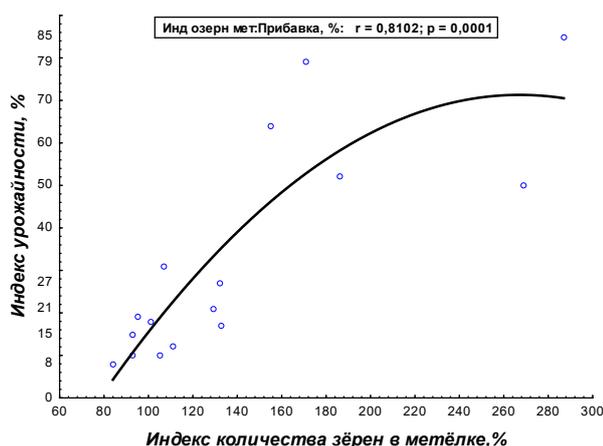
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,90;  
Стандартная ошибка оценки = 3,6 ц га<sup>-1</sup>

Наибольшее влияние на формирование урожайности оказало число зёрен в метёлке, доля влияния 67,5%. В 17,9% случая влияние на урожайность оказывала предуборочная густота стояния растений. Меньший вклад в дисперсию урожая вносил фактор размера зерновки – 5,6%. Продуктивная кустистость не вошла в качестве предиктора в модель в виду её незначительного влияния на предиктанта.

Однако, как известно, роль элементов структуры урожая в определении разброса значений урожайности может отличаться от роли индексов в детерминации дисперсии прибавки урожайности [3, 4, 7, 8].

Для выявления закономерностей в дисперсии прибавки урожайности зерна проса за 1995-2020 гг. нами использованы индексы селектируемых признаков, представляющих собой отношение компонента структуры урожая более продуктивного сорта (в нашем случае давшего наибольшую прибавку к стандарту в конкретном году) к тому же компоненту у сорта-стандарта и выраженного в % [4].

Поскольку связи индексов элементов структуры с индексом прибавки урожайности характеризуются значительной нелинейностью (рис. 2), в модель вошли преобразованные логарифмированием независимые предикторы.



**Рис. 2. – Нелинейность связи прибавки урожайности от индекса количества зёрен в метёлке**

В результате расчётов получена многомерная модель линейной регрессии прибавки урожайности зерна проса (табл.3), в которую также, как и в случае с моделью урожайности стандарта, в качестве наиболее значимых факторов вошли те же предикторы: индексы количества зёрен в метёлке, количества растений и массы 1000 зёрен. В модели из-за незначимости эффекта отсутствует продуктивная кустистость растений.

**Таблица 3**

**Регрессионная модель зависимости прибавки урожайности проса посевного от величины индекса селектируемого признака**

Источник варьирования	Коэффициенты регрессии	Уровень значимости	Доля влияния фактора, %
У-пересечение	-1196,6	0,000	-
Ln (Индекс количества зёрен в метёлке)	125,0	0,000	49,4
Ln (Индекс количества растений)	111,3	0,000	28,0
Индекс массы 1000 зёрен	1,06	0,003	11,6
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,89; Стандартная ошибка оценки = 9,4%			

В принципе во второй модели повторяется иерархия значимых факторов. Однако есть различия. При той же примерно доле объяснённой вариации 89% против 90% результативного признака доля индекса количества зёрен уменьшилась с 67,5 до 49,4%, при этом доля индекса количества растений и массы 1000 зёрен увеличилась с 17,9 до 28,0% и с 5,6% до 11,6% соответственно. Роль последних двух факторов в формировании прибавки урожая проса возрастает.

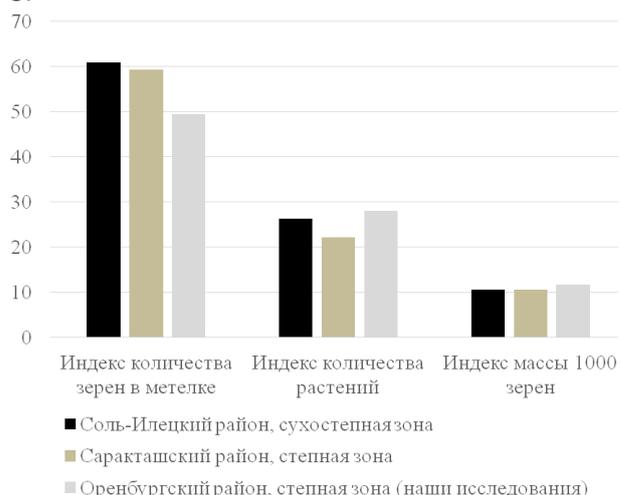
## Обсуждение

Данное исследование по сути является продолжением работ Тихонова В.Е. и его коллег (Неверов А.А., Кондрашова О.А.), проведенных для различных зон Оренбургской области и для различных культур: яровой мягкой и твердой пшеницы, ярового ячменя, проса посевного.

По просу такая работа выполнена Тихоновым В.Е. и Неверовым А.А. для Степной Заволжской провинции (Саракташский госсортухасток (ГСУ), данные за 1958-2000 гг.) и Сухостепной Заволжской провинции (Соль-Илецкий ГСУ, данные за 1960-2012 гг.) [5]. Результаты показали, что основная доля влияния на вариацию прибавки урожайности проса в сортоиспытании в степной и сухостепной зонах Оренбургского Предуралья принадлежит индексам количества зёрен на одно продуктивное растение (59-61 % т.е. 6 лет из десяти) и количеству продуктивных растений на единице площади (22-26 %, т.е. 2-3 года из десяти), что в сумме составляет 8-9 лет влияния из 10-ти.

Годы, обуславливающие вариацию прибавки урожайности за счёт индекса массы 1000 зерен, для проса будут встречаться 1 раз за 10 лет. Следовательно, процесс селекции по этому индексу будет более длительный, поскольку однажды выделенные номера приходится «прокачивать» через селекционные питомники, дожидаясь повторного появления подобных лет.

Выводы, сделанные в работе Тихонова В.Е. и Неверова А.А., подтверждают и наши исследования, что наглядно показано на рисунке 3.



**Рис. 3 – Вклад селекционных индексов в вариацию уровня прибавки урожайности проса (%)**

Повышение крупнозёрности у многих возделываемых культур считалось одной из глав-

ных целей селекционной работы [9, 10, 11,]. Но как показали данные (рис. 3), прибавка урожайности новых номеров проса по отношению к стандарту, обусловленная более крупным зерном, будет примерно в 10 % лет, что не достаточно для проведения отбора в селекционном процессе, ориентируясь на данный критерий. И это подтверждается на длительном ряде наблюдений: 52 года в сухостепной зоне и 62 года – в степной зоне (если учесть то, что Саракташский ГСУ и селекционные питомники нашего центра находятся в одной природной зоне (Степная Заволжская Провинция), и исследования проведены на разных временных отрезках, то при сложении двух временных рядов получится период с 1958 по 2020 гг.). О том, что по массе 1000 зерен новые сорта в ряде случаев уступают «старым» генотипам указывает и Тихонов Н.П. [12]. В этой связи очевидно, что крупнозёрность среди комплекса селектируемых признаков проса выглядит как явно второстепенный признак.

#### **Заключение**

В современных почвенно-климатических условиях центральной степной зоны Оренбуржья закономерности в формировании урожайности зерна проса и её прироста в селекционном процессе имеют значительные различия. Для практической селекции проса представляет интерес статистическая модель зависимости прибавки урожайности проса от варьирования индекса селектируемых признаков (табл. 3). На основе этой модели в заключительных питомниках селекционного процесса приоритет необходимо отдавать селекционным номерам, которые формируют метелку с большим количеством зерен по сравнению со стандартом, а также с высокой агроэкологической устойчивостью формирования урожая в загущенных посевах.

#### **Библиографический список**

1. Тихонов, В. Е. Селекционные индексы и тактика отбора зерновых культур в степной зоне Урала / В. Е. Тихонов // Аграрная наука. – 2010. – № 7. – С. 12-14.

2. Тихонов, В. Е. Агроклиматические ресурсы степного Приуралья: изменчивость и прогнозирование : монография / В. Е. Тихонов, О. А. Кондрашова, А. А. Неверов. – Оренбург : ФГБНУ Оренбургский НИИСХ, 2013. – 324 с.

3. Тихонов, В. Е. Методология оценки и прогнозирования агроэкологических ресурсов урожайности ярового ячменя в степной зоне Зауралья, повышающая эффективность селекции данной культуры : методические рекомендации

/ В. Е. Тихонов. – Оренбург : ФГБНУ Оренбургский НИИСХ, 2014. – 75 с.

4. Тихонов, В. Е. Методология формирования агроэкотипа сорта в степной зоне Урала (на основе взаимодействия генотип – среда) / В. Е. Тихонов, О. А. Кондрашова, А. А. Неверов. – Оренбург : ФГБНУ Оренбургский НИИСХ, 2015. – 153 с. – ISBN 978-5-91854-162-3.

5. Тихонов, В. Е. Методологические основы формирования агроэкотипа сорта проса в степном Предуралье на основе моделирования ожидаемого взаимодействия генотип – среда / В. Е. Тихонов, А. А. Неверов // Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства в условиях часто повторяющихся засух : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию юбилею Оренбургского научно-исследовательского института с/х / главный редактор Г. И. Бельков. – Оренбург : ФГБНУ Оренбургский НИИСХ, 2017. – С. 78-89.

6. Кондрашова, О. А. Закономерности формирования и прибавки урожайности ячменя в селекционном процессе в сухостепном Предуралье / О. А. Кондрашова // Известия Оренбургского ГАУ. – 2011. – № 31-1. – Т. 3. – С. 32-34.

7. Кондрашова, О. А. О тактике отбора перспективных номеров ячменя в селекционном процессе для сухостепного Предуралья / О. А. Кондрашова // Известия Оренбургского ГАУ. – 2012. – № 35-1. – Т. 3. – С. 56-59.

8. Кондрашова, О. А. Новая стратегия формирования агроэкотипа сорта ячменя в степной зоне Урала / О. А. Кондрашова, Н. И. Тишков, Т. А. Тимошенкова // Известия Оренбургского ГАУ. – 2013. – № 4(42). – С. 46-48.

9. Германцева, Н. И. Селекция нута на крупность семян / Н. И. Германцева, Т. В. Селезнёва // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2018. – № 2 (19). – С. 6-8.

10. Зинченко, В. И. Масса 1000 зёрен в селекции на продуктивность яровой мягкой пшеницы / В. И. Зинченко // Пути увеличения производства и улучшения качества сельскохозяйственной продукции в Казахстане : тезисы докладов Республиканской научно-практической конференции, посвященной 35-летию Актюбинской ГОСХОС. – Актюбинск, 1992. – С. 33-34.

11. Зотиков, В. И. Качество зерна сортообразцов гороха, гречихи и проса / В. И. Зотиков, Л. Н. Варлахова, С. В. Бобков // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2010. – № 1(4). – С. 26-28.

12. Тихонов, Н. П. Эколого-генетические аспекты и результаты селекции проса посевного на крупнозёрность / Н. П. Тихонов, Т. В. Тихонова // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2022. – № 1(41). – С. 82-89.

## CONSISTENT PATTERNS IN FORMATION OF YIELD AND YIELD INCREASE OF COMMON MILLET IN THE CENTRAL ZONE OF THE ORENBURG CIS-URAL REGION

Kamaleev R. D., Neverov A. A.

Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences  
460000, Orenburg region, Orenburg, 9 January st., 29, 8 (35-32) 30-81-70, e-mail: fncbst@mail.ru.

**Key words:** millet, selection number, yield increase, selectable trait, multivariate analysis.

The productivity of millet per area unit is determined by three components of yield structure. The increase of yield is created by additive effect of differences in these components in the compared varieties. The aim of the study was to identify patterns in yield dispersion and yield increase dispersion of common millet grain. The research was carried out in Orenburg region of the Russian Federation. The materials of the research were long series of observations in the breeding nurseries of common millet of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences. The relation was analyzed using the multiple linear regression method. Multivariate analysis revealed that the role of indexes in determination of dispersion of yield increase differs significantly from the role of yield structure elements in specification of the spread of yield values. Thus, if the share of the influence of the panicle grain content on dispersion of the yield of millet grain is 67.5% of cases, then the share of the influence of the index of this selectable trait on variation in yield increase is 49.4% of cases. At the same time, the share of other indexes increases (from 17.9% to 28.0% – an increase of the index of the number of productive stems and from 5.6% to 11.6% – an increase of the mass index of 1000 grains). For practical millet breeding, selection numbers with better panicle grain content and high agro-ecological stability of crop formation in thickened crops are of great interest.

### Bibliography:

1. Tikhonov, V. E. Breeding indexes and tactics of selection of grain crops in the steppe zone of the Urals / V. E. Tikhonov // *Agrarian science*. – 2010. – No 7. – P. 12-14.
2. Tikhonov, V. E. Agro-climatic resources of the Ural steppe: variability and forecasting: monograph / V. E. Tikhonov, O. A. Kondrashova, A. A. Neverov. – Orenburg: FSBSI Orenburg Research Institute of Agriculture, 2013. – 324 p.
3. Tikhonov, V. E. Methodology for assessing and forecasting of agro-ecological resources of spring barley yield in the steppe zone of the Trans-Urals, increasing the efficiency of breeding of this crop: instructional guidelines / V. E. Tikhonov. – Orenburg: Orenburg Research Institute of Agriculture, 2014. – 75 p.
4. Tikhonov, V. E. Methodology for formation of a variety agroecotype in the steppe zone of the Urals (based on the interaction of genotype-environment). – Orenburg: FSBSI Orenburg Research Institute of Agriculture, 2015. – 153 p. – ISBN 978-5-91854-162-3.
5. Tikhonov, V. E. Methodological foundations for formation of an agroecotype of millet variety in the steppe Cis-Urals based on modeling the expected interaction of genotype – environment / V. E. Tikhonov, A. A. Neverov // *Scientific support of innovative development of agriculture in the conditions of frequently recurrent droughts : collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of Orenburg Scientific Research Institute of Agriculture / editor-in-chief G. I. Belkov*. – Orenburg: FSBSI Orenburg Research Institute of Agriculture, 2017. – P. 78-89.
6. Kondrashova, O.A. Patterns of formation and yield increase of barley in the breeding process in the dry steppe Cis-Urals / O.A. Kondrashova // *Izvestiya of Orenburg State Agrarian University*. – 2011. – No 31-1. – V. 3. – P. 32-34.
7. Kondrashova, O. A. On the tactics of selecting promising numbers of barley in the breeding process for the dry steppe Cis-Urals / O. A. Kondrashova // *Izvestiya of Orenburg State Agrarian University*. – 2012. – No 35-1. – V. 3. – P. 56-59.
8. Kondrashova, O. A. A new strategy for formation of a barley agroecotype in the steppe zone of the Urals / O. A. Kondrashova, N. I. Tishkov, T. A. Timashenkova // *Izvestiya of Orenburg State Agrarian University*. – 2013. – No 4 (42). – P. 46-48.
9. Germantseva, N. I. Selection of chickpea for seed size / N. I. Germantseva, T. V. Selezneva // *Agrarian Vestnik of the South-East*. – 2018. – No 2 (19). – P. 6-8.
10. Zinchenko, V. I. Weight of 1000 grains in breeding for productivity of spring soft wheat / V. I. Zinchenko // *Ways to increase production and improve the quality of agricultural products in Kazakhstan: abstracts of reports of the Republican Scientific and Practical conference dedicated to the 35th anniversary of Aktobe Agricultural Experimental Station*. – Aktyubinsk, 1992. – P. 33-34.
11. Zotikov, V.I. Grain quality of pea, buckwheat and millet varieties // *Agrarian Vestnik of the South-East*. – 2010. – No 1(4). – P. 26-28.
12. Tikhonov, N. P. Ecological and genetic aspects and results of selection of millet for grain size / N. P. Tikhonov, T. V. Tikhonova // *Leguminous and cereal crops*. – 2022. – No 1 (41). – P. 82-89.