

ISSN 2304-9081

Учредители:  
Уральское отделение РАН  
Оренбургский научный центр УрО РАН

**Бюллетень**  
**Оренбургского научного центра**  
**УрО РАН**



**2015 \* № 1**

**Электронный журнал**  
On-line версия журнала на сайте  
<http://www.elmag.uran.ru>

© В.Е. Тихонов, А.А. Неверов, 2015

УДК 523.745:550:38:631.559(470.56)

*В.Е. Тихонов, А.А. Неверов*

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ АГРОЭКОТИПА СОРТА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ ГЕНОТИП – СРЕДА В СТЕПНОМ ПРИУРАЛЬЕ.**

Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Оренбург, Россия

*Цель.* Разработать методологические основы формирования агроэкотипа сорта зерновых культур в селекционном процессе на основе взаимодействия генотип – среда в степном Приуралье.

*Материалы и методы.* Для решения поставленных задач анализировали результаты конкурсного сортоиспытания за длительный период сортов яровой пшеницы и ярового ячменя в степной зоне Урала. Решение проблемы прогнозирования урожайности базировалось на современных знаниях ритмики планетно-солнечно-земных связей. Применялись: метод нейронных сетей и метод остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох.

*Результаты.* Установлены различия в закономерности формирования урожайности и прибавки урожайности для указанных культур в условиях степной зоны Урала. На этой основе разработана новая стратегия отбора перспективных сортономеров в селекционном процессе, которая позволяет эффективно выводить новые сорта, более урожайные для засушливых условий.

*Заключение.* Предложена новая наукоёмкая технология селекции зерновых культур, максимально адаптированная к погодным условиям степной зоны Урала.

*Ключевые слова:* селекционные индексы, урожайность, прогноз, новая тактика отбора перспективных сортономеров.

---

---

*V.E. Tikhonov, A.A. Neverov*

**THE METHODOLOGICAL BASIS FOR THE FORMATION OF AGROECOTYPE VARIETIES OF GRAIN CROPS ON THE BASIS OF INTERACTION IN THE SYSTEM GENOTYPE - ENVIRONMENT IN THE URALS STEPPE**

Orenburg Scientific Research Institute of Agriculture, Orenburg, Russia

*Aim.* To develop a methodological basis for the formation of agroecotype varieties of grains cultures in the selection process based on the interaction genotype - environment in the Urals steppe.

*Materials and methods.* To achieve these objectives, we analyzed the results of competitive trials over a long period of spring wheat and spring barley in the steppe zone of the Urals. The solution to the problem of forecasting the yield was based on contemporary knowledge, the rhythm of the planetary-solar-terrestrial relations. Used: a method of neural networks and method residual variance in conjunction with the method of superposition of age.

*Results.* The differences in the formation of yield and increase yields for these crops in the steppe zone of the Urals. On this basis, developed a new strategy for the selection of promising cartoneros in the selection process, which can effectively remove new varieties, more productive dryland conditions.

*Conclusion.* The proposed new science-intensive technology breeding of crops, most adapted to the weather conditions of the steppe zone of the Urals.

*Key words:* selection indices, yield, forecast, new tactics selection of promising sorts.

## **Введение**

Н.И. Вавилов писал: «Мы не отказываемся от селекции как искусства, но для уверенности, быстроты и преемственности в работе мы нуждаемся в твёрдой, разработанной теории селекционного процесса. Коллектив не может работать по интуиции на случайных удачах. Для планомерной работы, имеющей определённую целеустремлённость, нужны твёрдые научные основы. ...Зависимость сорта от среды и невозможность его оторвать от внешних условий заставляют исследовать сорт в условиях определённой среды. Вопрос о среде и взаимодействии организма и среды является одним из важнейших разделов селекции» [1, с. 333, 337].

По утверждению В.А. Драгавцева и Н.В. Кочериной [2], из всех генетических и эколого-генетических процессов, увеличивающих генотипическую изменчивость количественных признаков, самый сильный вклад в продуктивность может обеспечить эффект взаимодействия генотип-среда (ВГС).

В период 1972-1984 гг. создана и развита модель эколого-генетической организации сложных полигенных количественных признаков. С точки зрения этой модели, никаких отдельно существующих полигенов вообще нет. Было показано, что эколого-генетическая формула количественного признака есть система взаимосвязанных полигенов и лимитирующих факторов внешней среды, в которой происходит переопределение спектров генов и их числа при смене лимитирующего фактора внешней среды [3].

На базе процитированных работ сформулирован ряд задач. Рассчитать селекционные индексы элементов структуры урожайности по результатам длительных испытаний сортов на госсортоучастках Оренбургской области и смоделировать долю их влияния на уровень прибавки урожайности (индекс урожайности) в определённых климатических условиях. Далее «подставить» растения селективируемых сортов под спрогнозированные факторы внешней среды (через прогноз ожидаемой урожайности и её структурных элементов), относительно благоприятные для соответствующего селекционного индекса и, тем самым, повысить результативность отбора перспективных сортономеров. Показать необходимость формирования набора сортов для определённой территории, обеспечивающих наибольшую прибавку урожайности на базе соответствующего селекционного индекса.

## **Материалы и методы**

Для решения поставленных задач проведён анализ длительных рядов урожайности яровой пшеницы и ярового ячменя в конкурсном сортоиспытании (КСИ) Государственных сортоучастков степной зоны Урала в границах Оренбургской области, а также КСИ отдела селекции Оренбургского научно-исследовательского института сельского хозяйства.

Для построения модели с прогнозируемыми реакциями любой реальной системы важнейшей процедурой становится обнаружение существенных переменных изучаемой системы [3]. Исходный массив данных, пригодный для долгосрочного прогнозирования, должен охватывать достаточно продолжительный (многие годы) интервал времени.

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур осуществлялось в основном с помощью динамических моделей временных рядов. Но статистические связи не всегда причинно-обусловлены и могут зависеть от других, не выявленных факторов. Задача решалась с помощью различных стохастических алгоритмов аппроксимации. При этом программный продукт «СТАТИСТИКА 6.1. Нейронные сети» использовался для аппроксимации временного ряда по одной и той же переменной на входе и выходе (много-слойный персептрон в задаче прогнозирования временного ряда). Применялись логистические функции активации нейронов.

Для учёта влияния суперпозиции природных ритмов на урожайность сельскохозяйственных культур была создана оригинальная компьютерная программа «ПРОГНОСТИК» [4].

## **Результаты и обсуждение**

Анализ урожайности за длительный период испытания сортов-стандартов и новых сортов показал, что средняя прибавка за счёт селекции в степной зоне Предуралья составила по мягкой пшенице 11,5%, по твёрдой пшенице – 16,2% (табл. 1).

Новые сорта не всегда имели существенную прибавку по отношению к стандарту. Причина такой низкой результативности селекции ячменя кроется в трудности адаптировать сорт к постоянно и резко меняющимся абиотическим стрессорам. Низкие результаты сортомены установлены для территории с недостаточными атмосферными осадками и их резкими колебаниями.

Таблица 1. Урожайность зерна новых сортов яровой пшеницы по сравнению со стандартом (Степная зона Оренбургского Предуралья. КСИ, Оренбургский НИИСХ)

Сорта	Годы испытания	Средняя урожайность, т с 1 га	± к стандарту,	
			т с 1 га	%
<b>Пшеница мягкая</b>				
Лютесценс 62 – стандарт	1950-1959	1,36	+0,09	6,6
Альбидум 43		1,45		
Саратовская 29 – стандарт	1972-1983	2,17	+0,17	7,8
Саратовская 42		2,34		
Саратовская 42 – стандарт	1994-1998	1,46	+0,30	20,5
Учитель		1,76		
Среднее – стандарт	1950-1998	1,66	+0,19	11,5
Среднее – новый сорт		1,85		
<b>Пшеница твёрдая</b>				
Гордеиформе 189 – стандарт	1945-1961	1,00	+0,08	8,0
Мелянопус 69		1,08		
Мелянопус 69 – стандарт	1959-1965	1,47	+0,25	17,0
Харьковская 46		1,72		
Харьковская 46 – стандарт	1982-1998	1,43	+0,25	17,5
Оренбургская 2		1,68		
Харьковская 46 – стандарт	1989-2003	1,55	+0,29	18,7
Оренбургская 10		1,84		
Среднее – стандарт	1945-2003	1,36	+0,22	16,2
Среднее – новый сорт		1,58		

Так, средний прирост урожайности ярового ячменя за период 1959-2009 гг. на Соль-Илецком ГСУ (сухостепная зона) по результатам сортоисменности составил 0,6 ц с 1 га.

Таблица 2. Урожайность зерна новых сортов ячменя по сравнению со стандартом (Степная зона Оренбургского Предуралья. КСИ, Оренбургский НИИСХ)

Сорта	Годы испытания	Средняя урожайность, т с 1 га	± к стандарту	
			т с 1 га	%
Оренбургский 35 – стандарт	1973-1986	2,40	-0,10	4,2
Донецкий 4		2,30		
Донецкий 4 – стандарт	1976-1989	2,14	<b>+0,29</b>	13,5
Донецкий 8		2,43		
Донецкий 8 – стандарт	1986-2011	2,17	+0,04	1,8
Оренбургский 11		2,21		
Оренбургский 11 – стандарт	1991-2012	2,28	+0,19	8,3
Оренбургский 15		2,47		
Оренбургский 15 – стандарт	2002-2012	2,30	+0,10	4,3
Анна		2,40		
Анна – стандарт Натали	2004-2012	2,62	+0,07	2,7
		2,69		
Среднее – стандарт	1973-2012	2,32	+0,10	4,3
Среднее – новый сорт		2,42		

Оценка районированных сортов ячменя в конкурсном сортоиспытании (КСИ) в степной зоне Предуралья и Оренбургского Зауралья за многолетний период приведены в таблицах 2 и 3 соответственно.

*Таблица 3. Урожайность зерна новых сортов ячменя по сравнению со стандартом (Степная зона Оренбургского Зауралья. Новоорский ГСУ, Гайский ГСУ)*

Сорта	Годы испытания	Средняя урожайность, т с 1 га	± к стандарту	
			т с 1га	%
Паллидум 45 – стандарт	1957 -1974	1,44	+0,06	4,2
Прекоциус 143		1,50		
Оренбургский 35 – стандарт	1969 - 1979	1,53	+0,23	15,0
Донецкий 4		1,76		
Донецкий 4 – стандарт	1976 - 1985	1,92	+0,09	4,7
Донецкий 8		2,01		
Донецкий 8 – стандарт	1986 - 2012	1,91	-0,13	6,8
Оренбургский 11		1,78		
Донецкий 8 – стандарт Анна	2002 - 2011	2,12	-0,02	0,9
Донецкий 8 – стандарт Натали		2,10		
Донецкий 8 – стандарт	2005 - 2012	2,02	+0,03	1,5
Натали		2,05		
Среднее - стандарт	1957 - 2012	1,85	+0,04	1,1
Среднее - новый сорт		1,83		

Урожайность зерновых культур обусловлена тремя структурными компонентами: количеством продуктивных стеблей на единице площади, количеством зёрен в колосе и массой 1000 зёрен. Прибавка же в урожайности создается за счёт аддитивного влияния различий этих компонентов у сравниваемых сортов. Эти различия выражаются как отношение компонента структуры урожая более продуктивного сорта к тому же компоненту менее продуктивного сорта:

$$J_s = \frac{K_y}{K_x} \cdot 100,$$

где  $K_y$  – компонент структуры урожая (например, количество зёрен в колосе) более урожайного сорта;  $K_x$  – то же, но у менее урожайного сорта. Отношение двух признаков – есть индекс [3]. Поэтому величина  $J_s$  получила название индекса селективируемого признака [5]. Для оценки значения каждого  $J_s$  в формировании прибавки урожая имеет значение интервал колебания этого индекса по годам у компонентов структуры урожая, обуславливающих превышение продуктивности одного сорта над другим. При этом некоторые из компонентов структуры у высокоурожайного сорта могут не отличаться или же быть меньше по значению, чем у низкоурожайного сорта, то есть  $J_s$  в таких

случаях будет равен или менее 100%.

В каждом году при испытании набора сортов выбранный наиболее перспективный образец должен отличаться от менее урожайного сорта (необязательно стандарта) на величину, равную или превышающую наименьшую существенную разность (НСР). Изучая влияние индекса селектируемого признака на ограниченном отрезке времени, правильно установить и понять вклад этого фактора в изменчивость прибавки урожая в селекционном процессе невозможно.

В процессе моделирования влияния элементов структуры по ряду сортов с наибольшей урожайностью твёрдой пшеницы в рамках множественной регрессии установлено, что в основном колебание урожайности по годам было обусловлено колебанием количества продуктивных стеблей и количеством зёрен в колосе, и только в 3,34% случаев – вариацией массы 1000 зёрен (табл. 4). Из этой же таблицы видно, что из 28 лет в 24 годах ( $33,19+53,64=86,83\%$  случаев) вариация урожайности перспективного сорта твёрдой пшеницы была обусловлена влиянием индекса количества зёрен в колосе.

Варьирование этого признака в процессе селекционной проработки материала необходимо уменьшить. Зависимость прибавки урожайности зерна от индекса озернённости колоса удовлетворительно описывается уравнением параболы 2-ой степени. Поэтому в таблице 4 приводится индекс числа зёрен в колосе во 2-ой степени. Как видно на рисунке 1, усреднённой (теоретической) оптимальной величиной индекса числа зёрен будет соотношение на уровне 120...140%, что обеспечивает прибавку урожайности 20 – 30% (индекс урожайности 120 – 130%).

В практическом плане, начиная с селекционного питомника, где применяется производственная норма высева, отбирается группа перспективных номеров, координаты которых укладываются выше оптимума кривой на рисунке 1, при условии, что погодные факторы данного года обеспечивают наибольшую прибавку урожайности за счёт индекса озернённости колоса.

Эта группа сортономеров продолжает испытываться в следующие годы в питомниках по схеме селекционного процесса.

Таблица 4. Влияние элементов структуры на вариацию урожайности зерна и влияние селективируемых индексов на вариацию прибавки урожайности яровой твёрдой пшеницы для ряда сортов с наибольшей урожайностью (КСИ, Оренбургский НИИСХ. Учтено 28 лет наблюдений)

Источник варьирования	Коэффициенты регрессии	Уровень значимости	Доля влияния фактора, %
<b>Пшеница твёрдая</b>			
Вклад элементов структуры в вариацию урожайности			
У - пересечение	-28,29	0,00	-
Продуктивные стебли, шт./м <sup>2</sup>	0,058	0,00	52,08
Зёрен в колосе, шт.	0,91	0,00	40,73
Масса 1000 зёрен, г	0,40	0,00	3,34
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,961; стандартная ошибка оценки = 1,6 ц/га			
Вклад селективируемых индексов в вариацию прибавки урожайности			
У - пересечение	-329,7	0,00	-
Индекс массы 1000 зёрен	1,114	0,00	3,20
Индекс продуктивных стеблей	2,22	0,00	1,03
Индекс числа зёрен в колосе	1,88	0,00	33,19
(Индекс числа зёрен в колосе) <sup>2</sup>	-0,004	0,00	53,64
(Индекс продуктивных стеблей) <sup>2</sup>	-0,005	0,00	3,23
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,943; стандартная ошибка оценки = 1,5%			
<b>Пшеница мягкая</b>			
Вклад элементов структуры в вариацию урожайности			
У - пересечение	-55,7	0,00	-
Количество зёрен в колосе	2,22	0,00	33,71
(Количество зёрен в колосе) <sup>2</sup>	-0,025	0,00	16,61
Продуктивных стеблей шт./м <sup>2</sup>	0,061	0,00	40,88
Масса 1000 зёрен	0,731	0,00	5,30
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,941; стандартная ошибка оценки = 16,8 г/м <sup>2</sup>			
Вклад селективируемых индексов в вариацию прибавки урожайности			
У - пересечение	-305,7	0,00	-
J <sub>s</sub> количества зёрен в колосе	0,929	0,00	2,61
J <sub>s</sub> массы 1000 зёрен	0,996	0,00	5,86
J <sub>s</sub> продуктивных стеблей на м <sup>2</sup>	3,189	0,00	65,29
(J <sub>s</sub> продуктивных стеблей на м <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	-0,011	0,00	18,88
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,926; стандартная ошибка оценки = 0,75%			

Подобный отбор позволяет накапливать для испытания и передачи на государственное испытание новые сорта, обеспечивающие превышение урожайности над стандартом по количеству зёрен в колосе. Новые сорта твёрдой пшеницы, полученные в результате такого отбора, будут обеспечивать прибавку урожайности в 86,8% случаев (примерно 9 лет из 10).



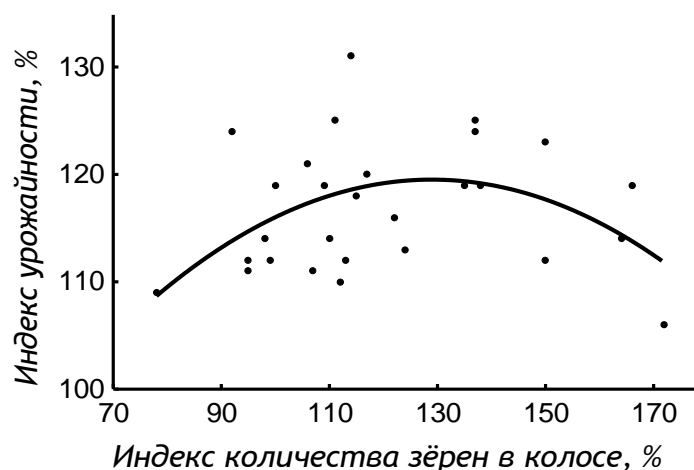


Рис. 1. Зависимость прибавки урожайности зерна яровой твёрдой пшеницы от индекса озернённости колоса. КСИ, Оренбургский НИИСХ, 1980-2008 гг.

Годы, обуславливающие вариацию прибавки урожайности за счёт индекса массы 1000 зёрен, для твёрдой пшеницы будут встречаться менее 1 раза за 10 лет. Следовательно, процесс селекции по этому индексу будет более длительный, поскольку однажды выделенные перспективные номера придется “прокачивать” через селекционные питомники, дожидаясь повторного появления подобных лет.

В таблице 4 в рамках многомерной регрессионной модели показана также доля влияния каждого из трёх основных компонентов структуры на вариацию урожайности зерна наиболее урожайного в каждом году сорта яровой мягкой пшеницы. Из данных этой таблицы видно, что вклад индекса продуктивных стеблей в варьирование прибавки урожайности составил суммарно  $65,29+18,88 = 84,17\%$  случаев (или 24,5 лет). Следует обратить внимание на тот факт, что индекс количества продуктивных стеблей входит в модель в квадратичной форме, то есть данная зависимость имеет куполообразную форму.

Графическое исследование этой связи показало, что расчётный оптимум этого параметра находится на уровне 95...105%. При таких значениях индекса продуктивных стеблей индекс урожайности составляет более 113-116%, то есть прибавка в отдельные годы достигает 13-16% и более. При дальнейшем увеличении индекса количества продуктивных стеблей прибавка урожайности начинает снижаться.

Основные трудности в использовании сортов, отобранных на базе преимуществ отдельных индексов селективируемых признаков, заключаются в

следующем.

Первая трудность возникает уже на стадии государственного сортоиспытания, которое сориентировано на обязательную ежегодную прибавку урожайности у новых сортов, чего в принципе ожидать нельзя в условиях неустойчивого увлажнения. Для оценки новых сортов в таких условиях необходимо как минимум 10 лет [6, 7].

Вторая трудность обусловлена отсутствием прогнозной информации о погоде на предстоящий год и данных о её влиянии на формирование элементов структуры урожайности. Разработка подобных прогнозов – сфера высоких технологий. Возможные подходы к их реализации были ранее показаны в работе В.Е. Тихонова и А.А. Неверова [4]. В связи с этим приходит понимание необходимости формирования сложной информационной системы для обоснования экологических основ селекции.

Не менее сложна и информационная система для генетических основ селекции. Несмотря на многолетние усилия многих поколений биологов, разрыв в нашем понимании информационного потока между генотипом и фенотипом сокращается крайне медленно, если сокращается вообще [8]. Так, В.А. Драгавцев и Н.В. Кочерина [2], анализируя проблемы взаимодействия генетики и селекции растений, приходят к выводу, что генетика на сегодняшний день не является “матерью” селекции в реальном генетическом улучшении количественных признаков и повышении урожаев новых сортов при работе с полигенными системами и эффектами взаимодействия генотип-среда.

К решению подобных программ относится выше приведённый пример использования индексов селективируемых признаков в формировании агроэко-типа сорта на базе генотипа степного экотипа.

Н.В. Кочерина и В.А. Драгавцев [3] описывают 8 индексов, существующих в генетико-селекционной литературе, и 7 индексов – в литературе по физиологии растений, шесть из которых генетически не изучены. По их мнению, в настоящее время все перечисленные индексы используются вне обоснования их прогностической ценности с точки зрения теории эколого-генетической организации сложных признаков продуктивности. Использование того или иного индекса при отборе отдельных растений в расщепляющихся гибридных популяциях, например, яровой пшеницы, приводит к тому, что на пригодность конкретного индекса в селекции в определенной зоне селекционеры обычно

выходят «на ощупь», то есть методом проб и ошибок.

Предложенные В.Е. Тихоновым [5], индексы селективируемых признаков характеризуют прирост урожайности при сравнении сортов в плотных посевах. В таких посевах реализуется весь перечисленный комплекс генетико-физиологических систем на фоне «плавающей» (термин В. Ф. Унгенфухта) засухи степной зоны Среднего Поволжья и Южного Урала, где влага и почвенное питание растений ещё и сегодня не поддаются регулированию. Народная селекция веками основывалась здесь на отборах (индивидуальном и массовом) в плотных посевах и достигла впечатляющих результатов в виде местных сортов-популяций, носящих названия Улька, Полтавка, Гирка, Кубанка, Белотурка и тому подобных. Первый этап научной селекции также представлял собой отборы из местных сортов в посевах с производственной нормой высева. В результате были получены превосходные долгоживущие засухоустойчивые с хорошим качеством зерна, занимающие многомиллионные площади, сорта, такие как: Эритроспермум 841, Лютесценс 62, Гордеиформе 189, Мелянопус 62 и др. Селекция во второй половине XX века на указанной территории базировалась на отборе отдельных растений из расщепляющихся гибридных популяций и достигла хороших результатов в повышении качества зерна, устойчивости к осыпанию зерна и полегаемости растений. Однако успехи в повышении урожайности зерна довольно скромны. Так, А.А. Вьюшков [9] показал, что за 70 лет (с 1932 по 2002 гг.) прирост урожайности яровой твёрдой пшеницы за счёт селекции в Среднем Поволжье (Самарский НИИСХ им. Н.М. Тулайкова) составил 2,1 центнера зерна с 1 га (12,5%); в центральной зоне Оренбургской области успехи селекции были несколько выше.

Особенности формирования прибавки урожайности в селекционном процессе ячменя в степном Предуралье и роль индексов в объяснении вариации прибавки урожайности продемонстрированы в таблице 5. В конкурсном сортоиспытании доля влияния индекса количества зёрен в колосе на разброс значений показателя прибавки урожайности зерна в зоне деятельности Оренбургского НИИСХ составляет 81,85%, то есть в 8 годах из 10 этот индекс будет обуславливать вариацию прибавки урожайности ячменя.

В практическом плане, в плотных посевах отбирается группа перспективных номеров, индексы урожайности (то есть прибавка) которых укладываются выше 115% относительно стандартного сорта при индексе количества

зёрен в колосе более 100% (рис. 2).

Таблица 5. Вклад элементов структуры в вариацию урожайности и вклад селекционных индексов в вариацию прибавки урожайности ячменя (КСИ, Оренбургский НИИСХ, 1973-2012 гг.

Источник варьирования	Коэффициенты регрессии	Уровень значимости	Доля влияния фактора, %
Вклад элементов структуры в вариацию урожайности			
У - пересечение	-135,8	0,00	-
Продуктивные стебли, шт./м <sup>2</sup>	0,781	0,00	53,11
Масса 1000 зёрен, г	0,826	0,00	20,32
Количество зёрен в колосе, шт.	0,776	0,00	19,92
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,933; уровень значимости = 0,00; стандартная ошибка оценки = 34,5 г/м <sup>2</sup>			
Вклад индексов ( <i>J<sub>s</sub></i> ) в вариацию прибавки урожайности			
У - пересечение	-412,86	0,00	-
<i>J<sub>s</sub></i> количества зёрен в колосе	4,320	0,00	81,85
<i>J<sub>s</sub></i> продуктивных стеблей	0,560	0,00	8,49
<i>J<sub>s</sub></i> массы 1000 зёрен	17,00	0,00	0,08
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,904; уровень значимости = 0,00; стандартная ошибка оценки = 1,45 %			

Эта группа сортономеров продолжает испытываться в следующие годы в питомниках по схеме селекционного процесса. Новые сорта, полученные в результате такого отбора, будут обеспечивать прибавку урожайности относительно стандарта в большинстве случаев.

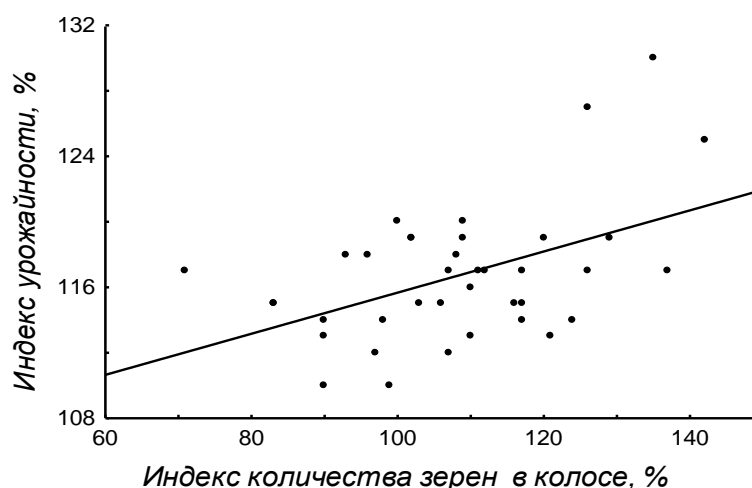


Рис. 2. Зависимость индекса урожайности (прибавки) зерна ярового ячменя от индекса количества зёрен в колосе. КСИ, Оренбургский НИИСХ. 1973-2012 гг.

В степном Оренбургском Зауралье в половине случаев вариация индекса урожайности ярового ячменя обусловлена колебанием индекса продук-

тивных стеблей на единице площади. Кроме того, в 36,63% случаев прибавка урожайности варьирует под влиянием количества зёрен в колосе (табл. 6), тогда как процесс селекции по индексу массы 1000 зёрен на данной территории будет не результативным.

*Таблица 6.* Вклад элементов структуры в вариацию урожайности и вклад индексов селективируемых признаков в вариацию прибавки урожайности ярового ячменя (Новоорский ГСУ, Гайский ГСУ, 46 лет наблюдений)

Источник варьирования	Коэффициенты регрессии	Уровень значимости	Доля влияния фактора, %
Вклад элементов структуры в вариацию урожайности			
У - пересечение	-30,80	0,00	-
Количество зёрен в колосе, шт.	1,578	0,00	49,73
Продуктивные стебли, шт. на кв. м	0,046	0,00	43,18
Масса 1000 зёрен, г	0,334	0,00	3,83
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,9674; уровень значимости = 0,00; стандартная ошибка оценки = 1,8 ц на га			
Вклад селекционных индексов ( $J_s$ ) в вариацию индекса урожайности			
У- пересечение	-382,3	0,00	-
$J_s$ массы 1000 зёрен	1,178	0,00	7,68
$J_s$ продуктивных стеблей	2,56	0,00	46,82
$(J_s \text{ продуктивных стеблей})^2$	-0,0066	0,00	2,93
Сумма	-	-	49,75
$J_s$ количества зёрен в колосе	2,18	0,00	15,72
$(J_s \text{ количества зёрен в колосе})^2$	-0,0046	0,00	20,91
Сумма	-	-	36,63
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,9406; уровень значимости = 0,00; стандартная ошибка оценки = 2,47 %			

Поскольку в степной зоне Зауралья доминирования какого-либо индекса не установлено, возникает необходимость прогнозирования на предстоящий год как урожайности, так и элементов её структуры в абсолютных величинах. Это позволит определить селекционный индекс, обуславливающий вариацию индекса урожайности (прибавку) в погодных условиях предстоящего года. При этом приходится рассчитывать прогнозы указанных характеристик не только по ряду наблюдений с максимальной урожайностью, но и по ряду наблюдений с урожайностью ниже максимальной на наименьшую существенную разность ( $НСР_{05}$ ). Ниже приведены результаты разработки моделей прогнозирования.

Специфика экологического прогнозирования на современном этапе состоит, прежде всего, в видении одного и того же феномена с помощью множества различных и более-менее равноценных моделей (проявление принципа множественности моделей). Поэтому для эффективного функционирования

системы экологического прогнозирования необходимо такое алгоритмическое и программное обеспечение, которое позволило бы учитывать неформальное знание и видение одного и того же феномена с помощью целого множества различных и более-менее равноценных моделей [10].

В связи с тем, что лабораторные данные структурного анализа урожайности по ГСУ Оренбургской области заканчиваются 1993 годом, для изложения алгоритма формирования агроэкоотипа сорта ячменя использована информация по структурному анализу урожайности на Гайском и Новоорском ГСУ за 1957-1993 гг. (37 лет наблюдений). Результаты моделирования урожайности и элементов её структуры представлены в таблицах 7 и 8.

*Таблица 7.* Итоговые статистики обучающих данных и прогноз урожайности ячменя, количества продуктивных стеблей и массы 1000 зёрен на предстоящий год для Гайского ГСУ. Метод нейронных сетей. Учтено 37 лет наблюдений.

Ряд наблюдений по уровню ежегодного показателя	Отношение стандартных отклонений для выборок			Прогноз на предстоящий год
	обучающая	контрольная	тестовая	
Урожайность, ц с 1 га				
Максимальный	0,259	0,243	0,339	17,8 ± 2,3
Ниже максимального на НСР <sub>05</sub>	0,236	0,260	0,289	14,2 ± 1,6
Количество продуктивных стеблей, шт./м <sup>2</sup>				
Максимальный	0,271	0,365	0,387	472 ± 37
Ниже максимального на НСР <sub>05</sub>	0,313	0,325	0,361	380 ± 41
Масса 1000 зёрен, г				
Максимальный	0,271	0,228	0,245	52,4 ± 2,0
Ниже максимального на НСР <sub>05</sub>	0,292	0,237	0,412	53,4 ± 2,0

*Таблица 8.* Итоговые статистики обучающих данных и прогноз урожайности ячменя, количества продуктивных стеблей и массы 1000 зёрен на 1994 год для Гайского ГСУ. Метод остаточных отклонений. Учтено 37 лет наблюдений.

Ряд наблюдений по уровню ежегодного показателя урожайности	Отношение стандартных отклонений для выборок		Тест на текущий год		Прогноз на предстоящий год
	обучающая	контрольная	факт	модель	
Урожайность, ц с 1 га					
Максимальный	0,057	0,254	13,2	14,2	17,6 ± 1,8
Ниже максимального на НСР <sub>05</sub>	0,048	0,460	10,7	12,1	15,6 ± 1,5
Количество продуктивных стеблей, шт./м <sup>2</sup>					
Максимальный	0,200	0,328	214	230	505 ± 31
Ниже максимального на НСР <sub>05</sub>	0,346	0,398	240	222	412 ± 53
Масса 1000 зёрен, г					
Максимальный	0,053	0,332	50	48	51 ± 1,1
Ниже максимального на НСР <sub>05</sub>	0,030	0,581	54	50	52 ± 1,1

Значения отношений стандартных отклонений ошибок к стандартному отклонению данных существенно меньше единицы, что говорит о хорошем качестве регрессии. Это регрессионное отношение (точнее – величину единица минус это отношение) называют долей объяснённой дисперсии модели.

Далее, на основе полученных прогнозных оценок рассчитываются селекционные индексы (табл. 9). Прогнозные значения количества зёрен в колосе рассчитаны на основе пропорции массы зерна в среднем колосе и массы 1000 зёрен.

*Таблица 9.* Урожайность, структура и ячменя, спрогнозированные для Гайского ГСУ на предстоящий год. Селекционные индексы рассчитаны на базе прогнозных значений элементов структуры урожайности. 37 лет наблюдений

Ряд наблюдений по уровню ежегодного показателя урожайности	Прогнозные значения				Селекционные индексы, %			
	Урожайность, ц с 1 га	количество продуктивных стеблей, шт./м <sup>2</sup>	масса 1000 зёрен, г	количество зёрен в колосе, шт.	урожайности	количества продуктивных стеблей	массы 1000 зёрен	количества зёрен в колосе
Метод остаточных отклонений								
Максимальный	17,6	505	51	6,9	113	123	97	94
Ниже максимального на НСР05	15,6	412	52	7,3	-	-	-	-
Метод нейронных сетей								
Максимальный	17,8	472	52	7,2	125	124	99	102
Ниже максимального на НСР05	14,2	380	53	7,0	-	-	-	-

Оба метода моделирования указывают на то, что в предстоящем году решающее влияние на индекс (прибавку) урожайности принадлежит индексу количества продуктивных стеблей на единице площади.

Определив в год уборки урожая селекционные индексы сортономеров относительно уже районированного стандартного сорта в питомниках с производственной нормой высева (контрольный питомник, конкурсное сортоиспытание), для посева в предстоящем году отбираются перспективные номера с учетом наибольшей доли влияния их селекционных индексов. Конкретно в нашем случае это будет индекс продуктивных стеблей.

В процессе проработки селекционного материала в питомниках с произ-

водственной нормой высева, рекомендовано уменьшать вариацию индекса количества продуктивных стеблей, ориентируясь на высокие показатели (табл. 10). Как видно из данной таблицы, на посев в следующем году (1994 г.) следует отобрать сортономера: Красноуфимский 95, Вынахид, Джин, Оренбургский 16, Сталкер.

Таблица 10. Отбор сортономеров для посева в будущем году на основе спрогнозированных селекционных индексов количества продуктивных стеблей на единице площади.  
Оценка сортов относительно стандартного сорта Донецкий 8

№ п/п	Сорт	Урожайность, ц с 1 га	Количество стеблей, шт./кв. м	Количество зёрен в колосе, шт.	Масса 1000 зёрен, г	Индексы			
						урожайности	количества стеблей	количества зёрен в колосе	массы 1000 зёрен
1	Целинный 91	13,5	292	9,0	51,0	113	98	107	107
	Донецкий 8	12,0	298	8,4	47,6				
2	Карабалыкский 150	13,2	214	12,3	50,4	110	72	146	106
	Донецкий 8	12,0	298	8,4	47,6				
3	Красноуфимский 95	16,4	469	7,7	45,5	136	<b>157</b>	92	95
	Донецкий 8	12,0	298	8,4	47,6				
4	Вынахид	13,7	441	6,2	50,1	114	<b>148</b>	74	105
	Донецкий 8	12,0	298	8,4	47,6				
5	Джин	14,4	403	7,8	46,3	120	<b>135</b>	93	97
	Донецкий 8	12,0	298	8,4	47,6				
6	Дуэт	14,0	320	10,0	44,0	117	17	119	92
	Донецкий 8	12,0	298	8,4	47,6				
7	Оренбургский 16	14,7	450	6,8	48,3	122	<b>151</b>	81	101
	Донецкий 8	12,0	298	8,4	47,6				
8	Харьковский 112	14,2	325	10,2	43,1	118	109	121	90
	Донецкий 8	12,0	298	8,4	47,6				
9	Сталкер	17,8	478	7,1	49,3	148	<b>160</b>	84	103
	Донецкий 8	12,0	298	8,4	47,6				

Такие сорта, как Карабалыкский 150, Дуэт и Харьковский 112 должны испытываться в годы, в которые основное влияние на индекс урожайности (то есть прибавку) будет оказывать индекс количества зёрен в колосе. Поэтому они также высеваются в предстоящем году в отдельном питомнике для размножения и последующих отборов в соответствующих погодных условиях.

### Заключение

Предложена новая наукоёмкая технология селекции зерновых культур, максимально адаптированная к погодным условиям степной зоны Урала.



Предложенная стратегия направлена на создание **набора** сортов, каждый из которых обеспечивает оптимальное использование своих благоприятных погодных условий в предстоящем году. Остальные сорта **набора** также пересеваются, но на меньших площадях для получения резерва семян.

Селекция сортов ячменя на базе индекса массы 1000 зёрен на данной территории будет малоперспективна, поскольку этот индекс детерминирует вариацию прибавки урожайности примерно 8 раз за сто лет.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Вавилов Н.И. Селекция как наука. В кн.: Избранные произведения. Ленинград: Наука, Ленинградское отделение, 1967: 328-342.
2. Драгавцев В.А., Кочерина Н.В. Современные проблемы взаимодействия генетики и селекции растений. Аграрная Россия. 2006. 3: 27-29.
3. Кочерина Н.В., Драгавцев В.А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. СПб: СЦДБ, 2008. 88 с.
4. Тихонов В.Е., Неверов А.А. Долгосрочное прогнозирование урожайности полевых культур на основе планетно-солнечно-земных связей в степном Предуралье. [Электрон. ресурс]. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН 2014. 4: 1-14 (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2014-4/Articles/Tikhonov-Neverov-2014-4.pdf>) - дата обращения 20.01.2015 г.
5. Тихонов В.Е. Селекционные индексы и тактика отбора зерновых культур в степной зоне Урала. Аграрная наука. 2010. 7: 12-14.
6. Жученко А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). М.: РУДН, ООО «Издательство Агрорус», 2001. Т. 1. 782 с.
7. Неттевич Э.Д. Влияние условий возделывания и продолжительности изучения на результаты оценки сорта по урожайности. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2001. 3: 34-38.
8. Свердлов Е.Д. Биологический редукционизм уходит? Что дальше? Вестник Российской академии наук. 2006. 76 (8): 707-721.
9. Вьюшков А.А. Селекция яровой пшеницы в Среднем Поволжье. Самара: ООО «СамЛЮКС», 2004. 223 с.
10. Розенберг Г.С., Шитиков В.К., Брусиловский П.М. Экологическое прогнозирование (функциональные предикторы временных рядов). Тольятти, 1994. 182 с.

*Поступила 30.01.2015*

*(Контактная информация: Тихонов Вячеслав Евгеньевич - доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела селекции Оренбургского НИИ сельского хозяйства ФАНО; адрес: г. Оренбург, проспект Гагарина, 27/1, тел. 8 (3532) 446891;*

*Неверов Александр Алексеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологии кормовых культур Оренбургского НИИ сельского хозяйства ФАНО; адрес: г. Оренбург, проспект Гагарина, 27/1, тел. 8 (3532) 710023; E-mail: nevalex2008@yandex.ru).*

---

---

#### **LITERATURA**

1. Vavilov N.I. Selekcija kak nauka. V kn.: Izbrannye proizvedenija. Leningrad: Nauka, Leningradskoe otdelenie, 1967: 328-342.
2. Dragavcev V.A., Kocherina N.V. Sovremennye problemy vzaimodejstvija genetiki i se-

- lekicii rastenij. Agrarnaja Rossija. 2006. 3: 27-29.
3. Kocherina N.V., Dragavcev V.A. Vvedenie v teoriju jekologo-geneticheskoy organizacii poligennyh priznakov rastenij i teoriju selekcionnyh indeksov. SPb: SCDB, 2008. 88 s.
  4. Tihonov V.E., Neverov A.A. Dolgosrochnoe prognozirovanie urozhajnosti polevyh kul'tur na osnove planetno-solnechno-zemnyh svjazej v stepnom Predural'e. [Jelektron. re-surs]. Bjulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN 2014. 4: 1-14 (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2014-4/Articles/Tikhonov-Neverov-2014-4.pdf>) - data obrashhenija 20.01.2015 g.
  5. Tihonov V.E. Selekcionnye indeksy i taktika otbora zernovyh kul'tur v stepnoj zo-ne Urala. Agrarnaja nauka. 2010. 7: 12-14.
  6. Zhuchenko A.A. Adaptivnaja sistema selekcii rastenij (jekologo-geneticheskie osnovy). M.:RUDN, OOO «Izdatel'stvo Agrorus», 2001. T. 1. 782 s.
  7. Nettevich Je.D. Vlijanie uslovij vozdeľyvanija i prodolzhitel'nosti izuchenija na re-zul'taty ocenki sorta po urozhajnosti. Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohoz'jaj-stvennyh nauk. 2001. 3: 34-38.
  8. Sverdlov E.D. Biologicheskij redukcionizm uhodit? Chto dal'she? Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2006. 76 (8): 707-721.
  9. V'jushkov A.A. Selekcija jarovoj pshenicy v Srednem Povolzh'e. Samara: OOO «Sam-LJuKS», 2004. 223 s.
  10. Rozenberg G.S., Shitikov V.K., Brusilovskij P.M. Jekologicheskoe prognozirovanie (funkcional'nye prediktory vremennyh rjadov). Tol'jatti, 1994. 182 s.