

5. Косолапов, В. М. Как оптимизировать производство и использование зернофуража в России/ В. М. Косолапов // Земледелие.– 2010.– № 5.– С. 19-21.
6. Шпаков, А. С. Развитие полевого кормопроизводства в России/ А. С. Шпаков, В. Т. Воловик // Земледелие.– 2009.– № 6.– С. 22-24.
7. Трофимов, И. А. Управление агроландшафтами и повышение продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных земель/ И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова, Е. П. Яковлева, Т. М. Лебедева // Земледелие. –2009.– № 6.– С. 13-15.
8. Трофимов, И. А. Управление агроландшафтами / И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова, Е. П. Яковлева, Т. М. Лебедева // Кормопроизводство.– 2008.– № 9. –С. 4-5.
9. Косолапов, В. М. Управление агроландшафтами для повышения продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных земель России/ В. М. Косолапов, И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова, Е. П. Яковлева // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. –2010.– № 2.– С. 32-35.
10. Трофимов, И. А. Оптимизация степных сельскохозяйственных ландшафтов и агроэкосистем/ И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова // Поволжский экологический журнал.– 2002. –№ 1–С. 46.

**УДК 633.14:664.746**

**А.А. Гончаренко, академик РАСХН;  
С.А. Ермаков, канд. с.-х. наук;  
А.В. Макаров, канд. с.-х. наук;  
Т.В. Семенова, канд. с.-х. наук;  
В.Н. Точилин, канд. с.-х. наук;  
Н.В. Цыганкова,  
Московский НИИСХ  
[goncharenko05@mail.ru](mailto:goncharenko05@mail.ru)**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИВЕРГЕНТНОГО ОТБОРА ПО ВЯЗКОСТИ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА В СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ

*Проведено 5 циклов дивергентного отбора по вязкости водного экстракта (ВВЭ) у 2 сортов озимой ржи. Дивергенция между популяциями зависела как от генотипа сорта, так и от направления отбора. Отбор в плюс-направлении был более эффективным, чем в минус-направлении. Величина реализованной наследуемости по признаку ВВЭ варьировала в пределах  $h^2=0,70...0,74$  при плюс-отборе и  $h^2=0,33...0,44$  при минус-отборе. Популяции с высокой вязкостью давали устойчивый к расплыванию хлеб с плотным, упругим и мелкопористым мякишем, но с более низким объемом. Популяции с низкой ВВЭ имели хлеб более высокого объема, но с крупнопористым и липким мякишем, нередко с большими трещинами и пустотами.*

*These are given 5 series of divergent selection due to water extract viscosity (WEV) for 2 varieties of winter rye. Divergence among populations depended upon both variety genotype and selection direction. Selection in a plus-direction was more efficient than in a minus-direction. Value of realized heritability according to WEV's feature varied within  $h^2=0,70...0,74$  in a plus-direction and  $h^2=0,33...0,44$  in a minus-direction. Populations with a high viscosity gave non-vague bread with a dense, elastic, fine-pored crumb, but with a less volume. Populations with a low viscosity had bread of high volume, but with coarse-pored and pasty crumb with large fractures and voids.*

**Ключевые слова:** озимая рожь, пентозаны, дивергентный отбор, вязкость водного экстракта, хлебопекарные качества, рацион, переваримость.

**Keywords:** winter rye, pentosans, divergent selection, water extract viscosity, bakery properties, ration, digestibility.

Характерной особенностью требований нынешнего рынка к современной селекции является потребительская адресность создаваемых сортов [1]. Применительно ко ржи задача состоит в том, чтобы создавать разнообразные по цели использования сорта с широкой диверсификацией, обеспечивающей производство из них не только хлеба, но и разнообразных продуктов питания, кормов и сырьевых энергоисточников. Очень важной проблемой является расширение сферы кормового использования зерна ржи. В сравнении с пшеницей рожь содержит относительно много водорастворимых пентозанов (ВРП), которые в кормовом отношении нежелательны, так как снижают переваримость питательных веществ корма [2]. Вместе с тем, при хлебопечении они играют положительную роль, улучшая хлебопекарные качества зерна ржи. При тестообразовании ВРП выполняют роль клейковинных белков, повышают вязкость теста, усиливают его формоустойчивость и улучшают структурно-механические свойства мякиша [3]. По этой причине ВРП входят в первую тройку важнейших факторов (наряду с крахмалом и белком), определяющих хлебопекарные качества зерна ржи.

Первые шаги в целенаправленной селекции ржи по признаку вязкости водного экстракта (ВВЭ) сделали канадские исследователи. Первоначально ими были выявлены большие межсортовые различия по величине привеса цыплят-бройлеров, получавших ржаную диету на базе разных сортов-популяций [4]. Последующие исследования показали [5], что ВВЭ отличается большим внутрисортовым варьированием, положительно связана с числом падения ( $r=0,87$ ) и отрицательно с массой зерновки ( $r=-0,79$ ) и сильно варьирует от погодных условий в период налива зерна и места выращивания. Изучение большого числа инбредных линий ржи в Польше показало [6], что на линейном уровне можно отселектировать инбредные линии ржи с минимально низкой и с максимально высокой вязкостью, на базе которых можно получить соответствующие гибриды.

Для популяционной селекции ржи особый интерес представляет дивергентный отбор по ВВЭ, при котором внутри популяции отбираются крайние

фенотипы в обоих концах вариационного ряда. Поскольку признак ВВЭ имеет высокую наследуемость, то данный метод позволяет добиться относительно быстрой внутрисортовой дивергенции, позволяющей обнаружить связь экстрагируемой вязкости с другими признаками, которые не удастся выявить на межсортовом уровне из-за слабых сортовых различий. Кроме того, представляется возможность получить популяции с новым (измененным) соотношением структурных компонентов некрахмальных полисахаридов и проверить степень их соответствия применительно к задачам селекции на целевое использование.

Целью наших исследований было получение методом дивергентного отбора форм озимой ржи с контрастной (высокой и низкой) ВВЭ и их сравнительная оценка по технологическим и хлебопекарным свойствам зерна.

**Материалы и методы.** Исходным материалом для проведения дивергентного отбора послужили сорта-популяции Альфа и Московская 12. Вязкость водного экстракта зернового шрота определяли в сантипуазах (сП.с) по методике, описанной нами ранее [7]. Оценку проводили по растениям, от которых брали часть зерна (5г) для анализа, а оставшуюся сохраняли в резерве. Первый цикл дивергентного отбора провели в 2005-2006 гг, а пятый – в 2009-2010 гг. Ежегодно объем выборки по каждому сорту составлял 160 растений в фазе полной спелости при каждом цикле отбора (80 растений для плюс-отбора и 80 – для минус-отбора). Дивергентные популяции получали путем смешивания резервных семян от каждого из 20 растений, которые по признаку ВВЭ отклонялись на величину  $\pm 1,5$  от средней популяционной. Полученные таким образом 4 популяции (2 от плюс-отбора и 2 от минус-отбора) высевали на пространственно изолированных делянках  $3 \text{ м}^2$  для свободного переопыления и проведения последующих циклов отбора. Сравнение исходной и селекционируемой популяций проводили в отдельном опыте на делянках  $8 \text{ м}^2$ . Селекционный дифференциал  $S$  определяли по разности между средней величиной ВВЭ у отобранных растений и средней родительской популяции

до отбора, генетический сдвиг  $R$  - как разность между величиной вязкости у потомства исходной и селективируемой популяций, коэффициент реализованной наследуемости  $h^2$  – как отношение  $R/S$ . Сравнительное полевое испытание дивергентных популяций от 4-х циклов отбора провели в 2010 г на делянках  $8 \text{ м}^2$  в трехкратной повторности при норме высева 500 зерен на  $1 \text{ м}^2$ . Учитывали урожайность, зимостойкость, высоту растений, устойчивость к полеганию, массу 1000 зерен, число зерен в колосе, а также технологические и хлебопекарные качества зерна.

**Результаты.** Анализ прямого отклика на проведенный отбор показывает (рис.1), что эффективность отбора была неоднозначной и зависела как от генотипа сорта, так и от направления отбора. Дивергенция популяций, полученных на базе сорта Московская 12, была заметно выше, чем на базе сорта Альфа. После 4 циклов отбора селективируемые субпопуляции из сорта Альфа различались по ВВЭ в 4,0 раза, а субпопуляции из сорта Московская 12 – в 5,7 раза.

Отбор в плюс-направлении по обоим сортам был более эффективным, чем в минус-направлении. При плюс-отборе увеличение ВВЭ у сорта Альфа составило в среднем 43,3% за один цикл, а у сорта Московская 12 – 88,2%. При минус-отборе снижение вязкости происходило более медленно и составило по сортам соответственно 10,5 и 13,3% за один цикл. Этот феномен можно объяснить более высокой дисперсией признака вязкости в группе высоковязких генотипов по сравнению с низковязкими. Соответственно этому отбор в противоположных направлениях дал сильно различающиеся оценки коэффициентов реализованной наследуемости:  $h^2=0,70\dots0,74$  у плюс-популяций и  $h^2=0,33\dots0,44$  у минус-популяций.

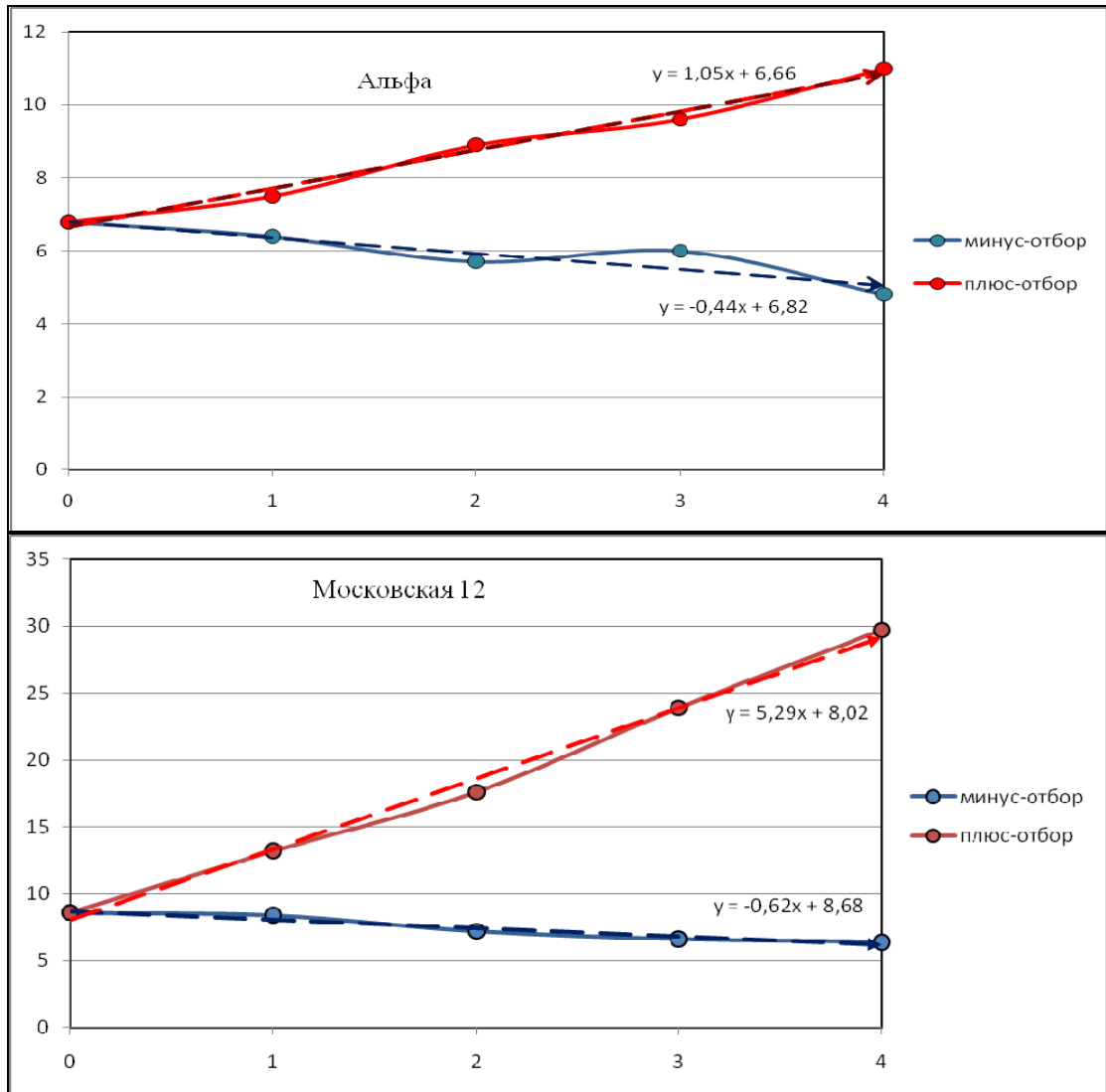


Рис.1. Дивергенция популяций ржи по вязкости водного экстракта (сП.с) после 4-х циклов отбора (2010 г)

Анализ вариационных рядов селективируемых популяций показал, что в результате отбора произошла трансформация их генотипической структуры (рис.2). Суть ее сводится к образованию многовершинных кривых, указывающих на усиление качественной неоднородности популяций.

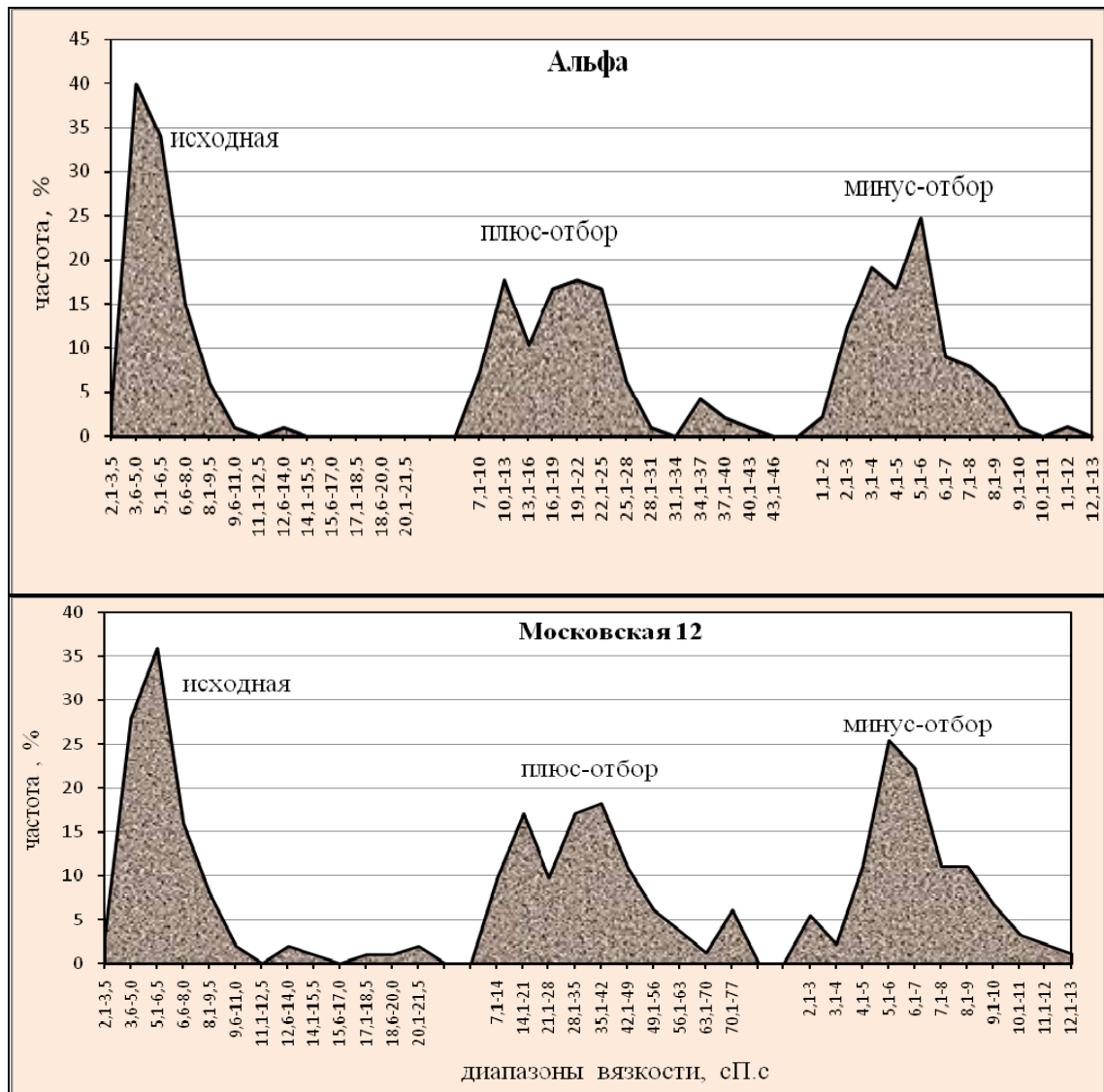


Рис.2. Динамика структуры популяций после 5-ти циклов дивергентного отбора по вязкости водного экстракта

Под влиянием отбора произошло образование нескольких субпопуляций из основной исходной, причем независимо от сорта наиболее сильно оно проявилось в популяциях при плюс-отборе. По размаху изменчивости признака ВВЭ плюс-популяция из сорта Московская 12 значительно превышала такую же из сорта Альфа, чего нельзя сказать в отношении минус-популяции. Обращает на себя внимание высокая дисперсия признака вязкости в правой части вариационного ряда (генотипы с высокой вязкостью) по сравнению с левой (генотипы с низкой вязкостью). Такой характер распределения наводит на мысль, что дивергентный отбор по ВВЭ затрагивает различные группы генов, отвечающих за экспрессию данного признака. Можно предположить,

что в селектируемых популяциях признак высокой вязкости контролируется действием сильных аддитивных генов, отличающихся высокой частотой и дающих наибольший вклад в наследуемость. За низкую вязкость, наоборот, отвечают другие гены с более низкой частотой. Последняя, вероятно, поддерживается естественным отбором, который противодействует генотипам с низкой вязкостью. В этом случае становится понятной причина вышеупомянутой асимметрии: она могла быть обусловлена первоначальной асимметрией частот плюс- и минус-генов, ответственных за потенциал вязкости. Кроме того, асимметрия косвенно указывает на то, что признак вязкости у ржи является важной компонентой естественной приспособленности у ржи.

Проведенный отбор по ВВЭ коррелятивно затронул многие другие селекционно-ценные признаки. В наших опытах популяции с низкой вязкостью отличались от высоковязких более низкой урожайностью (в среднем на 10%), длинным и менее устойчивым к полеганию стеблем, а также относительно мелким зерном. Значительные различия обнаружены и по технологическим и хлебопекарным качествам зерна. По обоим сортам высоковязкие популяции в сравнении с низковязкими характеризовались более высоким содержанием водорастворимых пентозанов (ВРП), высоким числом падения и высотой амилограммы, положительно выделялись по формоустойчивости теста (отношение Н/Д было выше в 1,5 раза). Популяции с высокой ВВЭ давали устойчивый к расплыванию хлеб с плотным, упругим и мелкопористым мякишем, но с более низким объемом. Популяции с низкой ВВЭ имели хлеб более высокого объема, но с крупнопористым, влажным и липким мякишем, нередко с большими трещинами и пустотами. Эти данные подтверждают вывод о том, что в основе хлебопекарных качеств зерна ржи лежит экспрессия двух основных признаков – содержания ВРП и числа падения [8].



## Литература

1. Гончаренко, А.А., Анализ корреляционной зависимости признаков, определяющих потенциал вязкости водного экстракта зерна озимой ржи/ А.А. Гончаренко, А.С. Тимощенко // Доклады РАСХН- 2010.- № 3.-С. 3-6.
2. Жученко, А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России / А.А. Жученко.-М.: Агрорус,-2004.-1109 с.
3. Тимощенко, А.С. Адаптация роторного вискозиметра VT5L/R к определению относительной вязкости водного экстракта зернового шрота озимой ржи/ А.С. Тимощенко, А.А. Гончаренко, Е.Н. Лазарева // С.-х. биология. -2008.- №5.- С. 110-115.
4. Rakowska M. The nutritive quality of rye //Vortr. Pflanzenzucht. - 1996. -V. 35:p. 85-95.
5. McLeod J.G., Gan Y., Scoles G.J., Campbell G.L. Extract viscosity and feeding quality of rye // Vortr. Pflanzenzucht. -1996. -V. 35: p. 97-108.
6. Kolasinska I., Boros D., Madej L., Cygankiewich A. Quantitative characteristic of rye inbred lines // Proceeding of the EUCARPIA Rye Meeting, Juli 4-7, 2001, Radzikow, Poland, p. 315-318.
7. Campbell G.L., Teitge D.A., Classen H.L. Genotypic and environmental differences in rye fed to broiler chicks with dietary pentosanase supplementation // Can. J. Anim. Sci.- 1991.-v.71: p.1241-1247.
8. Brummer J.-M. Rye Flour // In: "Future of Flour – a Compendium of Flour Improvement" by Verlagmedia, 2006.- p.179-192.

**УДК 633.112. 55.1.5**

**Панин В.М., зав лабораторией искусственного климата,  
ГНУ НИИСХ Юго-Востока Россельхозакадемии**