

УДК 633.14:664.746.

**А.А. Гончаренко**, академик РАН;  
**С.А. Ермаков**, кандидат сельскохозяйственных наук;  
**А.В. Макаров**, кандидат сельскохозяйственных наук;  
**Т.В. Семенова**, кандидат сельскохозяйственных наук;  
**В.Н. Точилин**, кандидат сельскохозяйственных наук;  
**А.В. Осипова**, кандидат сельскохозяйственных наук;  
**Е.Н. Лазарева**;  
**О.В. Крахмалева**,

*Московский научно-исследовательский институт сельского хозяйства  
«Немчиновка», (143026, Московская обл., раб. пос Новоивановское, ул. Калинина, 1)*

## **СЕЛЕКЦИЯ ОЗИМОЙ РЖИ НА ВЫСОКУЮ И НИЗКУЮ ВЯЗКОСТЬ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА**

Представлены результаты дивергентного отбора по вязкости водного экстракта (ВВЭ) на базе сортов озимой ржи Альфа и Московская 12. Эффективность отбора зависела как от генотипа сорта, так и от направления отбора. Отбор в плюс-направлении был более эффективным, чем в минус-направлении. Асимметричность ответа проявилась в 1-м цикле отбора и сохранялась в последующих циклах. Высоковязкие популяции имели лучшие хлебопекарные качества зерна, чем низковязкие. Их превосходство проявилось в более высокой натуре зерна (на 4,9%), крупности зерна (на 14,8%), числе падения (на 90 с), высоте амилограммы (на 328 е.а.), температуре клейстеризации (на 2,5°C). Низковязкие популяции давали сильно расплывающийся хлеб с крупнопористым, липким и заминающимся мякишем. Обсуждаются причины асимметрии и сортовых различий в реакции на отбор.

**Ключевые слова:** *озимая рожь, дивергентный отбор, вязкость водного экстракта, популяции, хлебопекарные качества.*

**A.A. Goncharenko**, academician of RAS;  
**S.A. Ermakov**, Candidate of Agricultural Sciences;  
**A.V. Makarov**, Candidate of Agricultural Sciences;  
**T.V. Semenova**, Candidate of Agricultural Sciences;  
**V.N. Tochilin**, Candidate of Agricultural Sciences;  
**A.V. Osipova**, Candidate of Agricultural Sciences;  
**E.N. Lasareva**;  
**O.V. Krakhmaleva**,

*Moscow Research Institute of Agriculture "Nemchinovka"  
(143026, Moscow region, v. of Novoivanovskoe, Kalinin Str. 1)*

## WINTER RYE BREEDING ON HIGH AND LOW WATER EXTRACT VISCOSITY

The results of divergent selection among winter rye varieties 'Alfa' and 'Moskovskaya 12' according to their water extract viscosity (WEV) have been presented. The efficiency of the selection depended on variety geno type and on direction of the selection. Selection in a plus-direction was more efficient, than in a minus-direction. The asymmetry of the result revealed in the first cycle of the selection and continued in the further ones. The rye populations with high viscosity had better bread-making characteristics than those ones with low viscosity. They surpassed the other varieties in a higher nature of grain (on 4,9%), size of grain (on 14,8%), falling number (on 90s), a rate of amylogram (on 328 e.a.), temperature of gelatinization (on 2,5°C). The varieties with low viscosity produced deliquescent bread with a large pored, soft crumb. The reasons of asymmetry and varieties' response to selection are being discussed.

**Keywords:** *winter rye, divergent selection, water extract viscosity, population, bread-making characteristics (properties).*

Зерно озимой ржи традиционно используется для производства хлеба, спирта, крахмала, солода, но очень мало для кормления животных [1]. По этой причине ежегодно значительная часть полученного урожая ржи остается невостребованной, что не стимулирует рост ее производства. Обусловлено это тем, что рожь в сравнении с другими зерновыми культурами содержит относительно много некрахмальных полисахаридов (пентозанов) [2], которые нежелательны в кормовом отношении, так как нарушают процесс пищеварения у животных, снижают переваримость питательных веществ корма и негативно влияют на их продуктивность [3]. Поэтому рожь в комбикормах для животных используют с различными ограничениями и только в смеси с другими зерновыми культурами. Вместе с тем при хлебопечении пентозаны играют положительную роль, улучшая хлебопекарные качества зерна ржи. При тестообразовании они выполняют функцию клейковинных белков, обеспечивая вязкость и формоустойчивость теста, улучшают структурно-механические свойства хлебного мякиша [4].

Из-за высокого содержания пентозанов практически все возделываемые сорта ржи относятся к категории хлебопекарных, а потому по многим показателям не соответствуют требованиям, предъявляемым к кормовому зерну [5]. Зернофуражная рожь в отличие от хлебопекарной должна иметь низкое содержание пентозанов, особенно водорастворимой его фракции. Следовательно, задачи селекции ржи на зернофуражную и хлебопекарную пригодность не совпадают, их следует решать по независимым селекционным программам [6]. Считается [7], что такой подход будет способствовать расширению сферы

хозяйственного использования ржи и увеличению рыночного спроса на зерно этой культуры. Задача состоит в том, чтобы дать потребителю разнообразные по цели использования сорта и гибриды, пригодные не только для хлебопечения, но и для использования на корм животным. Особенно остро потребность в создании таких сортов ощущается в областях Нечерноземной зоны, Поволжья, Урала и Западной Сибири, где рожь является главной культурой озимого поля.

Известно [8], что содержание общих пентозанов в зерне ржи на межсортовом уровне варьирует незначительно (9,2-11,5%), однако на их экспрессию существенно влияют экологические факторы. Основным структурным компонентом некрахмальных полисахаридов являются пятиуглеродные сахара – арабиноза и ксилоза (так называемые арабиноксиланы - АК), которые способны давать высоковязкие водные растворы при относительно низкой концентрации [9]. Установлено [10], что потенциал вязкости водного экстракта находится в прямой зависимости от содержания водорастворимых АК в зерне ржи ( $r=0,97$ ), в связи с чем он может служить косвенным индикатором их количественного содержания. Оказалось, что вязкость водного экстракта отрицательно ( $r=-0,82$ ) коррелирует с переваримостью белка у крыс [11], а добавка в рацион ферментов ксиланазы и арабинозидазы, способствующих деполимеризации АК, устраняет вредный эффект ржаного компонента корма, причем эффект от добавки ферментов тем больше, чем меньше содержится зерна ржи в рационе [5]. Отсюда возникает дополнительная проблема: низкую энергетическую ценность ржаного рациона нельзя компенсировать путем увеличения дозы корма, взамен ржи нужно добавлять другую культуру. Следовательно, для улучшения кормовой ценности зерна ржи необходимо вести целенаправленную селекцию на низкое содержание АК, с тем чтобы обеспечить низкую вязкость ржаного корма в желудке животных. Считается, что такие сорта ржи будут успешно конкурировать с тритикале [12]. Некоторые исследователи полагают, что молекулярная структура водорастворимых АК играет более важную роль, чем их количественное содержание [13].

В свете вышеизложенного особый интерес представляет создание методами селекции сортов ржи с контрастной вязкостью водного экстракта (ВВЭ). Представляется [7], что методом разнонаправленного отбора можно изменить биохимическую структуру некрахмальных полисахаридов в соответствии с задачами селекции: 1) увеличить содержание трудно гидролизуемых арабиноксиланов, улучшив хлебопекарные свойства или 2) снизить их доленое участие, улучшив кормовую ценность зерна.

Начало целенаправленной селекции озимой ржи на экстрагируемую вязкость положили канадские исследователи [14, 15]. Они выявили большие различия по величине

привеса цыплят-бройлеров, получавших ржаную диету на базе разных сортов. По их данным, сорта-популяции озимой ржи отличаются большим внутрисортным варьированием по ВВЭ, а сам этот признак имеет высокую наследуемость ( $h^2=0,69$ ), что дает основание использовать его в качестве критерия для отбора. Он положительно связан с числом падения ( $r=0,87$ ), но сильно варьирует от погодных условий в период налива зерна и места выращивания. Сходная взаимосвязь между этими признаками выявлена и у гибридных сортов ржи [16]. Позднее польские исследователи показали, что можно отселектировать инбредные линии ржи с минимально высокой и предельно низкой ВВЭ и на их базе получить соответствующие гибриды [17]. Установлено, что на потенциал экстрагируемой вязкости существенно влияют не только условия произрастания, но и генотип сорта, причем светлозерные (безантоциановые) формы отличаются более низким содержанием всех фракций пентозанов и более низким уровнем ВВЭ, чем зеленозерные [18].

В последнее время появились сообщения, что методом внутривидового дивергентного отбора по ВВЭ можно целенаправленно изменять признаки качества зерна ржи в соответствии с задачами селекции [19]. В.Д. Кобылянский и О.В. Солодухина [20] предлагают использовать не косвенный, а прямой метод оценки генотипов на содержание водорастворимых АК. Они установили, что внутри популяции можно отобрать единичные малопентозановые (0,5-1,0%) биотипы, используя для их идентификации отличительные особенности в анатомо-морфологическом строении зерновки и метод клоновых половинок. На основе новой стратегии селекции, заключающейся в первоначальном отборе тонкопленочных (с тонкой плодовой и семенной оболочкой) зерен, авторами создано 5 доноров и 7 предсортов с низким (0,31-0,68%) содержанием водорастворимых АК и проведены первые эксперименты по определению их кормовой пригодности.

Цель настоящей работы - оценить эффективность многократного дивергентного отбора по признаку ВВЭ, исследовать сортовую специфику в реакции на отбор, изучить степень асимметричности селекционного сдвига и определить его коррелятивное влияние на технологические и хлебопекарные качества зерна.

**Материалы и методы.** Исходным материалом для отбора по ВВЭ послужили популяционные сорта озимой ржи Альфа и Московская 12. Эти сорта неродственны по происхождению и создавались по разным селекционным программам, поэтому значительно различаются по некоторым признакам. Прежде всего это касается числа падения, по которому сорт Альфа интенсивно селекционировался на протяжении 20 лет, из-за чего превосходит Московскую 12 в среднем на 45 с. В свою очередь сорт Московская 12

стабильно превышает Альфу по массе 1000 зерен (на 2,4 г) и натуре зерна (на 8 г/л). По признаку вязкости исходные сорта также существенно (на 5% уровне значимости) различались: средний уровень его у сорта Московская 12 составил  $6,7 \pm 0,38$  сП, а у сорта Альфа -  $5,6 \pm 0,15$  сП.

Относительную вязкость водного экстракта зернового шрота измеряли в сантипуазах (сП) на роторном вискозиметре VT5L/R по методике, описанной ранее [21]. Оценку проводили по растениям, для чего от каждого из них брали по 5 г зерна для анализа, а оставшееся сохраняли в резерве. Первый цикл дивергентного отбора провели в 2005/2006 гг (2005 – год отбора, 2006 – год переопыления растений), а всего за 2006 - 2014 гг по обоим сортам последовательно провели 9 циклов такого отбора. Ежегодный объем исходной выборки по каждому сорту составлял 160 растений в фазе полной спелости при каждом цикле отбора. Дивергентные популяции получали путем смешивания резервных семян от каждого из 20 родоначальных растений, которые по признаку вязкости отклонялись на величину  $\pm 1,5\sigma$  от популяционной средней. Полученные таким образом 4 популяции (2 от плюс-отбора и 2 от минус-отбора) ежегодно высевали на пространственно изолированных делянках площадью  $10 \text{ м}^2$  для свободного переопыления и проведения последующих циклов отбора. По каждому циклу в селективируемых популяциях определяли коэффициент вариации ( $C_v$ , %) по признаку ВВЭ, а также измеряли натуру зерна и массу 1000 зерен. Оценку хлебопекарных качеств зерна проводили методом пробной лабораторной выпечки подового и формового хлеба из обойной муки. Формоустойчивость теста (отношение Н/D) измеряли посредством отношения высоты подового хлеба к его диаметру, а качество формового – методом глазомерной оценки физических свойств мякиша (пористости, липкости и упругости), внешнего вида и измерения объемного выхода хлеба. Высоту амилограммы и температуру клейстеризации крахмала определяли на амилографе Брабендера, число падения (ЧП) - на приборе Хагберга-Пертена, содержание белка и крахмала в зерне - на инфракрасном спектрометре Spectra Star 2400.

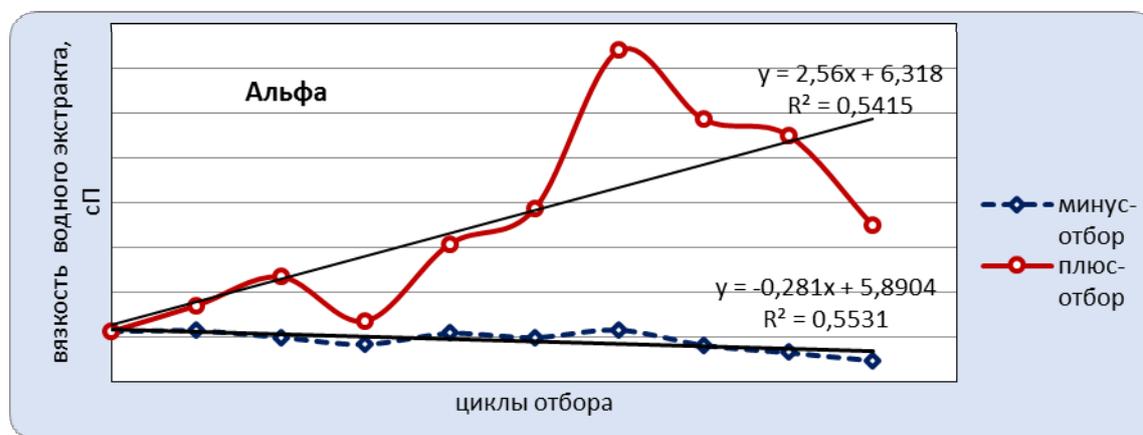
**Результаты.** Динамика признака ВВЭ в селективируемых популяциях по циклам и вариантам отбора представлена в табл.1. Как видно, на эффективность отбора значимо влияли не только генотип сорта, но и направление отбора. Последовательный отбор потомств высоковязких растений обусловил увеличение потенциала вязкости у сорта Альфа с  $5,6$  сП до  $17,4$ , а у сорта Московская 12 – с  $6,7$  до  $55,5$  сП. С каждым циклом отбора дивергенция между субпопуляциями возрастала, однако у сорта Альфа она достигалась менее интенсивно, чем у сорта Московская 12.

После 9 циклов отбора дивергентные популяции из сорта Альфа по признаку ВВЭ различались между собой в 7,2 раза, а популяции из сорта Московская 12 – в 12,3 раза. Причиной такой неоднозначной сортовой реакции на отбор могли быть изначальные различия по уровню фенотипической дисперсии селективируемого признака у исходных сортов. Доказательство тому - двукратная разница по величине среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ), которое составило 1,87 для сорта Альфа и 3,81 для сорта Московская 12. Почти такая же двукратная разница между сортами имела место по коэффициенту внутривариационного варьирования ( $C_v=33,4$  и  $56,8\%$  соответственно по сортам).

1. Результаты дивергентного отбора по ВВЭ у сортов Альфа и Московская 12. (ВВ - высокая вязкость, НВ – низкая вязкость,  $X$  – популяционное среднее,  $cП$ ;  $C_v$  - коэффициент вариации, %).

Годы и циклы отбора	Альфа ВВ		Альфа НВ		Моск-12 ВВ		Моск-12 НВ	
	$X$	$C_v$	$X$	$C_v$	$X$	$C_v$	$X$	$C_v$
2005 (0)	5,6	33,4	5,6	33,4	6,7	56,8	6,7	56,8
2006 (1)	8,5	30,7	5,1	24,9	18,9	47,4	6,1	41,1
2007 (2)	11,7	28,1	5,0	31,5	19,8	39,8	6,4	27,2
2008 (3)	6,8	46,8	4,2	28,7	11,9	57,3	4,4	24,7
2009 (4)	15,3	38,8	5,4	36,8	26,8	41,1	6,6	27,9
2010 (5)	19,3	41,1	4,8	37,9	40,4	49,1	6,7	30,4
2011 (6)	37,0	66,0	5,8	50,7	103,2	75,5	8,0	55,4
2012 (7)	29,3	75,9	4,1	45,8	78,4	59,9	6,5	41,4
2013 (8)	27,5	67,9	3,3	49,2	85,6	80,4	5,9	36,2
2014 (9)	17,4	38,7	2,4	33,9	55,5	46,3	4,5	31,8

После 9 циклов разнонаправленного отбора селективируемые популяции из сорта Альфа разошлись друг от друга на 15,0 сП, а популяции из сорта Московская 12 – на 51,0 сП. Динамика этой дивергенции по циклам отбора показана на рис.1. Здесь следует



бенности. Первая состоит в том, что на первых циклах отбора (1-4) дивергенция была

выражена слабее, чем в последующих циклах (5-9). Вторая состоит в четко выраженной асимметричности ответа на разнонаправленный отбор: у обоих сортов селекционный сдвиг в плюс-направлении был значительно выше, чем в минус-направлении. Асимметричность ответа сохранялась во всех циклах отбора, однако на ее размах существенно влиял и генотип сорта: отбор высоковязких генотипов у сорта Альфа увеличивал ВВЭ в среднем на 2,56 сП за один цикл, а у сорта Московская 12 – на 9,01 сП или в 3,5 раза больше. Отбор низковязких генотипов был менее эффективным и в каждом цикле приводил к снижению признака вязкости на 0,28 сП у Альфы и на 0,12 сП у Московской 12. Можно сказать, что дивергенция между популяциями достигалась в основном за счет большего сдвига популяции в сторону высокой вязкости. При минус-отборе селекционный сдвиг достигался не только медленно, но и слабо варьировал под влиянием погодных условий года. Это вполне соответствует более раннему нашему заключению о том, что низковязкие генотипы имеют меньшую средовую вариацию, чем высоковязкие [22]. Наоборот, эффективность отбора в плюс-направлении более сильно изменялась под влиянием погодных условий года. Таковыми оказались 2008 год, когда из-за дождливой погоды и сильного полегания растений эффективность отбора высоковязких генотипов оказалась предельно низкой, а также 2011 год, когда сложились благоприятные условия для формирования зерна с высокой вязкостью, в результате чего отбор в плюс-направлении выявлял генотипы преимущественно с сильно завышенной вязкостью.

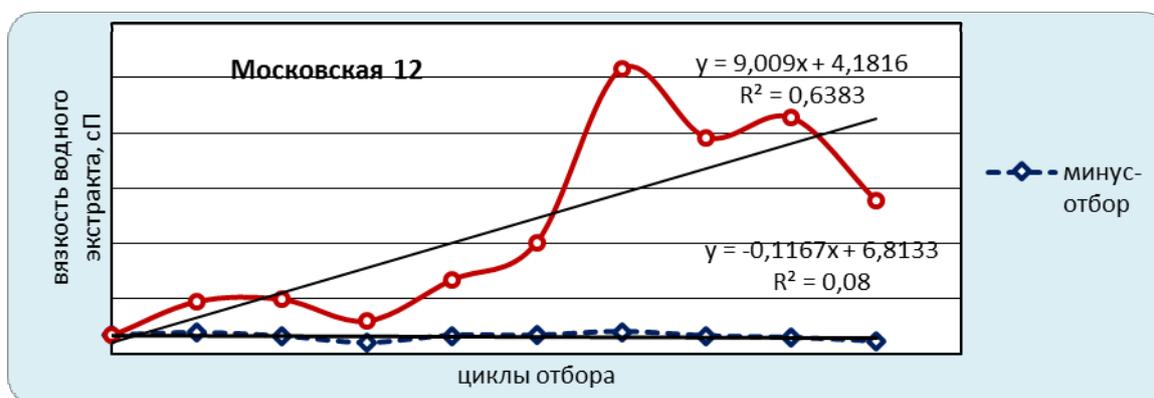


Рис.1. Дивергенция субпопуляций из сортов Альфа и Московская 12 по вязкости водного экстракта

Причиной асимметричности распределения могут быть разные факторы: случайный дрейф генов из-за малой выборки при отборе, инбредная депрессия, различие в селекционных дифференциалах, генетическая асимметрия. Последняя в нашем случае наилучшим образом объясняет асимметричный эффект отбора. Мы полагаем, что гены, ответственные за высокую вязкость водного экстракта, являются доминантными по своей природе, имеют высокую изначальную частоту в популяции и проявляют сильный

аддитивный эффект, из-за чего успех при плюс-отборе достигается быстрее и сильнее, чем при минус-отборе. Признак низкой вязкости, наоборот, детерминируется рецессивными аллелями с относительно низкой их частотой в исходной популяции и более слабым аддитивным эффектом. Если это так, то причиной асимметричности распределения является первоначальная асимметрия частот всех генов, влияющих на потенциал признака вязкости в исходной популяции. Данное заключение подтверждают результаты более ранних наших исследований ВВЭ в системе диаллельного скрещивания инбредных линий [23], которые показывают, что генетическая вариация признака вязкости детерминируется доминантными генами с аддитивным действием. При этом фенотипическая экспрессия признака на 74,4% зависит от аддитивного действия генов и на 24,1% – от эффектов доминирования. Эти данные хорошо объясняют отмеченные выше сортовые различия в реакции на отбор. Генофонд сорта Московская 12 предположительно характеризуется более высокой частотой доминантных генов, ответственных за высокую ВВЭ, тогда как для сорта Альфа характерна более высокая обогатенность рецессивными генами, детерминирующими низкую вязкость.

В свете вышеизложенного важно ответить на вопрос: почему на популяционном уровне за низкую вязкость отвечают рецессивные гены с относительно низкой частотой, а за высокую – доминантные гены с высокой частотой. Нам представляется, что причиной тому является естественный отбор, который противодействует генотипам с низкой вязкостью, а благоприятствует генотипам с высокой вязкостью. Это вполне укладывается в концепцию о том, что признак ВВЭ является важным компонентом естественной приспособленности у ржи, которая по экстрагируемой вязкости значительно превосходит другие зерновые культуры [3].

Селекционный интерес представляет характер динамики внутривнутрипопуляционного варьирования признака ВВЭ под влиянием проведенного отбора. Наши данные показывают (рис. 2), что после 9 циклов отбора в плюс-направлении оба сорта проявили положительный тренд внутривнутрипопуляционной изменчивости ( $C_v$ ), т.е. уровень генотипической изменчивости у них не снижался, а даже возрастал. Что касается отбора в минус-направлении, то здесь тренд был положительным только у сорта Альфа и отрицательным у Московской 12, что могло быть обусловлено изначально низкой частотой генов, ответственных за низкую вязкость у последнего.

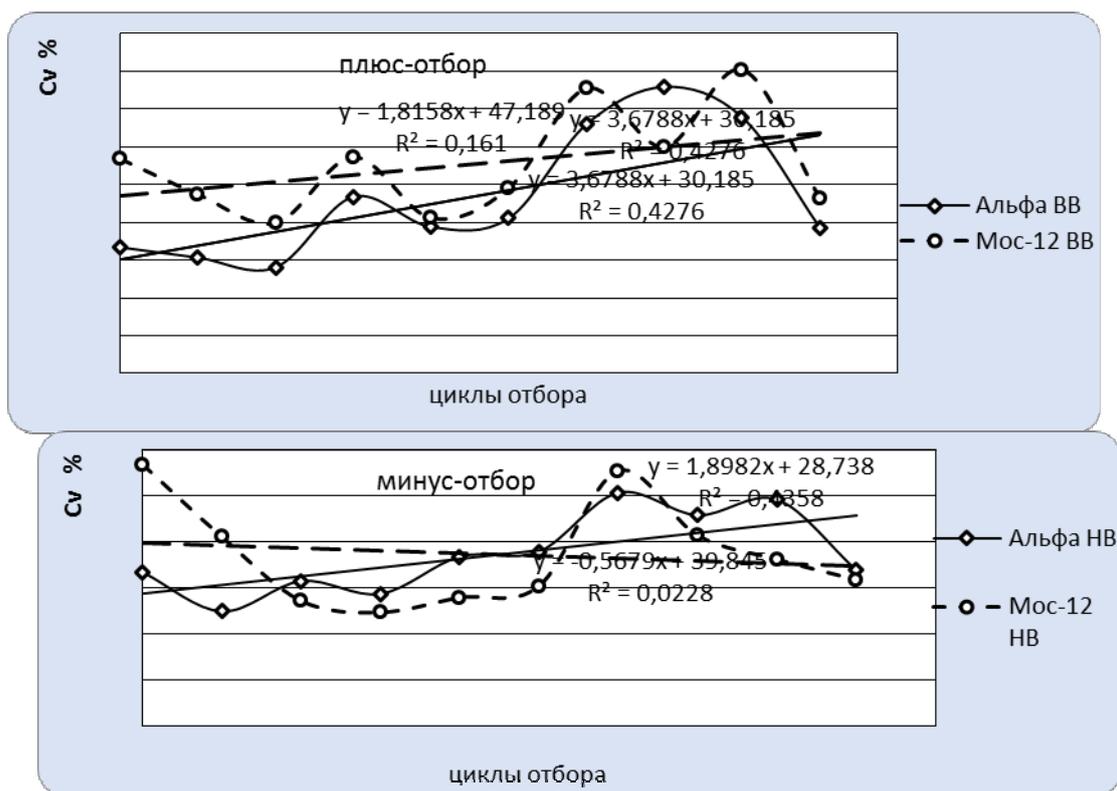


Рис. 2. Динамика внутривариационного варьирования ( $C_v$  %) признака ВВЭ под влиянием дивергентного отбора

Тенденцию к усилению внутривариационного варьирования признака вязкости при плюс-отборе мы объясняем тем, что в результате многократного ассортативного скрещивания высоковязких генотипов в популяции появляются и накапливаются новые рекомбинации генов, которых не было в исходной популяции. В итоге селектируемая популяция постоянно обогащается высоковязкими генотипами, усиливая генетическую неоднородность популяции. При отборе низковязких генотипов новые рекомбинации не образуются или же они имеют слабый эффект, из-за чего генетический сдвиг достигается медленно и уровень ее неоднородности практически не меняется. Тем не менее, во всех вариантах отбора масштабы доступной генетической изменчивости можно считать достаточными для продолжения отбора. Это указывает на высокую пластичность наследственной системы изучаемых сортов. Следовательно, проблема состоит не в обеспечении высокой генетической изменчивости внутри популяции, а в том, как сосредоточить в ней все полезные аллели, контролируемые признаком экстрагируемой вязкости.

2. Оценка технологических и хлебопекарных свойств зерна дивергентных популяций из сортов Альфа и Московская 12 (2014г.).

Признаки	Альфа НВ	Альфа ВВ	Московская 12 НВ	Московская 12 ВВ
Вязкость вод.экстракта, сП	2,4	17,4	4,5	55,5

Натура зерна, г/л	738	773	740	777
Масса 1000 зерен, г	31,4	36,0	32,2	37,0
Число падения, с	170	260	160	250
Высота амилограммы, е.а.	50	320	84	470
Температура клейстер, °С	63,0	66,3	63,8	65,5
Подовый хлеб, отношение Н/D	0,15	0,41	0,18	0,40
Объем формового хлеба, см <sup>3</sup>	314	286	298	280
Подовый хлеб, балл	3,5	5,0	4,3	5,0
Формовой хлеб, балл	4,4	5,0	3,8	4,4
Содержание белка, %	14,6	14,2	14,4	13,7
Содержание крахмала, %	55,6	55,8	56,1	56,7

Дивергентный отбор по ВВЭ коррелятивно изменил многие признаки качества зерна. Практически по всем показателям качества популяции с высокой вязкостью были лучше, чем низковязкие (табл.2). В среднем по обоим сортам они отличались от низковязких более высокой натурой зерна (на 4,9%) и относительно крупным зерном (на 14,8%), имели более высокое число падения (на 90 с), высоту амилограммы (на 328 е.а.) и температуру клейстеризации крахмала (на 2,5°С). Значительные различия обнаружены и по хлебопекарным качествам (рис.3). Сдвиг популяций в сторону высокой вязкости положительно повлиял на формоустойчивость подового хлеба (показатель Н/D увеличился в 2,5 раза), а также на качество формового хлеба, который у этой группы популяций отличался упругим, эластичным и мелкопористым мякишем. Хлеб из низковязких популяций, наоборот, отличался слабой формоустойчивостью, влажным, липким и заминающимся мякише с крупными порами, но был большего объема, особенно у сорта Альфа. Объясняется это тем, что из-за низкого содержания водорастворимых пентозанов крахмал у этих популяций не способен связывать всю влагу теста и поэтому образует много липких декстринов.

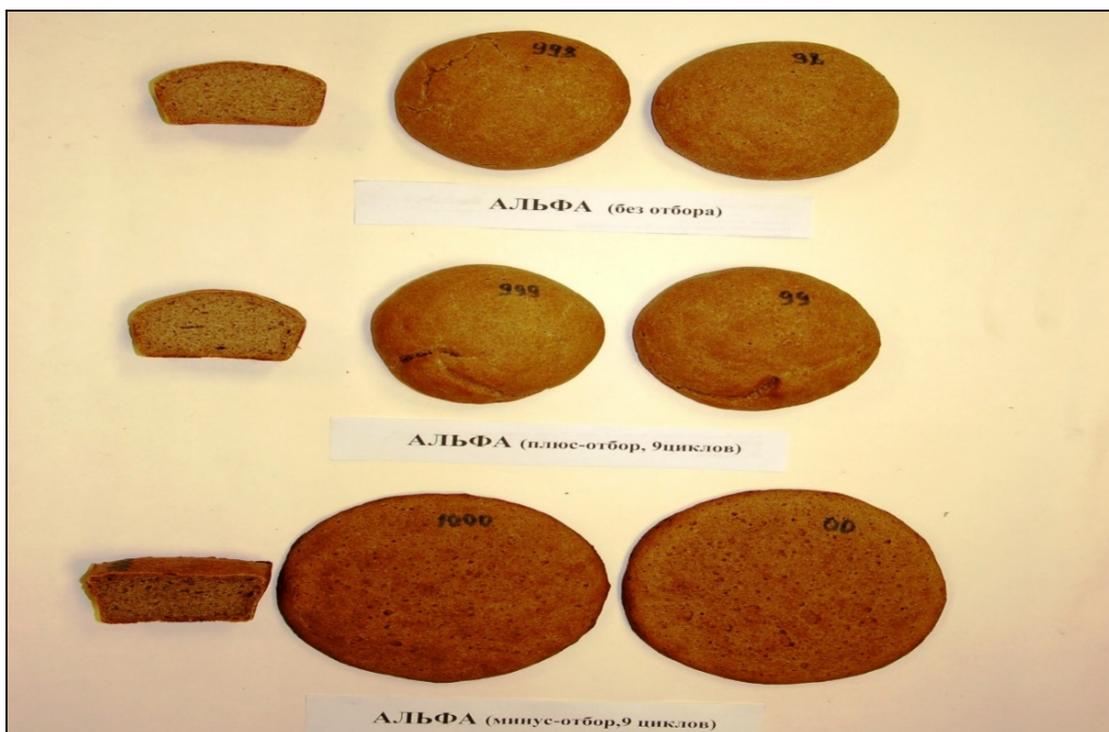


Рис.3. Подовый хлеб из зерна популяций сорта Альфа после 9 циклов дивергентного отбора по ВВЭ (2014 г.)

Таким образом, внутрипопуляционный отбор контрастных по вязкости генотипов в силу коррелятивных реакций обусловил сильную дивергенцию популяций по признакам качества зерна. В этом плане многократный дивергентный отбор по ВВЭ можно рекомендовать как эффективный метод селекции ржи на целевое использование. Данные показывают, что при селекции ржи на улучшение хлебопекарных качеств зерна прямой отбор на высокую ВВЭ является более предпочтительным, чем отбор на высокое число падения, так как селекция высоковязких популяций позволяет добиться одновременного улучшения популяции по целому комплексу признаков, определяющих хлебопекарные качества зерна. Главными из них являются: крупное зерно, высокая натура зерна, число падения, высота амилограммы, температура клейстеризации. Отбор низковязких генотипов привлекателен тем, что позволяет целенаправленно изменять биохимическую структуру некрахмальных полисахаридов, снижая содержание трудногидролизуемых пентозанов, что положительно улучшает кормовую ценность зерна. Хотя низковязкие популяции (на уровне 2,5-4,5 сП) непригодны для хлебопечения, но в плане улучшения кормовой пригодности зерна ржи они представляют несомненный интерес, открывая большие перспективы в решении проблемы диверсификации зерна ржи методами селекции.

## Литература

1. *Богданов, Г.А.* Кормление сельскохозяйственных животных / Г.А. Богданов // М.: Агропромиздат, – 1990. – 624 с.
2. *Karlsson, R.* Pentosans in rye // Sveriges Utsadesforenings Tidskrift. – 1988. –V. 98. – P. 213-225.
3. *Rakowska, M.* The nutritive quality of rye // Vortr. Pflanzenzucht. – 1996. – V. 35. – P. 85-95.
4. *Weipert, D.* Pentosans as selection traits in rye breeding //Votr .Pflanzenzucht. – 1996. – V.35: P.109-119.
5. *Boros, D.* Influence of water extract viscosity and exogenous enzymes on nutritive value of rye hybrids in broiler diets / D. Boros, M.R.Bedford // J. Animal and Feed Sciences. – 1999.– № 8. –P.579-587.
6. *Madej, L.* Variability of the content of soluble non12ingestible polysaccharides in rye inbred lines / L. Madej, K. Raczynska-Bojanowska, K. Rybka // Plant Breed. –1990. – V. 104 (4).– P.334-339.
7. *Гончаренко, А.А.* Перспективы улучшения кормовой ценности зерна ржи методами селекции / А.А. Гончаренко // Достижения науки и техники АПК. – 2012.– №11.– С.7-10.
8. *Saastomoinen, M.* Pentosan and  $\beta$ -glucan content of finnish winter rye varieties as compared with rye of six other countries / M. Saastomoinen, S. Plaami, J. Kumpulainen // J. of Cereal Science.- 1989.– V.10 (3). – P.199-207.
9. *Bengtsson, S.* Isolation and chemical characterization of water-soluble arabinoxylans in rye grain // Carbohydrate Polymers. – 1990. – 12 (3).– P. 267-277.
10. *Boros, D.* Extract viscosity as an Indirect Assay for water-soluble Pentosan Content in Rye / D. Boros, R.R. Marquardt, B.A. Slominski, W. Guenter // Cereal Chem. –1993. – V.70 (5) – P. 575-580.
11. *Rybka, K.* Viscosity of rye grain components / K. Rybka, D. Boros, K. Raczynska-Bojanowska, M. Rakowska, R. Sawicka-Zukowska, B. Jedrychowska // Molecular Nutrition and Food Research. – 1988. – V.32( 8). – P.723-804.
12. *Madej, L.* Breeding approach to the improvement of feeding quality of rye grain / L. Madej // Hod. Rosl., Aklimat. i Nasienn. – 1994. – V. 38 (5). – P.91-94.
13. *Cyran, M. R.* Genetic variation in the extract viscosity of rye (*Secale cereale* L.) bread made from endosperm and wholemeal flour: impact of high-molecular-weight arabinoxylan, starch and protein / M. R. Cyran, A. Ceglinska // J.Sci.Food Agric. – 2011. – 21(3). – P.469-479.

14. *Campbell, G.L.* Genotypic and environmental differences in rye fed to broiler chicks with dietary pentosanase supplementation / G.L. Campbell, D.A. Teitge, H.L. Classen // *Can. J. Anim. Sci.*- 1991. – V.71. – P. 1241-1247.
15. *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.
16. *Kucerova, J.* Effects of Lokation and Year on Technological Quality and Pentosan Content in Rye // *Czech J. Food Science.* – 2009. – V.27. – P.418-424.
17. *Kolasinska, I.* Quantitative characteristic of rye inbred lines / I. Kolasinska, D. Boros, L. Madej, A. Cygankiewicz // *Proceeding of the EUCARPIA Rye Meeting, Juli 4-7.– 2001.– Radzikow, Poland.* – P. 315-318.
18. *Jurgens, H.-U.* Characterization of Several Rye Cultivars with Respect to Arabinoxylans and Extract Viscosity / H.-U. Jurgens, G. Jansen, C.B.Wegener // *J. of Agricultural Science.* – 2012.– V.4 (5) . – P.1-12.
19. *Гончаренко, А.А.* Дивергентный отбор по вязкости водного экстракта у озимой ржи / А.А. Гончаренко, А.С. Тимошенко, Н.С. Беркутова, С.А. Ермаков, А.В. Макаров, Т.В. Семенова, В.Н. Точилин, Е.Н. Лазарева // *Доклады РАСХН.* – 2011. – № 4.– С. 3-8.
20. *Кобылянский, В.Д.* Теоретические основы селекции зернофуражной ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов / Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. // *Сельскохозяйственная биология.* – 2013. – №2. – С.31-39.
21. *Тимошенко, А.С.* Адаптация роторного вискозиметра VT5L/R к определению относительной вязкости водного экстракта зернового шрота озимой ржи / А.С. Тимошенко, А.А. Гончаренко, Е.Н. Лазарева // *Сельскохозяйственная биология.* –2008. – №5.– С. 110-115.
22. *Гончаренко, А.А.* Селекционная оценка инбредных линий озимой ржи по вязкости водного экстракта / А.А. Гончаренко, С.А. Ермаков, А.В. Макаров, В.Н. Точилин, Т.В. Семенова, Н.В. Цыганкова // *Сельскохозяйственная биология.* – 2008.– №1.– С. 33-39.
23. *Гончаренко, А.А.* Диаллельный анализ признаков качества зерна у инбредных линий озимой ржи / А.А. Гончаренко, С.В. Крахмалев, С.А. Ермаков, А.В. Макаров, Т.В. Семенова, В.Н. Точилин // *Доклады РАСХН.*– 2012.– № 6. – С. 14-19.

### **Literature**

1. *Bogdanov, G.A.* Feeding of livestock / G.A. Bogdanov // *m.: Agropromizdat.* – 1990. – 624 p.
2. *Karlsson, R.* Pentosans in rye // *Sveriges Utsadesforenings Tidskrift.* – 1988. –V. 98. – P. 213-225.
3. *Rakowska, M.* The nutritive quality of rye // *Vortr. Pflanzenzucht.* – 1996. – V. 35. – P. 85-95.

4. *Weipert, D.* Pentosans as selection traits in rye breeding // Vortr. Pflanzenzucht. – 1996. – V.35: P.109-119.
5. *Boros, D.* Influence of water extract viscosity and exogenous enzymes on nutritive value of rye hybrids in broiler diets / D. Boros, M.R. Bedford // J. Animal and Feed Sciences. – 1999. – № 8. – P.579-587.
6. *Madej, L.* Variability of the content of soluble non ingestible polysaccharides in rye inbred lines / L. Madej, K. Raczynska-Bojanowska, K. Rybka // Plant Breed. – 1990. – V. 104 (4). – P.334-339.
7. *Goncharenko, A.A.* Perspectives of improvement of fodder value of rye using breeding methods / A.A. Goncharenko // Achievements of science and technique in AIC. – 2012. – №11. – P.7-10.
8. *Saastomoinen, M.* Pentosan and  $\beta$ -glucan content of Finnish winter rye varieties as compared with rye of six other countries / M. Saastomoinen, S. Plaami, J. Kumpulainen // J. of Cereal Science. – 1989. – V.10 (3). – P.199-207.
9. *Bengtsson, S.* Isolation and chemical characterization of water-soluble arabinoxylans in rye grain // Carbohydrate Polymers. – 1990. – 12 (3). – P. 267-277.
10. *Boros, D.* Extract viscosity as an Indirect Assay for water-soluble Pentosan Content in Rye / D. Boros, R.R. Marquardt, B.A. Slominski, W. Guenter // Cereal Chem. – 1993. – V.70 (5) – P. 575-580.
11. *Rybka, K.* Viscosity of rye grain components / K. Rybka, D. Boros, K. Raczynska-Bojanowska, M. Rakowska, R. Sawicka-Zukowska, B. Jedrychowska // Molecular Nutrition and Food Research. – 1988. – V.32( 8). – P.723-804.
12. *Madej, L.* Breeding approach to the improvement of feeding quality of rye grain / L. Madej // Hod. Rosl., Aklimat. i Nasienn. – 1994. – V. 38 (5). – P.91-94.
13. *Cyran, M. R.* Genetic variation in the extract viscosity of rye (*Secale cereale* L.) bread made from endosperm and wholemeal flour: impact of high-molecular-weight arabinoxylan, starch and protein / M. R. Cyran, A. Ceglinska // J.Sci.Food Agric. – 2011. – 21(3). – P.469-479.
14. *Campbell, G.L.* Genotypic and environmental differences in rye fed to broiler chicks with dietary pentosanase supplementation / G.L. Campbell, D.A. Teitge, H.L. Classen // Can. J. Anim. Sci. – 1991. – V.71. – P. 1241-1247.
15. *McLeod, J.G.* Extract viscosity and feeding quality of rye / J.G. McLeod, Y. Gan, G.J. Scoles, G.L. Campbell // Vortr. Pflanzenzucht. – 1996. – V. 35. – P. 97-108.
16. *Kucerova, J.* Effects of Location and Year on Technological Quality and Pentosan Content in Rye // Czech J. Food Science. – 2009. – V.27. – P.418-424.

17. *Kolasinska, I.* Quantitative characteristic of rye inbred lines / I. Kolasinska, D. Boros, L. Madej, A. Cygankiewicz // Proceeding of the EUCARPIA Rye Meeting, Juli 4-7.– 2001.– Radzikow, Poland. – P. 315-318.
18. *Jurgens, H.-U.* Characterization of Several Rye Cultivars with Respect to Arabinoxylans and Extract Viscosity / H.-U. Jurgens, G. Jansen, C.B. Wegener // J. of Agricultural Science. – 2012.– V.4 (5) . – P.1-12.
19. *Goncharenko, A.A.* Divergent selection of winter rye water extract according to its viscosity / A.A. Goncharenko, A.S. Timotschenko, N.S. Berkutova, S.A. Ermakov, A.V. Makarov, T.V. Semenova, V.N. Tochilin, E.N. Lasareva // Reports of RAAS. – 2011. – № 4.– P. 3-8.
20. *Kobylyansky, V.D.* Theoretical principles of grain-forage rye breeding with a low content of water-soluble pentosans / V.D. Kobylyansky, O.V. Solodukhina // Agricultural biology. – 2013. – №2. – P.31-39.
21. *Timotschenko, A.S.* Adaptation of rotor viscosity meter VT5L/R to determination of relative moisture of water extract of winter rye oil-cake / A.S. Timotschenko, A.A. Goncharenko, E.N. Lasareva // Agricultural biology. – 2008. – №5. – P. 110-115.
22. *Goncharenko, A.A.* Breeding assessment of inbred lines of winter rye according to water extract viscosity / A.A. Goncharenko, S.A. Ermakov, A.V. Makarov, V.N. Tochilin, T.V. Semenova, N.V. Tsygankova // Agricultural biology. – 2008. – №1. – P. 33-39.
23. *Goncharenko, A.A.* Diallel analysis of qualitative traits of grain from inbred lines of winter rye / A.A. Goncharenko, S.V. Krakhmalev, S.A. Ermakov, A.V. Makarov, V.N. Tochilin, T.V. Semenova // Reports of RAAS.– 2012. – № 6. – P. 14-19