

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ РЖИ БЕЛОРУССКОЙ СЕЛЕКЦИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИХ В СПИРТОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*А.А. Миронцева, Е.А. Цед, С.В. Волкова, О.В. Яковлева*

Представлены результаты экспериментальных исследований по изучению качественных показателей замесов, суслу и бражки на основе шести сортов ржи белорусской селекции по основным физико-химическим показателям. Показана возможность повышения выхода спирта с пониженным образованием побочных примесей при использовании сортов ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора».

### **Введение**

Одним из основополагающих факторов при получении этилового спирта с высокими органолептическими свойствами является качество зернового сырья. Стремление многих предприятий приобрести недорогое дефектное сырье, как правило, приводит к снижению качества этилового спирта, вследствие чего резко снижается рентабельность производства. В связи с этим важной задачей при производстве этилового спирта является переработка таких видов сырья, которые отвечают как общим требованиям теххимического контроля, так и конкретной технологии, принятой на предприятии.

Важной задачей в проблеме расширения сырьевых ресурсов выступает переработка зерна ржи, так как это наиболее распространенное и доступное зерновое сырье. Согласно литературным данным [1], из существующих видов крахмалсодержащего сырья, используемого в производстве этилового спирта, рожь имеет самую низкую рыночную цену. В структуре себестоимости спирта 60% – 70 % затрат приходится на сырье. Поэтому при использовании ржи в качестве сырья себестоимость спирта снижается на 20 % – 30 %.

Рожь является наиболее адаптированной к климатическим условиям Республики Беларусь, в меньшей степени подвержена заболеваниям, что обеспечивает получение достаточно высоких и гарантированных урожаев по сравнению с другими зерновыми культурами.

Рожь относится к голозерным культурам. Большая часть зерновки ржи приходится на эндосперм – 70% – 75%, доля оболочек составляет 10 % – 15%, на алейроновый слой приходится 10 % – 15%. Оболочки ржи плотно связаны с эндоспермом. Консистенция эндосперма, характеризующаяся стекловидностью, у ржи имеет большую рыхлость. Отличительной особенностью ржи является наличие в ее зерновке свободных сахаров, высокое содержание незаменимых аминокислот – лизина, треонина и фенилаланина, что определяет ценность ее белка по сравнению с другими зерновыми культурами [2].

Однако, несмотря на вышеназванные преимущества ржи, при ее переработке на спирт возникают определенные трудности, связанные с наличием таких компонентов в зерновке, как слизи (гумми-вещества). Слизь препятствуют набуханию крахмала и понижают атакуемость его ферментами. Данный компонент сырья не только ухудшает технологичность (вязкость) производственных сред из ржи (разваренная масса, осахаренное сусло), но и требует повышенных расходов ферментов различного спектра действия.

Целью работы являлось исследование различных сортов ржи белорусской селекции для применения их в спиртовом производстве и отбор наиболее перспективных сортов для повышения выхода и качества пищевого этилового спирта.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

В качестве объектов исследований были выбраны шесть сортов ржи, селекционированных в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» (г. Жодино) и внесенных в Государственный реестр Республики Беларусь: диплоидные сорта «Алькора», «Нива», «Павлинка», тетраплоидные сорта ржи «Пламя», «Пуховчанка» и диплоидный гибридный сорт «Плиса».

В первой серии опытов были исследованы физико-химические показатели выбранных сортов ржи. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели различных сортов ржи белорусской селекции

Наименование показателей	Сорта ржи					
	«Пламя»	«Плиса»	«Павлинка»	«Нива»	«Алькора»	«Пуховчанка»
Натура, г/дм <sup>3</sup>	635	699	670	697	664	668
Абсолютная масса, г	30,1	34,9	34,6	40,22	31,4	34,6
Влажность, %	11,96	11,34	14,4	11,42	13,32	13,6
Содержание крахмала, %	51,6	57,8	55,3	56,6	54,2	55,1
Аминный азот, мг/100 см <sup>3</sup>	0,60	0,84	0,44	0,31	0,48	0,25
Редуцирующие сахара, % на СВ	0,65	0,84	0,73	0,92	0,76	0,80
Титруемая кислотность, °	1,6	2,2	1,7	2,4	3,0	2,0
Содержание белка, %	12,19	9,27	8,88	9,33	10,55	9,20
Суммарное содержание гемицеллюлоз и пентозанов, %	19,16	14,4	16,22	15,0	15,83	18,1

Из таблицы 1 видно, что все изучаемые сорта ржи белорусской селекции обладают ценными технологическими свойствами. Наиболее важным контролируемым показателем сырья в спиртовом производстве является крахмалистость, т.к. крахмал – это основной сбраживающий компонент, который количественно преобладает среди веществ химического состава зерна. Наибольшую крахмалистость отмечали в сортах ржи «Плиса» и «Нива», также в отмеченных сортах наблюдалась высокая натура и абсолютная масса. Минимальное содержание крахмала отмечалось в сорте ржи «Пламя», в этом же сорте натура и абсолютная масса имели самое низкое значение – 635,0 г/дм<sup>3</sup> и 30,1 г. Во всех исследуемых сортах ржи влажность, и титруемая кислотность находились в пределах нормы: 11 % – 14% и 1,6 – 2,4 °.

Не менее важен в производстве спирта показатель содержания белка, продукты гидролиза которого являются потенциальными источниками питания для дрожжей. Максимальное содержание белка было выявлено в сортах ржи «Пламя» и «Алькора» – 12,19% и 10,55%. Минимальное содержание белка отмечалось в сорте ржи «Павлинка» - 8,88%.

Показатель содержания аминного азота, главный компонент которого – аминокислоты, непосредственно принимающие участие в синтезе простых и сложных составных частей клеточной протоплазмы дрожжевых клеток, имел максимальное значение 0,84 мг/100см<sup>3</sup> в гибридном сорте ржи «Плиса F1». Минимальным значением аминного азота характеризовался сорт ржи «Пуховчанка» – 0,25 мг/100см<sup>3</sup>.

Редуцирующие сахара содержатся в свободном состоянии во ржи и первыми потребляются дрожжами при анаэробном окислении – брожении. Наибольшее содержание редуцирующих сахаров отмечалось в сортах ржи «Нива», «Плиса», «Пуховчанка». Самое низкое значение редуцирующих сахаров было характерно для сорта ржи «Пламя» – 0,65 % на сухое вещество.

Из приведенных в таблице 1 данных следует, что все изучаемые сорта ржи имели высокое содержание некрахмальных полисахаридов, сопоставление результатов показывает наличие связи между массой зерновки и содержанием некрахмальных полисахаридов – при увеличении массы 1000 зерен суммарное содержание гемицеллюлоз и пентозанов снижается, что подтверждено имеющимися литературными данными. Так самое высокое содержание гемицеллюлоз и пентозанов отмечалось в сорте ржи «Пламя» – 19,16%, самое низкое – в сорте ржи «Плиса».

На следующем этапе работы представляло интерес изучить процессы, протекающие при приготовлении спиртового сусла. Для этого были приготовлены замесы с использованием исследуемых сортов ржи, которые получали путем смешивания дробленого зерна с водой

при гидромодуле – 1:3,5. Полученные замесы подвергали водно-тепловой обработке по режимам низкотемпературного разваривания. Водно-тепловую обработку замеса проводили следующим образом: нагрев замеса до 50°C – 55 °C (внесение ферментного препарата Вискозим при стандартной дозировке) – выдержка 20 мин, нагрев замеса до 70°C (внесение ферментного препарата амилолитического действия при стандартной дозировке) – выдержка 140 мин, нагрев замеса до 90°C – выдержка 40 мин. Далее замес быстро охлаждали до температуры 56°C, вносили осахаривающий ферментный препарат при стандартной дозировке и проводили осахаривание, полноту которого определяли по йодной пробе.

В полученных образцах спиртового суслу определяли наиболее значимые качественные показатели: концентрацию сухих веществ, содержание аминного азота, сбраживаемых растворимых углеводов, кислотность и др. [3]. Анализ опытных данных показывает, что физико-химические показатели суслу в значительной степени зависят от используемого сорта ржи. Как показывают экспериментальные данные, представленные на рисунке 1, максимальное содержание сухих веществ отмечалось в образцах суслу из сортов ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора».

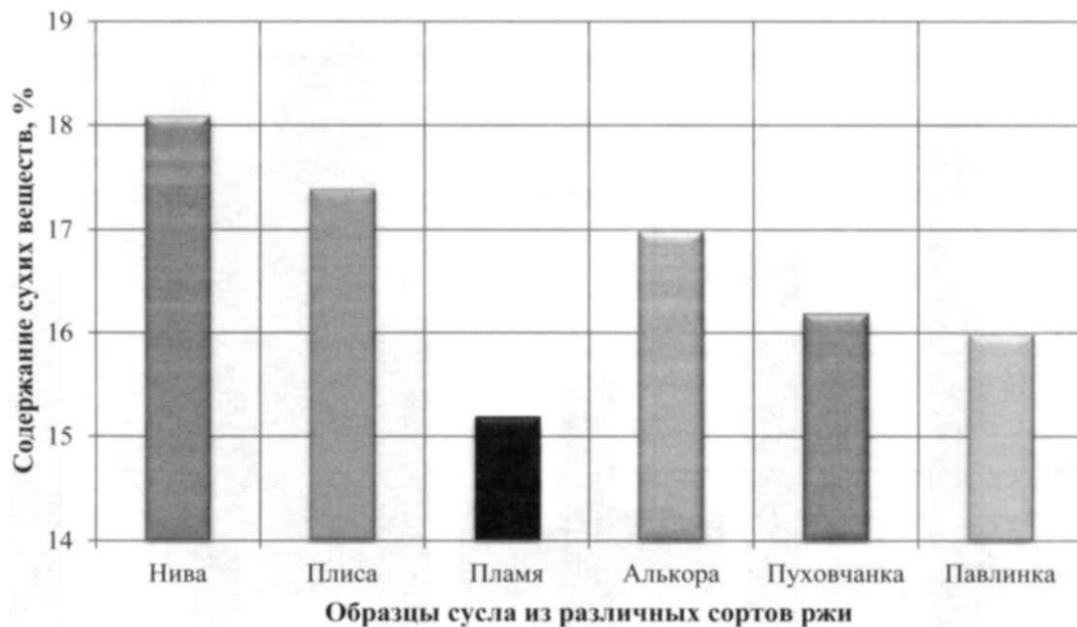


Рисунок 1 – Содержание сухих веществ в сусле в зависимости от сорта ржи

Обнаружено, что наибольшим содержанием общих углеводов характеризовались образцы суслу из ржи сорта «Нива» и «Плиса» – 18,64 г/100 см<sup>3</sup> и 17,87 г/100 см<sup>3</sup>, наименьшим – образец суслу из ржи сорта «Пламя» – 15,65 г/100 см<sup>3</sup>.

Процесс накопления растворимых углеводов наиболее интенсивно проходил в образце суслу, полученного из сорта ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора» – 13,20; 12,9 и 11,74 г/100см<sup>3</sup> соответственно. Наименьшее количество растворимых углеводов отмечалось в образцах суслу, полученных из сортов ржи «Павлинка» и «Пламя» – 10,22 и 10,1 г/100см<sup>3</sup>.

Самое высокое содержание редуцирующих сахаров имело сусло, полученное из ржи сорта «Нива» – 8,84 г/100 см<sup>3</sup>, самое низкое из ржи сорта «Пламя» – 6,72 г/100 см<sup>3</sup>.

Максимальное содержание аминного азота отмечалось в образцах суслу, полученных из сортов ржи «Нива» и «Плиса» – 16,89 и 16,02 мг/100см<sup>3</sup>. Минимальное содержание аминного азота отмечалось в образцах суслу, полученных из сортов ржи «Павлинка» и «Пламя» – 15,32 и 14,3 мг/100см<sup>3</sup>. Выбранные режимы водно-тепловой обработки не оказывали значительного влияния на кислотность суслу, которая для всех образцов составляла 0,2–0,3 град.

При водно-тепловой обработке замесов происходит увеличение их вязкости, обусловленное изменением структуры крахмала, гемицеллюлоз и белков, содержащихся в замесе. В результате чего затрудняется транспортировка замеса, а также снижается эффективность про-

текания гидролитических процессов при осахаривании. Поэтому выявление сортов ржи, образующих при переработке замесы и сусло пониженной вязкости, имеет важное значение для обеспечения эффективного движения замеса на всех этапах технологического цикла приготовления суслу, а также снижения потерь сухих веществ и выхода этанола. Результаты анализа определения вязкости замесов и суслу, полученных из различных сортов ржи, представлены на рисунке 2.

Выявлено, что максимальное значение вязкости в замесе соответствовало образцу, полученному из сорта ржи «Пламя» и «Пуховчанка», что связано, по-видимому, с высоким содержанием гемицеллюлоз и пентозанов в исходном зерне.

В результате осахаривания вязкость суслу из различных сортов ржи снизилась в среднем в 7 раз, максимальное снижение вязкости – в 17 раз, наблюдали в образце суслу из сорта ржи «Алькора». Для данного образца вязкость осахаренного суслу имела минимальное значение – 2005,6 мПа·с. Также хорошими реологическими свойствами характеризовался образец осахаренного суслу из сорта ржи «Нива» – 2835,6 мПа·с. Максимальное значение вязкости в осахаренном сусле соответствовало образцу, полученному из сорта ржи «Пламя».

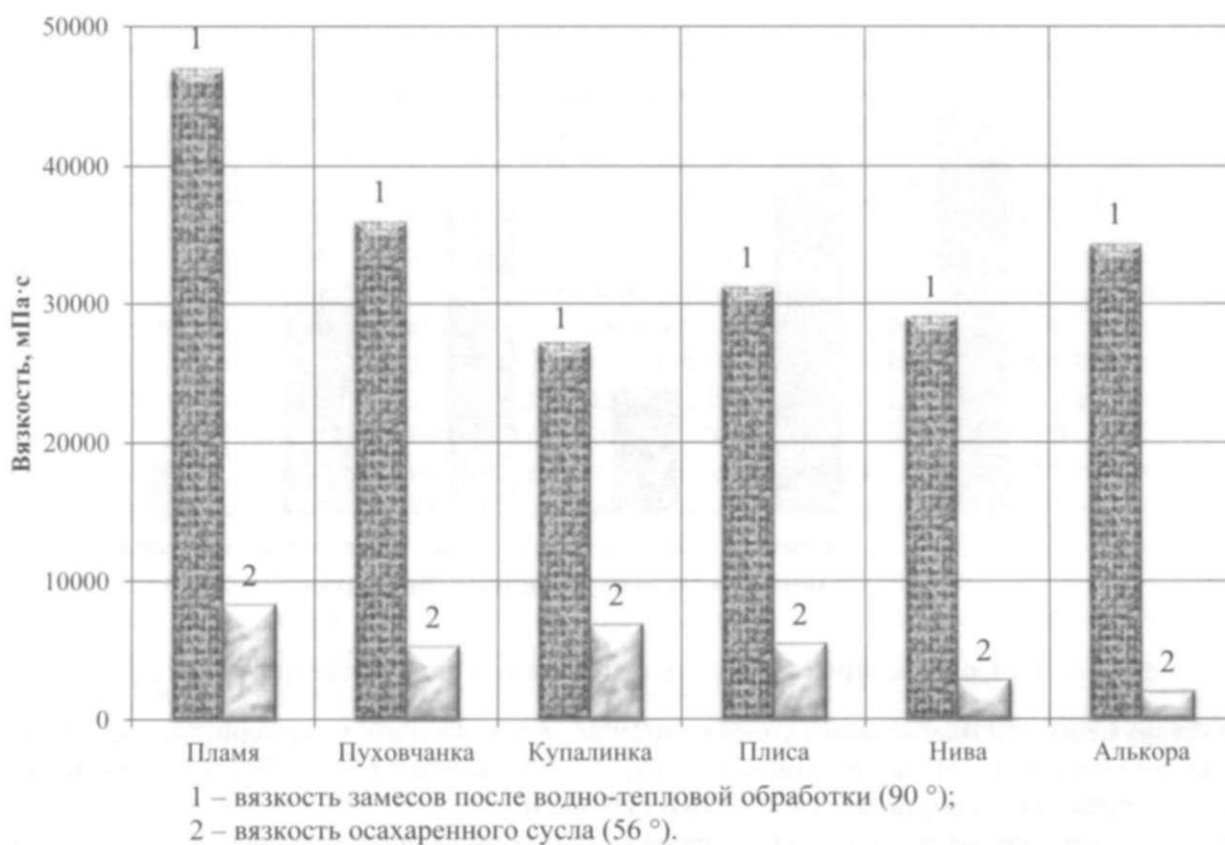


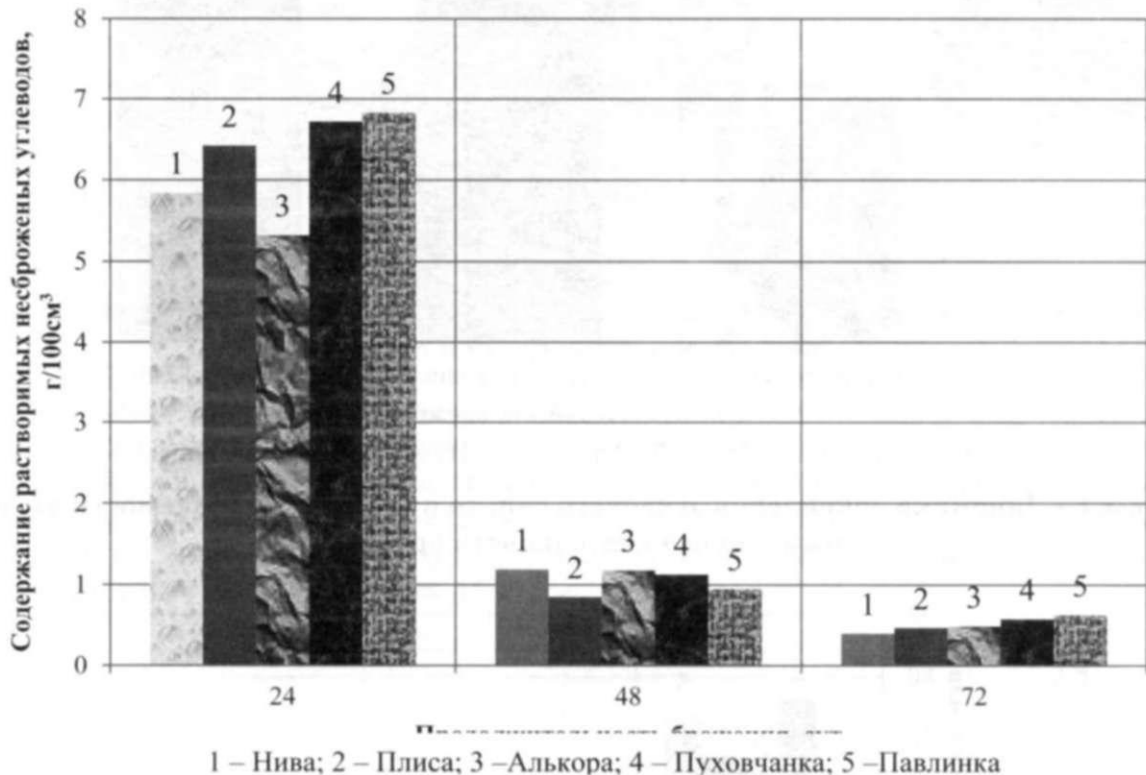
Рисунок 2 – Вязкость замесов после водно-тепловой обработки и осахаренного суслу в зависимости от сорта ржи

Необходимо отметить, что показатели образцов суслу, полученных из сорта ржи «Пламя» не удовлетворяли требованиям теххимического контроля спиртового производства по норме содержания сухих веществ в осахаренном сусле, в связи с этим образец суслу из сорта ржи «Пламя» дальнейшим исследованиям не подвергали. Таким образом, можно сделать вывод о том, что сорта ржи оказывают существенное влияние на качественные показатели суслу. Наиболее богатым углеводным составом характеризовалось сусло, полученное из сорта ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора», кроме того, данные образцы характеризовались хорошими реологическими показателями.

На следующем этапе нашей работы представляло интерес изучить биохимические процессы, протекающие при сбраживании полученных образцов суслу. Для этого осахаренные об-

разцы сусла охлаждали до температуры складки, задавали дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы XII в количестве 10% от объема сусла. Брожение осуществляли в течение 72 ч при температуре  $(30 \pm 2)$  °С. По истечении каждых суток брожения отбирали лабораторную пробу, в которой определяли показатели, характеризующие ход процесса сбраживания: содержание спирта, видимую и действительную концентрацию сухих веществ, несброженные растворимые углеводы, содержание аминного азота, общее содержание дрожжевых клеток, содержание мертвых клеток и т.д.

Как свидетельствуют полученные экспериментальные данные, процесс спиртообразования существенным образом зависел от перерабатываемого сорта ржи. Так, динамика снижения растворимых несброженных углеводов в бражках, представленная на рисунке 3, показала, что наиболее активно процессы сбраживания протекали в образцах бражки из сортов ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора» – так как содержание несброженных углеводов в данных образцах в зрелой бражке было минимальным – 0,4; 0,47 и 0,49 г/100 см<sup>3</sup> соответственно.



**Рисунок 3 – Динамика изменения содержания растворимых несброженных углеводов в бражках в зависимости от сорта ржи и продолжительности брожения**

Динамика изменения наиболее важного показателя – содержания этилового спирта по суткам брожения в бражках на основе сусла из различных сортов ржи представлена на рисунке 4. Как показывают результаты исследований, во всех образцах бражек, за исключением образца из сорта ржи «Павлинка», содержание этилового спирта соответствовало нормативным. Наилучшие показатели по сбраживанию показали такие сорта ржи, как «Нива», «Плиса» и «Алькора».

Данные процессы свидетельствуют о том, что ржаные замесы, полученные по «мягким» режимам разваривания являются благоприятной средой для проявления максимальной бродильной активности дрожжевых клеток, поскольку ржаное сусло содержит все необходимые питательные вещества (углеводные, азотистые, фосфорные, ферменты, витамины и макроэлементы), которые не теряются во время тепловой обработки. Вследствие этого процессы, связанные с осуществлением бродильной активности дрожжевых клеток, протекают в полной мере [4].

Эти факторы подтверждаются также результатами анализа общего содержания дрожжевых клеток и содержания мертвых клеток (рисунки 5–6).

Так, во всех исследуемых образцах бражек общее количество дрожжевых клеток было достаточно высоким на протяжении всего процесса сбраживания. На третьи сутки брожения меньше всего дрожжевых и мертвых клеток отмечалось в образцах бражек из сорта ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора».

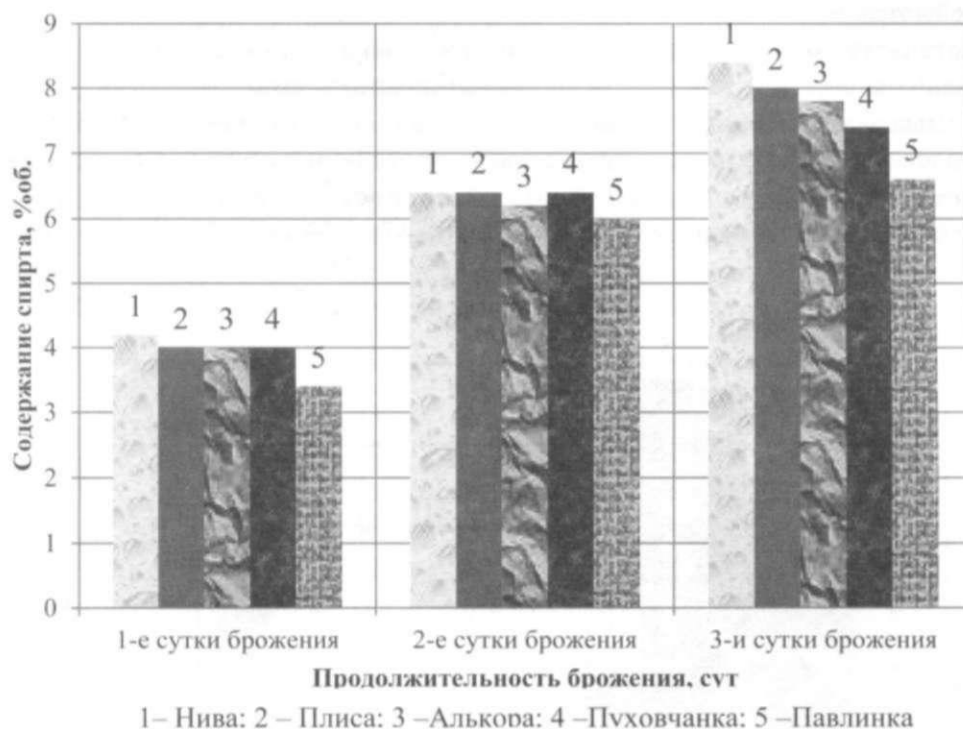
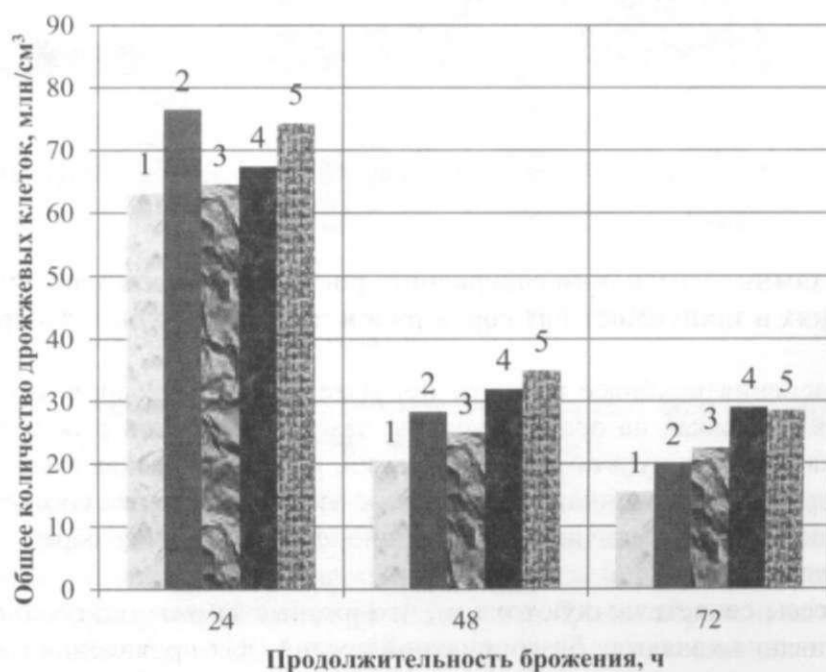
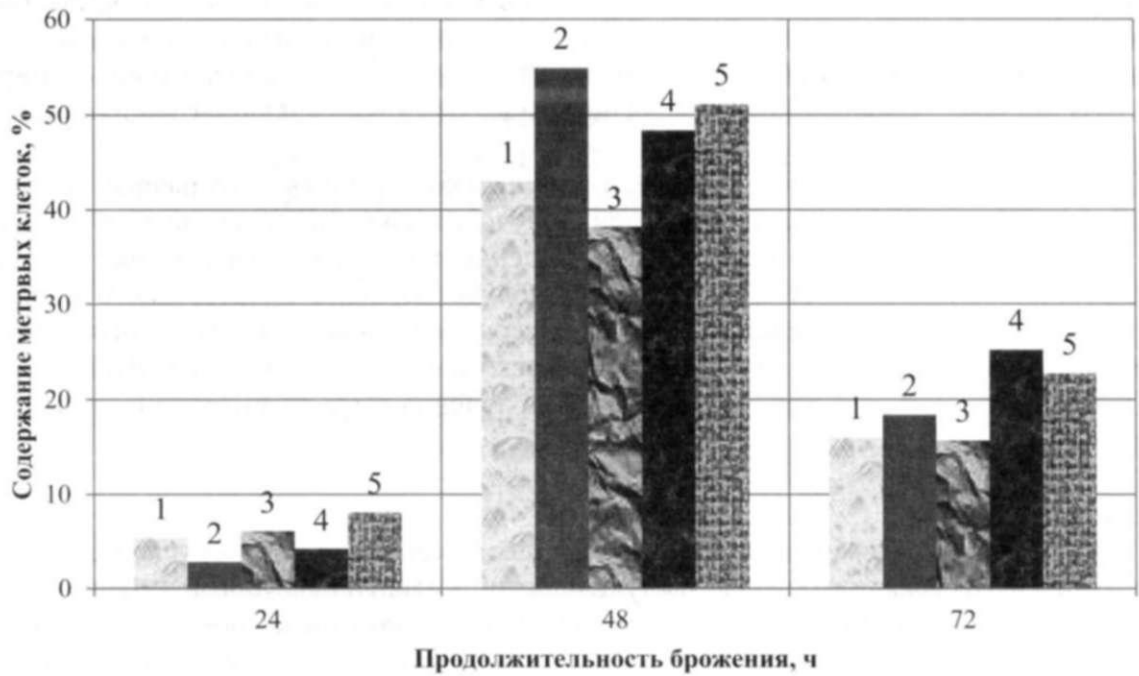


Рисунок 4 – Динамика накопления этилового спирта в бражках в зависимости от сорта ржи и продолжительности брожения



1– Нива; 2 – Плиса; 3 – Алькора; 4 – Пуховчанка; 5 – Павлинка

Рисунок 5 – Динамика изменения содержания общего количества дрожжевых клеток в бражках в зависимости от сорта ржи и продолжительности брожения



1- Нива; 2 - Плиса; 3- Алькора; 4 - Пуховчанка; 5 - Павлинка

Рисунок 6– Динамика изменения содержания мертвых клеток в бражках в зависимости от сорта ржи и продолжительности брожения

На следующем этапе исследований был изучен фракционный состав летучих примесей дистиллятов зрелых бражек, полученных из пяти сортов ржи. Для определения баланса образующихся при спиртовом брожении продуктов рассчитывали общее количество суммарных примесей с учетом концентрации содержащегося в бражке этилового спирта (рисунок 7). Необходимо отметить, что концентрация общих примесей при сбраживании сушла из исследуемых сортов ржи составила 14 838–15 775 мг/дм<sup>3</sup>.

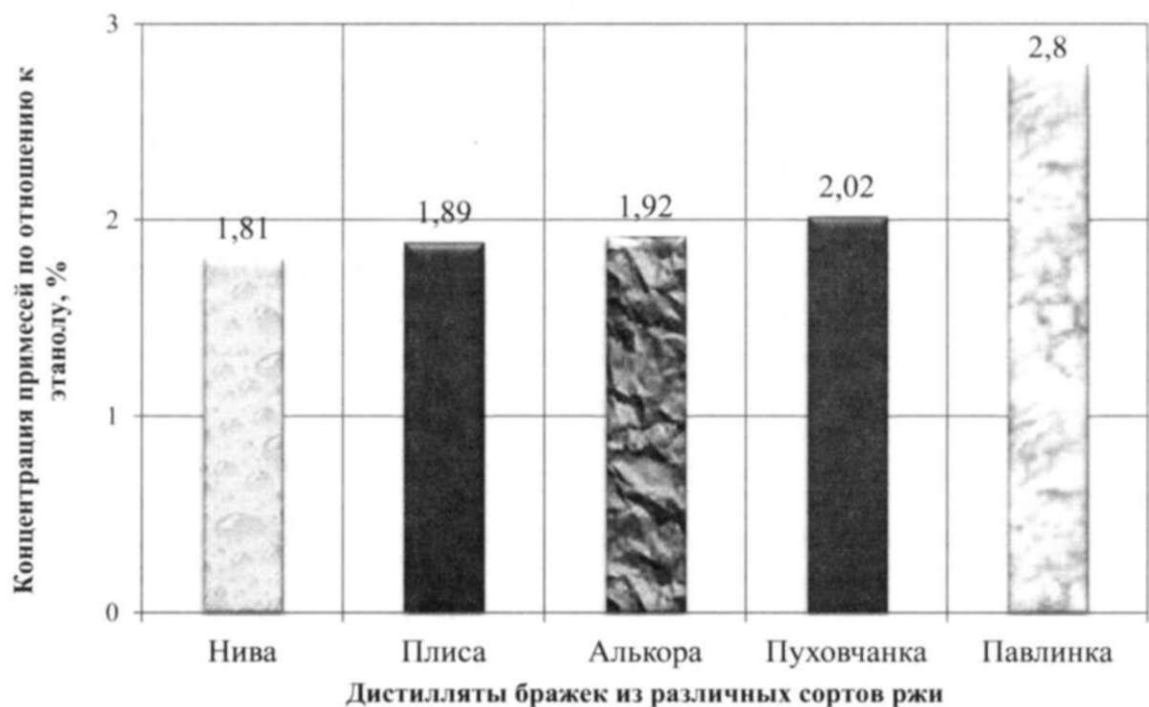


Рисунок 7 – Количество суммарных примесей в дистиллятах бражек по отношению к концентрации образовавшегося этанола

Как видно из рисунка 7, пониженная концентрация примесей при одновременном высоком содержании этанола наблюдалась в бражках, полученных из сортов ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора». В бражках из сортов ржи «Павлинка» при содержании спирта в 1,1–1,3 раза меньше, чем в бражках из всех остальных сортов ржи, концентрация примесей была в 1,4–1,6 раза больше.

Таким образом, использование сортов ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора» в качестве основного крахмалсодержащего сырья при получении спиртового сусла и его сбраживании обеспечивает не только высокое спиртонакопление, но и низкое образование побочных примесей, что свидетельствует о возможности получения более качественного продукта. Для спиртовых предприятий, перерабатывающих зерновое сырье по низкотемпературным режимам водно-тепловой обработки могут быть рекомендованы сорта ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора» как наиболее перспективные для получения высококачественного пищевого этилового спирта.

### **Заключение**

Изучены физико-химические показатели шести сортов ржи белорусской селекции «Плиса», «Нива», «Пламя», «Алькора», «Пуховчанка» и «Павлинка» применительно к условиям спиртового производства. Выявлено, что указанные сорта ржи, кроме сорта ржи «Пламя», являются пригодными для получения сусла по режимам низкотемпературного разваривания. Наиболее эффективными для получения спиртового сусла являются сорта ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора». Сусло, полученное на основе данных сортов ржи, обладает высокими технологическими показателями, характеризуется хорошим углеводным составом и низкой вязкостью. Исследованы биохимические процессы, протекающие при сбраживании спиртового сусла из сортов ржи «Плиса», «Нива», «Алькора», «Пуховчанка» и «Павлинка». Показано, что наибольший выход спирта, высокие технологические показатели бражек и пониженное образование побочных продуктов брожения обеспечивается при сбраживании сортов ржи «Нива», «Плиса» и «Алькора».

### **Литература**

- 1 Кадыров, Р. Гибридная рожь: растущие перспективы/Р. Кадыров // Наше сельское хозяйство. – Минск: Редакция журнала «Наше сельское хозяйство», 2013, № 23(Агрономия). – С.48–54.
- 2 Яровенко, В.Л. Технология спирта/ В.Л. Яровенко, В.А. Маринченко, В.А. Смирнов и др.; Под ред. проф. В.Л. Яровенко.– М.: Колос, «Колос-Пресс», 2002 – 465 с.
- 3 Фертман, Г.И. Химико-технологический контроль спиртового и ликероводочных производства/ Г.И. Фертман, М.И. Шойхет. – М: Пищевая промышленность, 1981. – 223 с.
- 4 Лихтенберг, Л.А. Производство спирта из зерна/Л.А. Лихтенберг – М.: Пищевая промышленность, 2006.– 324с.

*Поступила в редакцию 19.05.2015*