

**Серба Е.М., д.б.н., доцент, проф. РАН, Оверченко М.Б., к.т.н., в.н.с., Игнатова Н.И., н.с., Белокопытова Е.Н., магистр, Римарева Л.В., д.т.н., академик РАН, г.н.с.**

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал  
ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи»  
(Россия, г. Москва)

## **СОСТАВ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ЗЕРНОВОГО СУСЛА, ПРИГОТОВЛЕННОГО ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ**

*Аннотация. В настоящее время одной из важнейших задач перерабатывающей промышленности является реализация современных биотехнологических методов рационального использования высокомолекулярных полимеров сельскохозяйственного сырья с целью снижения его технологических потерь, сокращения образования отходов производства и повышения выхода целевого продукта. В работе представлены результаты исследований влияния ферментных систем с различной субстратной специфичностью на аминокислотный, углеводный и ионный состав концентрированного зернового сусла, приготовленного из различных видов зерновых культур. Эффективность биокаталитического воздействия ферментного комплекса, включающего амилазы, гемицеллюлазы и протеазы, выразилась в повышении концентрации ассимилируемых дрожжами аминокислот в свободной форме, редуцирующих углеводов, в т.ч. глюкозы и мальтозы, и отразилась на катионном и анионном составе зернового сусла, приготовленного из зерновых культур, наиболее широко используемых в спиртовом производстве.*

*Ключевые слова: ферменты, зерновое сусло, аминокислоты, углеводы*

**E.M. Serba, Doctor of Biological Science, Docent, Professor of RAS, M.B. Overchenko, Candidate of Technical Science, Leading Researcher, N.I. Ignatova, Researcher, E.N. Belokopytova, Master, L.V. Rimareva, Doctor of Technical Science, Academician of RAS, Chief Researcher**

All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – Branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

## **COMPOSITION OF CONCENTRATED GRAIN WORT, PREPARED FROM VARIOUS TYPES OF GRAIN RAW MATERIALS**

*Annotation. Currently, one of the most important task of the processing industry is the implementation of modern biotechnological methods for the rational use of high-molecular polymers of agricultural raw materials with a view to reducing its technological losses, reducing production waste and increasing the yield of the target product. The paper presents studies results of the influence of enzyme systems with different substrate specificity on the amino acid, carbohydrate and ionic composition of concentrated grain wort, prepared from various types of cereal crops. The effectiveness of the enzyme complex biocatalytic effect, including amylases, hemicellulases and proteases, was expressed in an increase in the concentration of amino acids assimilated by yeast in free form, reducing carbohydrates, including glucose and maltose, and effected on the cationic and anionic composition of grain wort, prepared from cereals, the most widely used in alcohol production.*

*Key words: enzymes, grain wort, amino acids, carbohydrates*

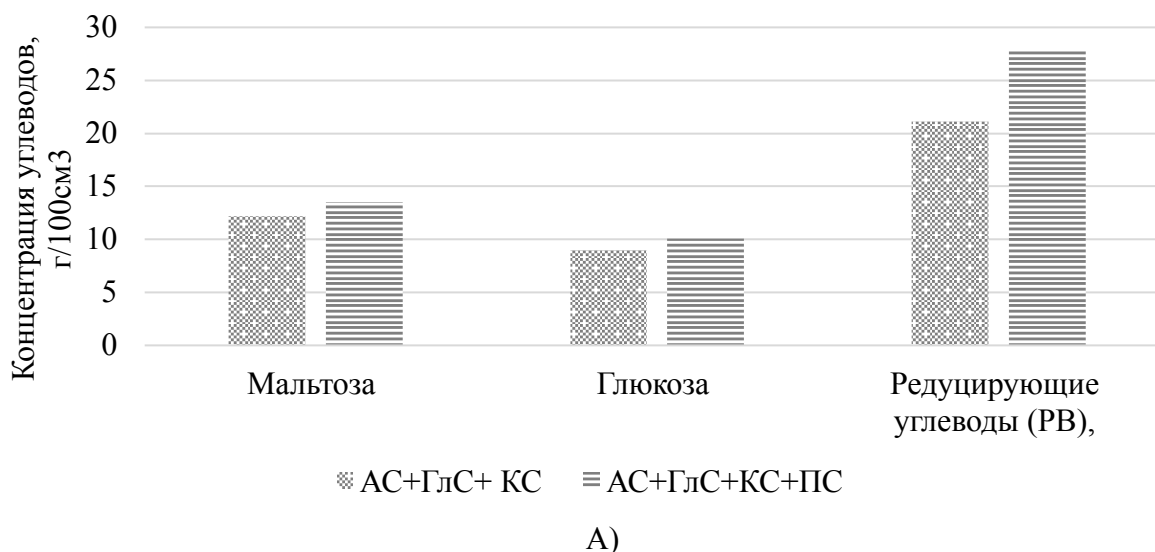
Развитие ресурсосберегающих технологий производства спирта предусматривает повышение концентрации зернового суслу [1]. Существующее в России промышленное производство спирта основано на сбраживании зернового суслу с концентрацией растворимых сухих веществ 16-22%. Повышение концентрации зернового суслу до 30-35% позволит сократить объем образования барды почти в 2 раза. Для приготовления высококонцентрированного суслу следует использовать ферменты широкого спектра действия, обеспечивающие эффективный гидролиз: ксиланов зернового сырья - для снижения вязкости суслу, глюканов - для повышения уровня концентрации глюкозы и белковых веществ – для обогащения суслу легкоусвояемым аминным азотом [2-4].

В связи с этим, перспективным способом, способствующим повышению эффективности спиртового производства и снижению образования отходов, является приготовление зернового суслу с концентрацией растворимых сухих веществ (РСВ) свыше 25% и подбор комплексной ферментативной системы, катализирующей глубокий гидролиз белка и полисахаридов сырья, с получением высококачественного зернового суслу, обогащенного ассимилируемыми дрожжами моно- и ди- сахарами и свободными аминокислотами.

Целью работы являлось исследование влияния ферментов амилолитического, глюкоамилазного, ксиланазного и протеолитического действия на качество концентрированного зернового суслу, приготовленного на основе пшеницы, кукурузы и ржи.

Приготовление зернового суслу осуществляли по «мягкой» механико-ферментативной схеме разваривания при температуре до 90-95°C [5] и гидромодуле 1:1,8, создавая концентрацию растворимых сухих веществ (РСВ) 30% [5]. В зависимости от поставленных задач применены различные ферментные системы: для разжижения крахмала зернового суслу использовали ферментный препарат - источник термостабильной  $\alpha$ -амилазы (АС); осахаривание крахмала и некрахмальных полисахаридов суслу осуществляли источниками глюкоамилазы (ГлС) в дозировке 6,0-12,0 ед.ГлС/г крахмала и ксиланазы (КС) – 0,3-0,4 ед. КС/г; для протеолиза белковых веществ вводили источник кислой протеазы из расчета 0,2-0,3 ед ПС/г.

Исследовано влияние ферментных комплексов на содержание сбраживаемых углеводов (РВ), в т.ч. мальтозы и глюкозы, в зерновом суслу концентрации 30% РСВ. Показано, что воздействие комплекса ферментов карбогидразного и протеолитического действия на биополимеры зернового сырья повышает, не только концентрацию ассимилируемых дрожжами аминокислот, но и концентрацию углеводов (рис.1, 2).



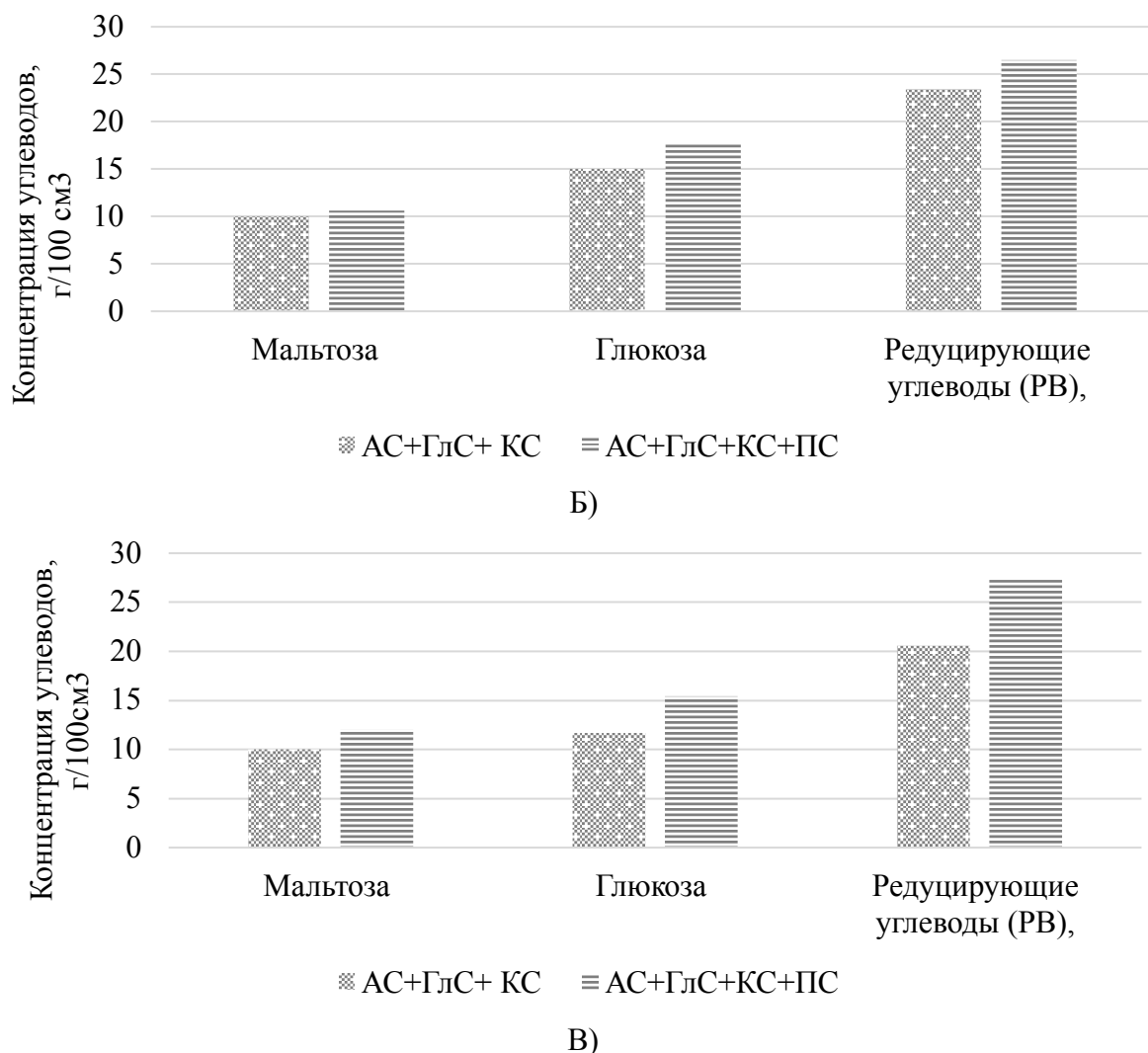


Рис. 1 – Влияние ферментных комплексов на содержание сбраживаемых углеводов в пшеничном (А), ржаном (Б) и кукурузном сусле (В) концентрации концентрации 30% РСВ

Исследовано влияние ферментных комплексов различной субстратной специфичности и механизма действия на содержание в зерновом сусле общих и свободных аминокислот (рис.2).

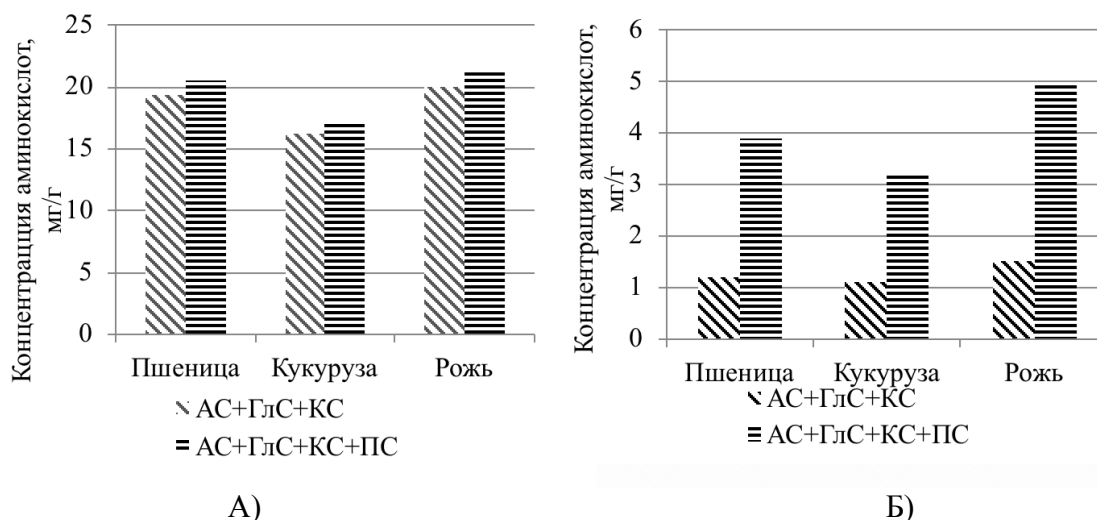


Рис. 2 – Концентрация общих (А) и свободных (Б) аминокислот в зерновом сусле (РСВ 30%) в зависимости состава ферментного комплекса

Результата аминокислотного анализа показали, что использование полного комплекса ферментов, включающего протеазы, обеспечивает повышение концентрации свободных аминокислот в 2,8-3,3 раза в зависимости от вида перерабатываемого зернового сырья.

Таким образом, установлено, что в зависимости от используемого комплекса ферментов повышалась степень конверсии полисахаридов, увеличивалось содержание сбраживаемых углеводов, в т.ч., глюкозы и мальтозы, несмотря на то, что состав карбогидраз и их дозировка во всех вариантах обработки для приготовления зернового суслу с концентрацией 30% РСВ были одинаковы (рис. 1). Подобная закономерность отмечена при исследовании углеводного состава суслу, приготовленного из различных видов зерна. Повидимому, это связано с тем, что в результате использования комплекса ферментов амилолитического, гемицеллюлазного и протеолитического действия деструктурируется белково-полисахаридный матрикс и повышается доступ амилолитических ферментов к крахмалу, что способствует увеличению степени деструкции крахмальных полимеров.

Исследовано влияние ферментных систем с различной субстратной специфичностью на изменения ионного состава зернового суслу. Установлено, что содержание катионов и анионов в зерновом сусле, зависело от субстратной специфичности ферментов, входящих в комплекс (табл.1). При использовании полного комплекса ферментов амилолитического, ксиланазного и протеолитического действия (АС+ГлС+КС+ПС) концентрация ионов в сусле была несколько ниже, чем в случае использования комплекса, содержащего только карбогидразы (АС+ГлС+КС). При этом в пшеничном сусле отмечено наиболее высокое содержание катионов (на 10-40%) и анионов (на 25-77%) по сравнению с ржаным и кукурузным суслем соответственно (табл.1).

В результате исследований установлено, что содержание анионов органической природы в исходном пшеничном сусле (30% РСВ) существенно зависит от субстратной специфичности ферментов. Так, наиболее высокий уровень концентрации оксалатов, малатов, цитратов отмечен при использовании ферментов амилолитического и гемицеллюлазного действия, осуществляющих деструкцию полисахаридов (крахмала,  $\beta$ -глюканов и ксиланов) зернового суслу (табл.2).

Таблица 2 - Содержание ионов в концентрированном зерновом сусле в зависимости от используемого ферментного комплекса

Используемый ферментный комплекс	Концентрация катионов и анионов, мг/дм <sup>3</sup>		
	Катионы	Анионы неор. кислот	Анионы орг. кислот
Кукуруза			
АС+ГлС+КС	1505	1307	949
АС+ГлС+КС+ПС	1179	1270	927
Рожь			
АС+ГлС+КС	1614	1846	791
АС+ГлС+КС+ПС	1567	1812	778
Пшеница			
АС+ГлС+КС	1783	2347	969
АС+ГлС+КС+ПС	1700	2255	857

Протеолиз белковых веществ зернового суслу до низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот ферментным комплексом, включающим протеиназы и пептидазы, сопровождался снижением концентрации некоторых анионов в среде. Особенно это сказалось на содержании в сусле оксалатов, малатов и ацетатов (табл. 3).

Таблица 3 - Содержание анионов органических кислот в зерновом сусле, полученном с использованием различных ферментных систем

Состав ионов, мг/дм <sup>3</sup>	Ферментные комплексы	
	АС+ГлС+КС	АС+ГлС+ПС+КС
Оксалаты	182,3	163,3
Фумараты	44,5	39,6
Малаты	403,7	358,1
Цитраты	201,9	192,1
Сукцинаты	23,2	22,4
Ацетаты	61,0	43,5
Лактаты	53,1	38,4

Результаты исследований биохимического состава концентрированного зернового сусле, приготовленного из различных видов зернового сырья, подтвердили существенную роль ферментов с различной субстратной специфичностью в формировании качественных показателей зернового сусле. Эффективность биокаталитического воздействия ферментного комплекса, включающего амилазы, гемицеллюлазы и протеазы, выразилась в повышении концентрации ассимилируемых дрожжами аминокислот в свободной форме, редуцирующих углеводов, в т.ч. глюкозы и мальтозы, и отразилась на катионном и анионном составе зернового сусле, приготовленного из зерновых культур, наиболее широко используемых в спиртовом производстве.

*Исследования проведены за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы Фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 г.г. (тема № 0529-2018-0112).*

#### Список литературы

1. *Серба, Е.М.* Биотехнологические основы комплексной переработки зернового сырья и вторичных биоресурсов в этанол и белково-аминокислотные добавки /Е.М. Серба, В.А. Поляков //Монография (ISBN 978-5-906592-49-1) - М.:ВНИИПБТ, 2015. – 133 с.
2. *Римарева, Л.В.* Теоретические и практические основы ферментативного катализа полимеров зернового сырья в спиртовом производстве / Л.В. Римарева, М.Б. Оверченко, Н.И. Игнатова, И.М. Абрамова // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2008. - № 3. – С. 4-9.
3. *Серба, Е.М.* Биотехнологические основы микробной конверсии концентрированного зернового сусле в этанол/Е.М. Серба, М.Б. Оверченко, Л.В. Римарева //Монография (ISBN 978-5-9500501-6-9. DOI 10.18334 /9785950050169) М.: «БИБЛИОГЛБУС», 2017,120 с.
4. *Римарева, Л.В.* Влияние ферментных комплексов на метаболизм спиртовых дрожжей и накопление ионов неорганической природы в концентрированном зерновом сусле /Л.В. Римарева, М.Б. Оверченко, Н.И. Игнатова, Н.В. Шелехова, Е.М. Серба, Н.Н. Мартыненко, А.Ю. Кривова // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2016. №3. – С.28-31.
5. Инструкция по теххимическому и микробиологическому контролю спиртового производства /В.А. Поляков [и др.]. – М.: ДеЛи принт. - 2007. – 480 с.