

## Ферменты промышленного назначения – обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития

Анна А. Толкачева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:anna-biotech@yandex.ru">anna-biotech@yandex.ru</a>
Дмитрий А. Черенков	<sup>2</sup>	<a href="mailto:d.cherenkov@mail.ru">d.cherenkov@mail.ru</a>
Ольга С. Корнеева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:korneeva-olgas@yandex.ru">korneeva-olgas@yandex.ru</a>
Павел Г. Пономарев	<sup>2</sup>	

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

<sup>2</sup> ООО «Инновационный центр «Бирюч-Новые Технологии» (ГК ЭФКО), ул. Белая Вежа, 1, с. Малобыково, Белгородская обл., 309927, Россия

**Реферат.** Микробиологические ферментные препараты все чаще заменяют обычные химические катализаторы в ряде промышленных процессов. Такие препараты, помимо экологичности и высокой активности, имеют ряд преимуществ перед ферментными препаратами растительного и животного происхождения, а именно: производство микробиологических ферментов в биореакторах легко контролируется и предсказуемо; экскретируемые микробиологические ферменты более устойчивы по сравнению с внутриклеточными животными и растительными ферментами; генетическое разнообразие микроорганизмов позволяет производить ферментные препараты с широким диапазоном специфичности; микробиологические ферменты могут синтезироваться круглогодично, в отличие от производства растительных ферментов, которое часто бывает сезонным. Лидерами мирового рынка ферментов являются протеазы и амилазы, на долю которых приходится 25% и 15% соответственно. В течение последних пяти лет мировой рынок карбогидраз, включающий в основном амилазы, целлюлазы и ксиланазы, был самым быстрорастущим сегментом рынка ферментов с совокупным среднегодовым темпом роста более 7,0%. Другим основным продуктом рынка промышленных ферментов, имеющим большой потенциал для роста, являются липазы. С точки зрения назначения основную долю представляют кормовые и пищевые ферменты. Российский рынок продолжает оставаться ненасыщенным – текущее предложение не в состоянии удовлетворить потребности российской комбикормовой и пищевой промышленности в ферментных препаратах. Ферментные препараты отечественных производителей пользуются спросом в кормопроизводстве, пищевые же промышленные предприятия отдают предпочтение импортной продукции. Наиболее значимыми предприятиями в отрасли ферментного производства в России на данный момент являются ООО «ПО«Сиббиофарм», НПЦ «АгроСистема», ООО «Агрофермент». В свете российской политики повышения продовольственной безопасности развитие отечественной ферментной промышленности является крайне актуальной задачей.

**Ключевые слова:** рынок ферментов, ферменты промышленного назначения, кормовые ферменты, пищевые ферменты

## Enzymes of industrial purpose - review of the market of enzyme preparations and prospects for its development

Anna A. Tolkacheva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:anna-biotech@yandex.ru">anna-biotech@yandex.ru</a>
Dmitrii A. Cherenkov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:d.cherenkov@mail.ru">d.cherenkov@mail.ru</a>
Olga S. Korneeva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:korneeva-olgas@yandex.ru">korneeva-olgas@yandex.ru</a>
Pavel G. Ponomarev	<sup>2</sup>	

<sup>1</sup> Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

<sup>2</sup> LLC "Innovative center "Biryuch-New Technologies", Belaya Vezha Str., 1, Malobykova, Belgorod region, 309927, Russia

**Summary.** Microbial enzyme preparations are increasingly replacing conventional chemical catalysts in a number of industrial processes. Such drugs, in addition to environmental friendliness and high activity, have a number of advantages over enzyme preparations of vegetable and animal origin, namely: the production of microbial enzymes in bioreactors is easily controlled and predictable; excreted microbiological enzymes are more stable than intracellular animals and plant enzymes; the genetic diversity of microorganisms makes it possible to produce enzyme preparations with a wide range of specificity; microbiological enzymes can be synthesized year-round, in contrast to the production of plant enzymes, which is often seasonal. The leaders of the world market of enzymes are proteases and amylases, which account for 25% and 15%, respectively. Over the past five years, the world market for carbohydrases, including mainly amylases, cellulases and xylanases, has been the fastest growing segment of the enzyme market with an aggregate annual growth rate of more than 7.0%. Another major product of the industrial enzyme market, which has a great potential for growth, is lipases. From the point of view of designation, the main part is represented by food and food enzymes. The Russian market continues to be unsaturated - the current supply is not able to meet the needs of the Russian feed and food industry in enzyme preparations. Enzyme preparations of domestic producers are in demand in forage production, while food industrial enterprises prefer imported products. The most significant enterprises in the enzymatic industry in Russia at the moment are Sibbiofarm, AgroSistema, Agroferment. In the light of the Russian policy of increasing food security, the development of the domestic enzyme industry is an extremely topical task.

**Keywords:** enzyme market, enzymes for industrial use, fodder enzymes, food enzymes

Для цитирования

Толкачева А.А., Черенков Д.А., Корнеева О.С., Пономарев П.Г. Ферменты промышленного назначения – обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 4. С. 197–203. doi:10.20914/2310-1202-2017-4-197-203

For citation

Tolkacheva A.A., Cherenkov D.A., Korneeva O.S., Ponomarev P.G. Enzymes of industrial purpose - review of the market of enzyme preparations and prospects for its development. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 4. pp. 197–203. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-4-197-203

### Введение

Промышленность постоянно вынуждена искать новые способы сделать производственные процессы экологически безопасными, а продукцию более конкурентоспособной. В связи с этим микробиологические ферментные препараты все чаще заменяют обычные химические катализаторы в ряде промышленных процессов. Такие препараты, помимо экологичности и высокой активности, имеют ряд преимуществ перед ферментными препаратами растительного и животного происхождения, а именно:

- производство микробиологических ферментов в биореакторах легко контролируется и предсказуемо;
- экскретируемые микробиологические ферменты более устойчивы по сравнению с внутриклеточными животными и растительными ферментами;
- генетическое разнообразие микроорганизмов позволяет производить ферментные препараты с широким диапазоном специфичности;
- микробиологические ферменты могут синтезироваться круглогодично, в отличие от производства растительных ферментов, которое часто бывает сезонным.

По отраслям применения промышленные ферменты можно подразделить на три сегмента:

- технические ферменты (применяемые в производстве синтетических моющих средств; в текстильной, кожевенной, целлюлозно-бумажной промышленности; в производстве биотоплива);
- ферменты для пищевой промышленности и производства напитков;
- кормовые ферменты.

Промышленные ферментные препараты часто сочетают в себе различные виды активности в зависимости от области их использования. Спрос на промышленные ферменты в США, Западной Европе, Японии и Канаде является стабильно высоким, в то время как рынки стран Южной Америки, Азиатско-Тихоокеанского региона, Восточной Европы, Африки и Ближнего Востока являются самыми быстрорастущими. Основная доля производства промышленных ферментов приходится на страны Европы, за которыми следуют США. С другой стороны, в Азиатско-Тихоокеанском регионе регистрируется самый быстрый совокупный среднегодовой

темп роста. Спрос на мировой рынке ферментов ежегодно растет на 6,3 %, этот рост связан главным образом с увеличением спроса на промышленные ферменты для производства кормов для животных, моющих средств, текстиля и этанола, а также специализированных ферментов для фармацевтических и косметических компаний.

### Разнообразие и области применения промышленных ферментов

Лидерами мирового рынка ферментов являются протеазы и амилазы, на долю которых приходится 25% и 15% соответственно. В течение последних пяти лет мировой рынок карбогидраз, включающий в основном амилазы, целлюлазы и ксиланазы, был самым быстрорастущим сегментом рынка ферментов с совокупным среднегодовым темпом роста более 7,0%. Другим основным продуктом рынка промышленных ферментов, имеющим большой потенциал для роста, являются липазы. С точки зрения назначения основную долю представляют кормовые и пищевые ферменты. Ожидается, что в ближайшие годы развивающиеся регионы станут самыми быстрорастущими потребителями кормовых промышленных ферментов, основной среди которых – фитаза. Это связано с увеличением дохода на душу населения, который в свою очередь стимулирует увеличение спроса на мясо.

Что касается производства пищевых продуктов и напитков, успешное применение таких ферментов как амилазы, пептидазы и глюкозоизомеразы обусловило постоянный рост этого сегмента рынка промышленных ферментов, также подкрепляемый спросом со стороны производителей молочных и хлебобулочных изделий. Ферменты для крахмало- и сахаропроизводства составляют 43,7% рынка, из которых 90% используются для получения высокофруктозных сиропов. Инновации в этом секторе в основном связаны с производством ферментов генетически модифицированными организмами, однако применение таких ферментов в пищевой промышленности в настоящее время имеет ряд существенных ограничений.

Российский рынок пищевых ферментов имеет ряд характерных черт. Например, продажи ферментов для пивоварения значительно превышают продажи ферментов для всех остальных пищевых отраслей, в то время как в ряде стран Европы на рынке пищевых ферментов доминируют хлебопекарные ферменты – их доля в продажах составляет около 50%.

Помимо пивоваренной промышленности, в России достаточно активно внедряют ферменты в производственный процесс еще две отрасли – производство спирта и соков. В ближайшем будущем ожидается рост российской крахмалопаточной промышленности, что должно соответственно привести и к росту потребления ферментов этой отрасли.

Низкая скорость развития и внедрения ферментных технологий в российскую пищевую промышленность может быть связана с большей консервативностью России по сравнению с европейскими странами.

Сектор ферментов для производства синтетических моющих средств характеризуется высокой конкуренцией и быстрыми темпами роста. Мультиферментные составы, очень эффективные для удаления органических загрязнений, прошли путь от изначального применения в стиральных порошках и моющих средствах до специализированной очистки хирургических инструментов. Кроме того, ферменты являются полностью биологически разлагаемыми, что обеспечивает низкое воздействие на окружающую среду по сравнению с использованием химических детергентов. Основными ферментами, которые используются в детергентной промышленности, являются протеазы, липазы, амилазы и целлюлазы.

Использование ферментов в кормовой промышленности растет из-за их влияния на повышение питательной ценности корма и более быстрый рост птицы и сельскохозяйственных животных. Преимущество также заключается в снижении загрязнения окружающей среды фосфатами, азотом, медью и цинком. Основными факторами, тормозящими развитие этого сегмента рынка являются достаточно высокая стоимость производства кормов, обогащенных ферментами, а также снижение каталитической активности ферментов в готовых кормах. Наибольшая доля среди кормовых ферментов приходится на фитазы, ксиланазы, протеазы и амилазы.

На российском рынке кормовых ферментов очень широко представлена продукция ведущих мировых производителей, доминируют среди которых такие компании как Huvepharma, BASF, DSM, Adisseo, Alltech, Royal OY, DuPont (Danisco), Kemin, Biochem. Рынок ферментов для кормопроизводства очень развит, отличается высокой конкуренцией, но,

к сожалению, на нем практически не представлена отечественная продукция. В конкурентной борьбе компании-производители кормовых ферментов постоянно внедряют новые технологии и улучшают качество сервиса. В натуральном выражении более 91% импорта кормовых ферментов приходится на сухие кормовые добавки. Наиболее перспективным направлением развития рынка является разработка мультиэнзимных препаратов, обладающих комплексной активностью и способных расщеплять нерастворимые полисахариды и фитаты. Это обусловлено возможностью добавления в корма продуктов переработки растительного сырья и других дешевых альтернативных источников белка и энергии при условии одновременного введения таких мультиэнзимных препаратов.

Мировой рынок текстильной промышленности составляет более 700 млрд. долларов и при этом ориентирован на инновации, ведущие к повышению качества продукции. Кроме того, возрастают требования к сокращению загрязнений окружающей среды отходами текстильного производства. Эти факты стимулируют внедрение достижений биотехнологии, в частности, замену химических реагентов на ферменты для обработки волокон. Такие ферменты применяются при таких видах влажной обработки как: тепловая мочка льна, расшлихтовки, обесклеивания и обезжиривания шелка, отбеливание. Кроме того, использование ферментов, помимо снижения химической нагрузки и повреждения и оборудования, позволяет снизить потребление энергии и воды. Основными ферментами, которые используются в текстильной промышленности, являются кислотные и нейтральные целлюлазы, термостабильные бактериальные амилазы, пероксидазы, каталазы и пектиназы.

За первые десятилетия нового тысячелетия глобальный спрос на жидкое биотопливо возрос более чем в три раза, и в настоящее время все возрастает спрос на топливо, полученное из возобновляемого растительного сырья. Растительное сырье служит источником самых разнообразных субстратов: сахаров, крахмала, лигноцеллюлоз и масел, которые в дальнейшем могут быть ферментативно обработаны для получения биотоплива. Рост мирового спроса на такое топливо вызван высокими ценами на нефть, необходимостью сокращения

импорта нефти, соображениями энергобезопасности, остротой экологических проблем, в частности, необходимостью смягчения эффектов парниковых газов. Все вышеперечисленное привело к значительному увеличению производства этанола на основе крахмала. В США за пять лет с 2006 по 2011 объем такого производства увеличился с 18 миллиардов литров до 51 миллиарда литров. Процесс получения биоэтанола включает амилолитическую стадию, что, не в последнюю очередь, обусловило увеличение рынка амилазы за последние 5 лет более чем в два раза. Потребность в жидком биотопливе также подталкивает к разработке технологии производства этанола из различных лигноцеллюлозных материалов, такая технология должна включать обработку целлюлазами, бета-глюкозидазой и гемицеллюлазами, рынок которых в последние годы показывает стабильный рост. Набирает популярность производство биодизеля из растительных масел и животного жира биотехнологическим методом, основанным на использовании липаз, что закономерно ведет к увеличению рынка липаз.

Целлюлозно-бумажная промышленность представляет собой огромный потенциал для рынков целлюлазы и ксиланазы, при условии, что стоимость ферментативной обработки не будет превышать стоимости применения хлора и перекиси водорода на стадии отбеливания, а также щелочей и кислот на стадии очистки оборудования. Существует также возможность применения ферментов в процессе удаления чернил из макулатуры в процессе вторичной переработки. Несмотря на то, что использование химических реагентов в целлюлозно-бумажной промышленности оказывает резко негативное воздействие на окружающую среду, сдвиг в сторону ферментативной обработки пока задерживается и основная причина тому – высокая стоимость существующих биокатализаторов.

#### **Структура российского рынка промышленных ферментов**

В российском производстве ферменты применяются фактически во всех отраслях пищевой промышленности, а также в кормопроизводстве. В начале 90-х годов XX века объем производства ферментов в России резко сократился. Спустя десять лет ферментная промышленность очень медленными темпами начала возрождаться, так в 2006 году объем отечественного производства ферментов составлял

не более 15 % от показателей 1990 года. На сегодняшний день ферментная промышленность очень медленно, но все же развивается. В 2016 году отечественный рынок ферментов на 95,6% состоял из импорта. По данным Ru-Stat импорт в Россию товаров из группы «ферменты; ферментные препараты» за период 2014-2017 составил \$372 млн., общим весом 44,3 тыс. тонн.

Собственное российское производство промышленных ферментов не превышает 3 тысяч тонн, что закономерно обусловлено крайне слабым развитием производственной базы для получения ферментов.

Специфика российского рынка заключается в том, что даже те немногие отечественные компании, которые выпускают промышленные ферменты, крайне узко специализированы. Объем российского производства почти полностью приходится на ферменты для пивоварения, спиртовой и кормовой промышленности.

ООО «ПО «Сиббиофарм» вплоть до последних лет оставался единственным значимым отечественным игроком на российском рынке промышленных ферментов. Традиционно, специализацией компании являются ферменты для спирто- и кормопроизводства, также выпускаются небольшие объемы ферментов для производства тканей и кожевенных изделий. Предприятие показывает ежегодный рост выпуска, который к настоящему времени достиг порядка 1 тыс. тонн ферментов в год. Ненасыщенность российского и мирового рынка ведет к увеличению внутреннего спроса и экспортного потенциала, что дает компании большой потенциал для роста производства. Среди российских предприятий, производящих ферменты для ветеринарии, молочной и мясной промышленности, можно отметить ОАО «Московский завод сычужного фермента», ЗАО «Завод эндокринных ферментов».

В 2014 году случилось очень значимое событие для российской ферментной промышленности: в Тамбовской области ввели в эксплуатацию ООО «Агрофермент» - первое за долгие годы вновь открытое предприятие, выпускающее ферментные препараты. Мощность составила около 1000 тонн в год. Предприятие ориентировано на выпуск кормовых ферментов, что связано с запросом отечественных кормопроизводителей на новые кормовые добавки, способные: увеличить скорость прироста биомассы сельскохозяйственных животных путем повышения конверсии кормов; уменьшить количество отходов и, как следствие, снизить экологическую нагрузку. Построенный завод

обладает возможностью перенастраивать мощности и производить препараты для различных отраслей, в том числе, для хлебопроизводителей, спиртовой и молочной промышленности, выпуска целлюлозно-бумажных и текстильных изделий. Также существует возможность расширения спектра микроорганизмов-продуцентов промышленных ферментов путем создания технопарка на базе Мичуринского государственного аграрного университета.

Несмотря на эти события, российский рынок ферментов по-прежнему сильно зависит от иностранных производителей: на долю импортных ферментных препаратов приходится до 80 % кормовых ферментных препаратов и 100% ферментов для производства детергентов. Несмотря на то, что ведущие биотехнологические компании мира уже давно и в больших объемах поставляют на российский рынок свою продукцию, ни одна из этих компаний не организовала свое производство в России. Датские (Novozymes и Danisco), немецкие (Biozym), американские (Alltech) и китайские (Shandong Longda Bio-Products Co) компании являются крупнейшими поставщиками ферментов на российский рынок. Многие иностранные компании работают напрямую с российскими и иностранными производителями моющих средств. Так, Biozym GmbH поставляет ферменты для ООО «Хенкель Рус», Novozymes A/S – для Procter & Gamble, Danisco A/S – для Procter & Gamble, ОАО «Невская косметика».

Наибольший темп роста потребления ферментов показывает сельское хозяйство, так с 2009 до 2013 год доля этого сегмента возросла с 16 до 30 %. Это вызвано как ростом сельского хозяйства и животноводства в частности, так и необходимостью интенсифицировать процессы в выращивании птиц, свиней и крупного рогатого скота.

К сожалению, в пищевой промышленности Россия сильно отстает от западноевропейских стран по потреблению инновационных ферментных препаратов, в частности в хлебопечении, масложировой промышленности, мясной промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Российский рынок ферментов. URL: <http://r-monitoring.ru/news/30>.

2 FAOSTAT. URL: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.

3 DiCosimo R., McAuliffe J., Pouloueb A.J., Bohlmann G. Industrial use of immobilized enzymes // *Chemical society reviews*. 2017. № 42. P. 6437-6474. doi 10.1039/C3CS35506C

#### Заключение

В общем, мировое промышленное использование ферментных препаратов за последнее десятилетие возросло в два раза. Причиной тому послужил запрос на так называемые углеродно-нейтральные технологии. Секвенирование геномов и прогресс в геномной инженерии вызвали значительное повышение разнообразия коммерческих ферментных препаратов – эффективных и при этом недорогих.

Российский рынок продолжает оставаться ненасыщенным – текущее предложение не в состоянии удовлетворить потребности российской комбикормовой и пищевой промышленности в ферментных препаратах. Ферментные препараты отечественных производителей пользуются спросом в кормопроизводстве, пищевые же промышленные предприятия отдают предпочтение импортной продукции. Среди иностранных производителей на российском рынке в 2016 году наибольший объем приходился на датские компании Novozymes и Danisco – 37 %, на втором месте Китай – 11%. В целом, ситуация в отечественной ферментной промышленности продолжает оставаться неутешительной, не в последнюю очередь, из-за слабой государственной поддержки предприятий такого рода. Наиболее значимыми предприятиями в отрасли ферментного производства в России на данный момент являются ООО «ПО«Сиббиофарм», НПЦ «АгроСистема», ООО «Агрофермент». В свете российской политики повышения продовольственной безопасности развитие отечественной ферментной промышленности является крайне актуальной задачей. Отчасти решению этой задачи способствует принятие «Комплексной программы развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года» и формирование технологической платформы «БиоТех2030», но без комплексной государственной поддержки создание отечественного производства промышленных ферментов, способного конкурировать с мировыми лидерами, не представляется возможным.

4 Quehenberger J., Shen L., Albers S.V., Siebers B., Spadiut O. Sulfolobus - A Potential Key Organism in Future Biotechnology // *Front Microbiol*. 2017. №12. doi 10.3389/fmicb.2017.02474

5 Arantes V., Saddler J.N. Access to cellulose limits the efficiency of enzymatic hydrolysis: the role of amorphogenesis // *Biotechnol Biofuels*. 2010. № 3.

6 Banerjee G., Scott-Craig J.S., Walton J.D. Improving enzymes for biomass conversion: a basic research perspective // *Bioenerg Res.* 2010. № 3. P. 82–92.

7 Bommarius A.S., Blum J.K., Abrahamson M.J. Status of protein engineering for biocatalysts: how to design an industrially useful biocatalyst // *Curr Opin Chem Biol.* 2011. № 15. P. 194–200.

8 Dai X., Wang H., Zhang Z., Li K. et al. Genome sequencing of *Sulfolobus* sp. A20 from costa rica and comparative analyses of the putative pathways of Carbon, Nitrogen, and Sulfur metabolism in various *sulfolobus* strains // *Front. Microbiol.* 2016. № 7. doi: 10.3389/fmicb.2016.01902

9 Elleuche S., Schäfers C., Blank S., Schröder C. et al. Exploration of extremophiles for high temperature biotechnological processes // *Curr. Opin. Microbiol.* 2015. № 25. P. 113–119. doi: 10.1016/j.mib.2015.05.011

10 Du Y., Shi P., Huang H., Zhang X. et al. Characterization of three novel thermophilic xylanases from *Humicola insolens* Y1 with application potentials in the brewing industry // *Bioresour Technol.* 2013. №130. P. 161–167.

11 Turner P., Mamo G., Karlsson E.N. Potential and utilization of thermophiles and thermostable enzymes in biorefining // *Microb Cell Fact.* 2007. № 6. P. 916–917

12 Matsuzawa T., Kaneko S., Yaoi K. Improvement of thermostability and activity of *Trichoderma reesei* endo-xylanase Xyn III on insoluble substrates // *Appl Microbiol Biotechnol.* 2016. №100. P. 1–9.

13 Обзор рынка биотехнологий в России и оценка перспектив его развития. URL: <http://biotech2030.ru/obzor-rynka-biotekhnologij-v-rossii-i-otsenka-perspektiv-ego-razvitiya/>

## REFERENCES

1 Rossiiskii rynek fermentov [Russia enzyme market] Available at: <http://r-monitoring.ru/news/30>. (in Russian)

2 FAOSTAT. URL: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.

3 DiCosimo R., McAuliffe J., Pouloueb A.J., Bohlmann G. Industrial use of immobilized enzymes. *Chemical society reviews.* 2017. no. 42. pp. 6437–6474. doi 10.1039/C3CS35506C

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Анна А. Толкачева** аспирант, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [anna-biotech@yandex.ru](mailto:anna-biotech@yandex.ru)

**Дмитрий А. Черенков** д.б.н., заместитель генерального директора по биотехнологическим проектам, ООО «Инновационный центр «Бирюч-Новые Технологии», (ГК ЭФКО), ул. Белая Вежа, 1, с. Малобыково, Белгородская обл., 309927, Россия, [d.cherenkov@mail.ru](mailto:d.cherenkov@mail.ru)

4 Quehenberger J., Shen L., Albers S.V., Siebers B., Spadiut O. *Sulfolobus* - A Potential Key Organism in Future Biotechnology. *Front Microbiol.* 2017. no. 12. doi 10.3389/fmicb.2017.02474

5 Arantes V., Saddler J.N. Access to cellulose limits the efficiency of enzymatic hydrolysis: the role of amorphogenesis. *Biotechnol Biofuels.* 2010. no. 3.

6 Banerjee G., Scott-Craig J.S., Walton J.D. Improving enzymes for biomass conversion: a basic research perspective. *Bioenerg Res.* 2010. no. 3. pp. 82–92.

7 Bommarius A.S., Blum J.K., Abrahamson M.J. Status of protein engineering for biocatalysts: how to design an industrially useful biocatalyst. *Curr Opin Chem Biol.* 2011. no. 15. pp. 194–200.

8 Dai X., Wang H., Zhang Z., Li K. et al. Genome sequencing of *Sulfolobus* sp. A20 from costa rica and comparative analyses of the putative pathways of Carbon, Nitrogen, and Sulfur metabolism in various *sulfolobus* strains. *Front. Microbiol.* 2016. no. 7. doi: 10.3389/fmicb.2016.01902

9 Elleuche S., Schäfers C., Blank S., Schröder C. et al. Exploration of extremophiles for high temperature biotechnological processes. / *Curr. Opin. Microbiol.* 2015. no. 25. pp. 113–119. doi: 10.1016/j.mib.2015.05.011

10 Du Y., Shi P., Huang H., Zhang X. et al. Characterization of three novel thermophilic xylanases from *Humicola insolens* Y1 with application potentials in the brewing industry. *Bioresour Technol.* 2013. no. 130. pp. 161–167.

11 Turner P., Mamo G., Karlsson E.N. Potential and utilization of thermophiles and thermostable enzymes in biorefining. *Microb Cell Fact.* 2007. no. 6. pp. 916–917

12 Matsuzawa T., Kaneko S., Yaoi K. Improvement of thermostability and activity of *Trichoderma reesei* endo-xylanase Xyn III on insoluble substrates. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2016. no. 100. pp. 1–9.

13 Обзор рынка биотехнологий в России и оценка перспектив его развития [Overview of the biotechnology market in Russia and evaluation of the prospects for its development]. Available at: <http://biotech2030.ru/obzor-rynka-biotekhnologij-v-rossii-i-otsenka-perspektiv-ego-razvitiya/> (in Russian)

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Anna A. Tolkacheva** graduate, department of biochemistry and biotechnology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [anna-biotech@yandex.ru](mailto:anna-biotech@yandex.ru)

**Dmitrii A. Cherenkov** Dr. Sci. (Biol.), Deputy Director for bio-technological projects, LLC "Innovative center "Biryuch-New Technologies", CG EFKO, Belaya Vezha Str., 1, Malobykova, Belgorod region, 309927, Russia, [d.cherenkov@mail.ru](mailto:d.cherenkov@mail.ru)

**Ольга С. Корнеева** д.б.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ул. Белая Вежа, 1, с. Малобыково, Белгородская обл., 309927, Россия, [korneeva-olgas@yandex.ru](mailto:korneeva-olgas@yandex.ru)

**Павел Г. Пономарев** заместитель генерального директора по экономическому моделированию, ООО «Инновационный центр «Бирюч-Новые Технологии», (ГК ЭФКО), ул. Белая Вежа, 1, с. Малобыково, Белгородская обл., 309927, Россия

#### **КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА**

**Анна А. Толкачева** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Дмитрий А. Черенков** обзор литературных источников по исследуемой проблеме

**Ольга С. Корнеева** консультация в ходе исследования

**Павел Г. Пономарев** консультация в ходе исследования

#### **АКОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**ПОСТУПИЛА 15.11.2017**

**ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 30.11.2017**

**Olga S. Korneeva** Dr. Sci. (Biol.), professor, head of department, department of biochemistry and biotechnology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [korneeva-olgas@yandex.ru](mailto:korneeva-olgas@yandex.ru)

**Pavel G. Ponomarev** Deputy Director for Economic Modeling, LLC "Innovative center "Biryuch-New Technologies", CG EFKO, Belaya Vezha Str., 1, Malobykova, Belgorod region, 309927, Russia

#### **CONTRIBUTION**

**Anna A. Tolkacheva** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Dmitrii A. Cherenkov** review of the literature on an investigated problem

**Olga S. Korneeva** consultation during the study

**Pavel G. Ponomarev** consultation during the study

#### **CONFLICT OF INTEREST**

The authors declare no conflict of interest.

**RECEIVED 11.15.2017**

**ACCEPTED 11.30.2017**