

УДК 663.54

ЭКОБИОТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА

ГАРМАШ С. Н.^{1*}, к.с.-х.н., доц.

ГЕРАСИМЕНКО В. А.², к.х.н., доц.

РУНОВА Г. Г.³

^{1, 2, 3*}Кафедра биотехнологии и безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, 49605, Днепропетровск, Украина, тел. +380955387138, e-mail: svgarmash@ukr.net

Аннотация. Цель. В связи с сокращением природных ископаемых актуален поиск альтернативных источников энергии. Реальным путем решения этой проблемы является производство биологических видов топлива (биоэтанола) из целлюлозосодержащих отходов. Энергетический потенциал биомассы в Украине по производству биоэтанола составляет 2,36 млн. т у.т. Цель работы – исследование возможности получения биоэтанола из многотоннажных отходов агропромышленного комплекса: кукурузных качанов, жома сахарной свеклы, отходов картофеля. **Методика.** Предлагается использовать мезофильные термотолерантные дрожжи *Hansenula polymorpha* для процесса одновременного осахаривания и ферментации. Промышленное использование этих дрожжей обусловлено их способностью к накоплению значительной биомассы в ферментере, что обеспечивает высокий выход целевых продуктов. Для получения биоэтанола проведены стадии процесса, включающие тепловую обработку сырья, гидролиз клейстеризованного крахмала, брожение, отделение жидкости, охлаждение, перегонку раствора. **Результаты.** В результате тепловой обработки субстрата на водяной бане наблюдалась клейстеризация крахмала, при внесении дрожжей *Hansenula polymorpha* происходил процесс одновременного осахаривания и ферментации. После брожения отделенной и охлажденной жидкости в анаэробных условиях образовался водно-спиртовой раствор, при перегонке которого получен биоэтанол. Установлено, что в промышленных условиях из 100000 т исследованных отходов можно получить от 14 до 17 млн. л биоэтанола, который содержит 68...74 % этанола. **Научная новизна.** Впервые проведены исследования по биоконверсии многотоннажных отходов агропромышленного комплекса (качанов кукурузы, жома сахарной свеклы, отходов картофеля). Предлагаемая технология позволит получить альтернативный источник энергии – биоэтанол и утилизировать отходы АПК. **Практическая значимость.** Внедрение предлагаемой технологии биоутилизации целлюлозосодержащих отходов позволит улучшить экологическую обстановку территорий, прилегающих к перерабатывающим предприятиям. Безотходная технология биоконверсии отходов агропромышленного комплекса (качанов кукурузы, жома сахарной свеклы, отходов картофеля) позволит получить перспективный и недорогой альтернативный источник энергии – биоэтанол. Осадки после перегонки биоэтанола (экологически безопасные отходы) можно использовать как удобрение и кормовые добавки для животных, птицы и др. При реализации полученной продукции хозяйство может получать доходы. Предлагаемая технология экономически и экологически выгодна для предприятий, перерабатывающих отходы.

Ключевые слова: целлюлозосодержащие отходы, гидролиз, дрожжи *Hansenula polymorpha*, биоэтанол

ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЧНА ПЕРЕРОБКА ВІДХОДІВ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ БІОЕТАНОЛУ

ГАРМАШ С. М.^{1*}, к.с.-г.н., доц.

ГЕРАСИМЕНКО В. О.² к.х.н., доц.

РУНОВА Г. Г.³

^{1*, 2, 3} Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, 49605, Дніпропетровськ, Україна, тел. +380955387138, e-mail: svgarmash@ukr.net

Анотація. Мета. В умовах загрози вичерпання природних копалин актуальний пошук альтернативних джерел енергії. Реальним шляхом вирішення цієї проблеми є виробництво біологічних видів палива (біоетанолу) з целлюлозосодержащих відходів. Енергетичний потенціал біомаси в Україні по виробництву біоетанолу складає 2,36 млн. т у.т. Мета роботи – дослідження можливості отримання біоетанолу з багатотоннажних відходів агропромислового комплексу: кукурудзяних качанов, жому цукрового буряка, відходів картоплі. **Методика.** Пропонується використати мезофілічні термотолерантні дріжджі *Hansenula polymorpha* для процесу одночасного оцукрення і ферментації. Промислове використання цих дріжджів обумовлене їх здатністю до накопичення значної біомаси у ферментері, що забезпечує високий вихід цільових продуктів. Для отримання біоетанолу проведені стадії процесу, що включають теплову обробку сировини, гідроліз клейстеризованного крохмалю, бродіння, відділення рідини охолодження, перегонку розчину. **Результати.** В результаті теплової обробки субстрату на водяній лазні спостерігалася клейстеризація крохмалю, при внесенні дріжджів *Hansenula polymorpha*

відбувався процес одночасного оцукрення і ферментації. Після бродіння відокремленої і охолодженої рідини в анаеробних умовах утворився водноспиртовий розчин, при перегонці якого отриманий біоетанол. Встановлено, що в промислових умовах з 100000 т досліджених відходів можливе отримати 14...17 млн. л біоетанолу, який містить 68...74 % етанолу. **Наукова новизна.** Уперше проведені дослідження по біоконверсії багатотоннажних відходів агропромислового комплексу (качанов кукурудзи, жому цукрового буряка, відходів картоплі). Пропонована технологія дозволить отримати альтернативне джерело енергії – біоетанол і утилізувати відходи АПК. **Практична значимість.** Впровадження пропонованої технології біоутилізації целлюлозовмісних відходів дозволить поліпшити екологічну обстановку територій, прилеглих до переробних підприємств. Безвідходна технологія біоконверсії відходів агропромислового комплексу (качанов кукурудзи, жому цукрового буряка, відходів картоплі) дозволить отримати перспективне і недороге альтернативне джерело енергії – біоетанол. Осад після перегонки біоетанолу (екологічно безпечні відходи) можна використати як добриво і кормові добавки для тварин, птахів та ін. При реалізації отриманої продукції господарство може отримувати доходи. Пропонована технологія економічно і екологічно вигідна для підприємств, що переробляють відходи.

Ключові слова: целлюлозовмісні відходи, гідроліз, дріжджі *Hansenula polymorpha*, біоетанол

EKOBIO TECHNOLOGY OF PROCESSING OF THE WASTES FOR THE RECEIPT OF BIOETHANOL

GARMASH S. N.^{1*}, Cand. Sc. (Agr.), Ass. Prof.

GERASIMENKO V. A.², Cand. Sc. (Chem.), Ass. Prof.

RUNOVA G. G.³

^{1*, 2, 3}Department of biotechnology and safety of vital activity, State Higher Educational Establishment «The Ukrainian State Chemical-Technological University», Gagarin avenue, 8, 49605, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +380955387138, e-mail: svgarmash@ukr.net

Abstract. Purpose. The supplies of minerals diminish annually, the search of alternative energy sources is actual. It is expedient to produce a bioethanol from wastes of cellulose. Power potential of Ukraine for the production of bioethanol is the 2,36 million tons of conditional fuel. The aim of our work is research of produce of bioethanol from multitonnage wastes of agroindustrial complex: wastes of corn, sugar beet, potato. **Methodology.** It is suggested to use yeasts *Hansenula polymorpha* for the process of simultaneous saccharification and fermentation. The industrial use of these yeasts is conditioned by their capacity for the accumulation of considerable biomass in a fermenter, that provides the high exit of foods. The main stages of this process are: thermal treatment of raw material, hydrolysis of starch, fermentation, separation of liquid, cooling, distillation of solution. **Findings.** Hydroalcoholic solution appeared after fermentation in anaerobic terms, a liquid was chilled and outdrowed a bioethanol. Pilot-scale from 100000 t of wastes it is possible to get from 14 to 17 million l of bioethanol that contains 68...74 % of ethanol. **Originality.** For the first time the researches of bioconversion of the agricultural wastes were carried out: wastes of corn, sugar beet and potato. The offered technology will allow to receive an alternative energy source (bioethanol), and also will allow to utilize wastes. **Practical value.** Introduction of the offered technology of bioutilization of wastes will allow to improve an ecological situation on territories of an enterprise. A bioethanol is a perspective and an expensive alternative energy source. Wastes of production of bioethanol can be used as a fertilizer and forage additions for animals, birds etc. Offered technology is economically and ecologically advantageous for agricultural enterprises.

Keywords: cellulose wastes, hydrolysis, yeasts *Hansenula polymorpha*, bioethanol

Введение

Мировое сокращение энергоресурсов стимулирует поиск альтернативных источников сырья для их производства. Одним из перспективных источников энергии является биоэтанол из биомассы. В 2012 г. мировое производство биоэтанола превысило 100 млрд. литров (80 млн. т). Лидеры производства топливного этанола - Бразилия, США, Китай и Франция – перерабатывают в биоэтанол сахар и крахмал, которые получают из сахарного тростника, сахарной свеклы и зерновых культур – кукурузы, пшеницы и др. НАН Украины принята комплексная программа научных исследований «Биомасса как топливное сырьё» («Биотопливо») [8]. Целью программы является уменьшение зависимости Украины от импорта энергетического сырья и обеспечение внедрения новейших технологий

биоэнергоконверсии для получения жидких топлив и расширения их использования; повышение эффективности производства разных видов биотоплив за счёт расширения сырьевой базы с использованием новых (альтернативных) культур, улучшение продуктивности используемых культур с помощью методов геномики, биотехнологии и селекции; разработки и усовершенствования технологий получения жидких биотоплив из различных культур, отходов сельскохозяйственного производства и продукции лесного хозяйства.

Экономически выгодно переработка в биотопливо лигноцеллюлозы – сырья второго поколения, источники которого практически неисчерпаемы (солома, стебли кукурузы, стебли и лузга подсолнечника, тырса и др.). Основная сложность заключается в решении вопроса уменьшения расходов на технологических стадиях предыдущей

подготовки и гидролиза лигноцеллюлозы до сахаров. Однако, масштабы финансовой поддержки научных разработок и практических технологических проектов в разных странах мира свидетельствуют о начале постепенного перехода к получению этанола второго поколения (из биомассы), что по прогнозам приведет к доминированию этого пути производства спирта в мире уже через 7-8 лет [8]. В декабре 2008 года лидеры стран Евросоюза на саммите в Брюсселе одобрили так называемый план «20-20-20», предусматривающий сокращение к 2020 году на 20% от уровня 1999-го объема загрязняющих выбросов в атмосферу, повышение до 20% в общей структуре энергопотребления доли энергии из возобновляемых источников и сокращение на 20% общих энергозатрат. Биоэтанол во многих странах мира используется как экобиоприсадка к бензинам, которую получают из зерновых культур. Помимо экологической выгоды (уменьшение выбросов на 30%) применение биоэтанола повышает октановое число топлива, увеличивая эффективность работы двигателя. Например, только в США действуют 134 завода по производству биоэтанола. Их производственные мощности позволяют выпускать 27,4 млрд. литров топливного этанола ежегодно. Еще 77 заводов общей мощностью 23,5 млрд. литров находятся в стадии строительства. Ожидаемый объем потребления биоэтанола в США в 2020 г. составит 111,4 млрд. литров. Сейчас все крупнейшие автомобильные компании мира – «Toyota», «Mitsubishi», «Nissan», «Mazda», «BMW», «Daimler Chrysler», «Volkswagen», «Renault», «Ford», «General Motors» и другие допускают использование горючего с добавлением до 10% этилового спирта [3].

В последние 25 лет мировым лидером в производстве биоэтанола является Бразилия. Себестоимость производства биоэтанола из сахарного тростника здесь даже ниже по сравнению со стоимостью минерального топлива, что обуславливает использование его до 40% от общего количества топлива [11]. Ежегодно в Украине накапливаются миллионы тонн отходов агропромышленного комплекса: животноводства, птицеводства, растениеводства, а также отходы при переработке зерновых, овощных, плодово-ягодных и др. культур, являющихся огромным энергетическим потенциалом биомассы для получения альтернативных источников энергии. Только из кукурузы при валовом сборе 12 млн. т можно производить 8 млн. т биотоплива в год. Источником сахара для ферментации могут быть растительные отходы и другие целлюлозосодержащие материалы. Но более выгодно получать биоэтанол из отходов сахарной свеклы. Сегодня мощность спиртовых заводов Украины используется лишь на 30%. При полном использовании этих мощностей в Украине есть возможность производить ежегодно свыше 280 млн. л биоэтанола. Программы по производству биоэтанола топливного назначения разработаны ещё в 90-х годах. Они предусматривают

перепрофилирование спиртовых заводов, которые потеряли рынки сбыта пищевого спирта. По экспертным оценкам потенциальные возможности нашей страны позволяют обеспечить до 2020 г. производство за год: биоэтанола – около 4,5-5 млн. тонн. Украина потребляет в год свыше 5,5 млн. тонн бензина (в сельском хозяйстве используют 800 тыс. тонн бензина). При добавлении только 6 % биоэтанола к бензину потребность в нем составит 250 млн. л в год. Биоутилизация этих отходов поможет предотвратить загрязнение воздушного, водного бассейнов и почвы [5].

Основным сырьем для биоэтанола является биомасса пищевого и непищевого потребления, которая содержит ферментируемые сахара. Существующие способы превращения целлюлозосодержащих отходов в биоэтанол включают гидролиз целлюлозы до глюкозы, сбраживание глюкозы и отгонку этанола. *Saccharomyces cerevisiae* является наиболее подходящим и используемым организмом для промышленного получения биоэтанола из сахаров, так как дрожжи имеют высокие темпы роста, ферментации и наработки этанола в анаэробных условиях, а также они устойчивы к высоким концентрациям этанола и низким значениям pH [9].

Наиболее перспективным источником сахаров считается лигноцеллюлозная биомасса. Перспективными природными источниками биотоплива считаются морские водоросли, злаковые растения [11], зелёная масса дикорастущих растений рода *Heracleum* [7], биомасса быстрорастущих деревьев (ива, тополь) [10], а также опилки [12]. Разработана технология получения целлюлозного этанола с применением ферментов [2].

Заслуживает внимание разработка японской компании Gekkeikan Sake по получению энзима, содержащего модифицированные на хромосомном уровне бактерии *Koji mold (Aspergilli)*. Полученные микроорганизмы *Super koji mold* способны расщепить целлюлозу. Разработанный метод позволяет экономить энергию, необходимую для расщепления целлюлозы и дистилляцию биоэтанола после ферментации, а также уменьшить количество воды, используемой в технологическом цикле [3].

Украина обладает большим потенциалом биомассы, доступной для производства энергии [5]. По данным 2011 года, экономически обоснованный энергетический потенциал существующих отходов биомассы составляет около 25 млн. т у.т. Энергетический потенциал биомассы в Украине по производству биоэтанола составляет 2,36 млн. т у.т.

Технология применения смеси биоэтанола с бензинами разработана на Украине 10 лет назад. Топливо моторное БЮ-100 является альтернативой бензину, оно существенно сокращает автомобильные вредные выбросы в окружающую среду, имеет высокий показатель октанового числа и предназначено для двигателей внутреннего сгорания, биоэтанол используется в смеси с дизельным

топливом. Это экологически безопасный бензин, который отвечает европейским стандартам и в Европе известен под названием Е-85.

В первом полугодии 2015 года заводы государственного предприятия «Укрспирт» произвели 2,333 тыс. тонн биоэтанола, в том числе 11,933 тыс. тонн альтернативного компонента моторного топлива [13].

В настоящее время основные расходы при производстве этанола приходятся на сырье, поэтому в ряде стран перерабатывают дешевое сырье, в частности, отходы деревообрабатывающей промышленности и сельского хозяйства [4].

Целью данной работы является исследование возможности использования отходов агропромышленного комплекса (жом сахарной свеклы, качанов кукурузы, некондиционного картофеля) в качестве сырья для получения биоэтанола.

Методика

Для процесса одновременного осахаривания и ферментации использованы мезофильные термолабильные дрожжи *Hansenula polymorpha* – уникальный организм, способный к алкогольной ферментации ксилиты и глюкозы при высокой температуре (45-50 °С). Благодаря способности к ферментации лигноцеллюлозных сахаров при высокой температуре микроорганизмы *H. polymorpha* являются перспективными при их использовании для одновременного осахаривания и ферментации (температурный оптимум около 55 °С), при которых происходит образование этанола [6].

Мезофильные дрожжи *H. polymorpha* являются одними из наиболее изученных видов. Промышленное использование *H. polymorpha* обусловлено их способностью к накоплению значительной биомассы в ферментере, что обеспечивает высокий выход целевых продуктов. Как и *S. cerevisiae*, дрожжи *H. polymorpha* растут на простых, недорогих питательных средах, накоплен опыт в промышленном их использовании и масштабировании. *H. polymorpha* рассматриваются как генетически безопасные организмы, которые не содержат патогенов или вирусных инфекций. Дрожжи *H. polymorpha* способны к высокотемпературной алкогольной ферментации глюкозы, ксилиты и целлобиозы, основных сахаров лигноцеллюлозных гидролизатов.

Для проведения эксперимента измельченные качаны кукурузы были помещены в стакан, добавлена вода в соотношении 1:2, перемешали и провели тепловую обработку. Биомассу подогрели на водяной бане в течение 45 минут при $t=70^{\circ}\text{C}$ для прохождения клейстеризации крахмала.

Далее жидкость, содержащую клейстеризованный крахмал, охладили до $t=55^{\circ}\text{C}$ и внесли дрожжи *Hansenula polymorpha*, позволяющие проводить процесс одновременного осахаривания и ферментации, при котором образуется биоэтанол.

Колба плотно закрывалась пробкой с отводной трубкой (процесс анаэробный), конец которой опускался в емкость с водой. Вся система помещалась в термостат ($t=55^{\circ}\text{C}$).

Сбраживание началось через час, о чем свидетельствовала образовавшаяся пена и пузырьки газа в емкости с водой. Емкость с пеной 2-3 раза перемешивали. Прекращение выделения пены и углекислого газа свидетельствовало об окончании процесса брожения. Наблюдалось осаждение дрожжей и осветление жидкости.

После брожения жидкость помещали в круглодонную колбу на $\frac{1}{2}$ по объему, к которой через шлифы подсоединили холодильник. Колбу устанавливали на песчаную баню электроплиты с закрытой спиралью для проведения процесса перегонки биоэтанола.

Определили объем перегнанного биоэтанола.

Результаты

В результате тепловой обработки субстрата на водяной бане наблюдалась клейстеризация крахмала. При внесении дрожжей *Hansenula polymorpha* происходил процесс одновременного осахаривания и ферментации.

После брожения отделенной и охлажденной жидкости в анаэробных условиях образуется водно-спиртовой раствор, при перегонке которого получен биоэтанол. В таблице 1 представлена схема исследований и их результаты.

Таблица 1

Схема проведения процесса биотрансформации растительного сырья / The chart of biotransformation of plant raw material

Сырье, биоматериалы	Стадия процесса	Продукты процесса
Измельченные кукурузные качаны (жом сахарной свеклы, отходы картофеля)	Тепловая обработка на водяной бане ($t=70^{\circ}\text{C}$)	Клейстеризация крахмала
Дрожжи <i>Hansenula polymorpha</i>	Гидролиз клейстеризованного крахмала для осахаривания и брожения в анаэробных условиях ($t=55^{\circ}\text{C}$)	Водно-спиртовой раствор
-	Отделение жидкости и охлаждение до 30°C	
	Перегонка водно-спиртового раствора	Биоэтанол

В результате проведения исследования установлено, что из 100 г сырья (качанов кукурузы, жома сахарной свеклы, отходов картофеля) получено соответственно 15, 17 и 14 мл биоэтанола.

Таким образом, предложенная методика позволяет в промышленных условиях из 100000 т исследованных отходов получить от 14 до 17 млн. л биотоплива, которое содержит 68...74 % этанола.

Отходы процесса гидролиза (осадки после отделения водно-спиртового раствора) можно использовать в качестве органического удобрения и кормовой добавки (в настоящее время завершаются исследования в этом направлении).

Научная новизна и практическая значимость

Проведены исследования по биоконверсии многотоннажных отходов агропромышленного комплекса (качанов кукурузы, жома сахарной свеклы, отходов картофеля). Предлагаемая технология позволит получить альтернативный

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Байбакова О. В. Биоконверсия лигноцеллюлозного субстрата мискантуса в этанол // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2. – С. 2783-2786.

Baybakova O. V. Biokonversiya lignotselyuloznogo substrata miskantusa v etanol [Bioconversion of lingo-cellulose substrat of miskantus into an ethanol]. *Fundamentalnyye isledovaniya – Fundamental researches*, 2015, no. 2, pp. 2783-2786.

<http://cyberleninka.ru/article/n/biokonversiya-lignotselyuloznogo-substrata-miskantusa-v-etanol>

2. Вильданов Ф. Ш., Латыпова Ф. Н., Чанышев Р. Р., Николаева С. В. Современные методы получения биоэтанола // *Башкирский химический журнал*. – 2011. – Т. 18. – № 2. – С. 128-134.

Vildanov F. Sh., Latupova F. N., Chanushev R. R., Nickolaeva S. V. Sovremennyye metody polucheniya bioetanola [Modern methods of production of bioethanol]. *Bashkirskiy himicheskij gurnal – Bashkir chemical magazine*, 2011, V. 18, no. 2, pp. 128-134.

<http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-polucheniya-bioetanola>

3. Гармаш С. Н. Биотрансформация целлюлозо-содержащих отходов с целью получения биоэтанола // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2013. – № 5. – С. 17-22.

Garmash S. N. Biotransformatsiya tselulozodergashih othodov s tselyu polucheniya bioetanola [Biotransformation of cellulose wastes with the purpose of receipt of bioethanol]. *Voprosu himii i himicheskoy tehnologii – The questions of chemistry and chemical technology*, 2013, no. 5, pp. 17-22.

http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vchem_2013_5_5.pdf

4. Гармаш С. М. Перспективи використання відходів сільського господарства та переробної промисловості для отримання біопалива в Україні // *Біотехнологія XXI століття: Міжн. наук.-практ. конф. до 200-річчя Т.Г. Шевченка: тези доп.*, 25.04.14. – К., НТУУ «КПІ», 2014. – С. 117.

Garmash S. N. Perspektivu vikorystanya vidhodiv silskogo gospodarstva ta pererobnoi promuslovosti dlya otrumanya biopaliva v Ukraini [Prospects of utilization of wastes of agriculture and processing industry for the receipt of

источник энергии – биоэтанол и утилизировать отходы агропромышленного комплекса.

Выводы

1. Биотрансформация целлюлозосодержащих отходов позволит улучшить экологическую обстановку на территориях, где перерабатывается сельскохозяйственная продукция.

2. Безотходная технология биоконверсии отходов агропромышленного комплекса (качанов кукурузы, жома сахарной свеклы, отходов картофеля) позволит получить перспективный и недорогой альтернативный источник энергии – биоэтанол.

3. Экологически безопасные отходы предлагаемой технологии можно использовать как удобрение и кормовые добавки для животных, птицы и др. При реализации полученной продукции хозяйство может получать доходы.

biopropellant in Ukraine]. *Biotechnologiya XXI stolittya: konferenciya – Biotechnology XXI century Kyiv*, 2014, p. 117.

<http://www.biotech.kpi.ua/files/2014.pdf>

5. Гелетуха Г. Г., Железная Т. А. Место биоэнергетики в проекте обновленной энергетической стратегии Украины до 2030 года // *Промышленная теплотехника*. – 2013. – Т. 35. – № 2. – С. 64-70.

Geletuha G. G., Zeleznyaya T. A. Mesto bioenergetiki v proekte obnovlenoi energeticheskoy strategii Ukrainu do 2030 goda [Place of bioenergetics in the project of the renewed power strategy of Ukraine to 2030]. *Promushlennaya teplotekhnika – Industrial heating engineering*, Kyiv, 2013, V. 35, no. 2, pp. 64-70.

<http://www.uabio.org/img/files/docs/place-of-bm-in-energy-strategy.pdf>

6. Дмитрук К. В., Сибирный А. А. Метаболическая инженерия дрожжей *Hansenula polymorpha* для создания эффективных продуцентов этанола // *Цитология и генетика*. – 2013. – Т. 47. – № 6. – С. 3-21.

Dmytruk K. V., Sibimiy A. A. Metabolicheskaya ingeneriyya drozey *Hansenula polymorpha* dlya sozdaniya effektivnykh produtsentov etanola [Metabolic engineering of the yeast Hansenula polymorpha for the construction of efficient ethanol producers]. *Tsitologiya i genetika – Cytology and genetics*, 2013, V. 47, no. 6, pp. 3-21.

<http://cytgen.com/ru/2013/3-21N6V47.htm>

7. Дорджиёв С. С., Патеёва И. Б. Энергосберегающая технология получения биоэтанола из зелёной массы растений *Heracleum* // *Ползуновский вестник*. – 2011. – № 2/2. – С. 251-255.

Dorgiyev S. S., Pateeva I. B. Energoresursoberegayushaya tehnologiya polucheniya bioetanola iz zelenoy masu rasteniy *Heracleum* [Energy and resource saving technology of receipt of bioethanol from green mass of Heracleum]. *Polzunovskiy vestnik – Polzunov's announcer*, Moscow, 2011, no. 2/2, pp. 251-255.

http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2011_02_2/pdf/251dorgiyev.pdf

8. Концепція цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Біологічні ресурси і новітні технології біоенергоконверсії» на 2013-2017 рр. Розпорядження Президії НАНУ від 20.03.2013 р. № 189.

Kontseptsiya tsilevoy komplexnoy programu naukovuh doslidgen NAN Ukrainu «Biologichni resursu I nivitni

tehnologii bioenergokonversii» na 2013-2017 roku. Rozporyadgenya Prezidii NAS Ukrainu vid 20.03. 2013 p. № 189 [Conception of the special purpose complex program of scientific researches of NAS of Ukraine the «Biological resources and newest technologies of bioenergoconversion» on 2013-2017, Order of Presidium of NAS of Ukraine from 20.03.2013 № 189]. Kyiv, 2013.

<http://litterref.ru/ujgpolujgyfsjgeaty.html>

9. Розанов А. С., Котенко А. В., Акбердин И. Р., Пельтек С. Е. Рекомбинантные штаммы *Saccharomyces cerevisiae* для получения этанола из растительной биомассы // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. Т. 18. - № 4/2. – С. 989-998.

Rozanov A. S., Kotenko A. V., Akberdin I. R., Peltek S. E. Rekombinantnyye shtamu *Saccharomyces cerevisiae* dlya polucheniya etanola iz rastitelnoy biomasu [Recombinant stamms of *Saccharomyces cerevisiae* for thereceipt of ethanol from vegetable biomass]. Vavilivskiy gurnal genetiki i selektsii – Vavilov's magazine of genetics and selection, Moscow, 2014, V. 18, no. 4/2, pp. 989-998.

http://www.bionet.nsc.ru/vogis/download/18-4-2/019_Rozanov.pdf

10. Сухих Р. А., Матвеевко А. С. Технология получения биоэтанола из сельскохозяйственной продукции // Наука. – 2012. - № 2. – С. 11-12.

Suhih R. A., Matveenko A. S. Tehnologiya polucheniya bioetanola iz selskohozyaystvennoy produktsii [Technology of receipt of bioethanol from an agricultural produce]. Nauka – Science, Moscow, 2012, no. 2, pp. 11-12.

<http://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-polucheniya-bioetanola-iz-selskohozyaystvennoy-produktsii>

11. Третьяков В. Ф., Макаффи Ю. И., Тальшинский Р. М., Французова Н. А. Каталитические превращения биоэтанола. Обзор // Вестник МИТХТ. – 2010. – Т. 5. - № 4. – С. 5-22.

Tretyakov V. F., Makarfi Yu. I., Talshinskiy R. M., Frantsuzova N. A. Kataliticheskiye prevrasheniya bioetanola. Obzor [The catalytic transformations of bioethanol. Review]. Announcer of Moscow institute of thin chemical technology, 2010, V. 5, no. 4, pp. 5-22.

<http://finechemtech.com/search/download/44/423/>

12. Чачина С. Б., Двоян А. В. Получение биоэтанола из органического сырья // Омский научный вестник. – 2014. – № 2 (134). – С. 224-228.

Chachina S. B., Dvoyan A. V. Poluchenie bioetanola iz organicheskogo syrva [The receipt of bioethanol from organic raw material]. Omskiy nauchnyy vestnik – Omsk scientific announcer, Omsk, 2014, no. 2 (134), pp. 224-228.

<http://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-bioetanola-iz-organicheskogo-syrva>

13. Agronews: Предприятия «Укрспирт» произвели 2,3 тыс. тонн биоэтанола за 2015 год.

Agronews: Predpriyatiya «Ukrspirt» proizveli 2,3 tusyach tonn bioetanola za 2015 god. [The enterprises of «Ukrainian alcohol» produced the 2,3 thousand tons of bioethanol for 2015]. Kyiv, 2015.

<http://agronews.ua/node/55733>

Статья рекомендована к публикации д-ром с.-х. наук, проф. Н. Н. Харитоновым (Украина); д-ром хим. наук, проф. В.Т. Сметаниным (Украина)

Поступила в редколлегию 01.09.2015