

УДК 502.174:631.84

С. А. Манжина

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

В. В. Денисов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРУПНОТОННАЖНЫХ ОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ НУЖД БИОЭНЕРГЕТИКИ

Целью исследований являлось изучение перспектив возделывания культур, предназначенных для производства биотоплива, на землях, мелиорируемых отходами производства. В последнее время экологические характеристики сырьевой и производственной базы имеют приоритетное значение для общества. В связи с этим широко-масштабная утилизация отходов производств приняла первостепенное значение. Одним из возможных способов утилизации химических отходов является использование их в других производствах в качестве сырья или вспомогательных элементов. К примеру, длительное время практикуется утилизация фосфогипса при использовании в качестве мелиоранта в сельском хозяйстве с положительной тенденцией улучшения плодородия земель. Однако при таком использовании всегда остается риск привнесения в почвы негативных элементов. Корректировка экологических характеристик почвы после проведения мелиорации фосфогипсом возможна при окультуривании ее естественными растениями-биоутилизаторами, например кукурузой и топинамбуром. В дальнейшем полученный урожай можно использовать в качестве сырья для получения биотоплива, которое в настоящее время востребовано мировым сообществом. Использование указанных культур в этом направлении продиктовано их высокой урожайностью, достаточно высоким выходом конечной продукции и отсутствием (по сравнению с продуктами питания) достаточно жестких требований к качеству сырья для биоэнергетических производств.

Ключевые слова: мелиорант, удобрения, биотопливо, биогаз, биометан, биодизель, биоэтанол, биорекультивация, отходы производства.

S. A. Manzhina

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

V. V. Denisov

South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

PROSPECTS OF LARGE-TONNAGE WASTE USE IN CROP GROWING FOR BIOENERGETICS

The aim of the research is to study the prospects of crop growing for bio-fuel production at the lands reclaimed by industry wastes. Recently, the ecological characteristics of raw materials and production base are of priority importance for society. In this regard, large-scale recycling has become paramount. One of the possible methods for chemical waste disposal is to use them as raw material or auxiliary elements for others industries. For example, over a long time the utilization of phosphogypsum is practiced for land reclamation as an amend-

ment in agriculture with a positive trend of soil fertility improving. However, such utilization always has risk of adding negative elements into a soil. The adjustment of soil ecological characteristics after phosphogypsum reclamation is possible by growing natural bio-utilizing plants, for example, corn and topinambour. In prospect, the obtained yield can be used as a raw material for bio-fuel production, which, currently, has a high consumer demand for the world community. The use of above mentioned crops in such a way is dictated by their high yield, high enough final output and less strict (compared to foodstuffs) quality requirements of raw materials for bio-energy production.

Keywords: ameliorant, fertilizer, bio-fuels, biogas, bio-methane, biodiesel, bioethanol, bioremediation, waste.

Как на территории стран бывшего Советского Союза, так и во многих зарубежных странах остро стоял и стоит вопрос утилизации техногенных отходов. Множество исследований было посвящено использованию производственных и бытовых отходов в целях восстановления плодородия земель за счет их мелиоративных и удобрительных свойств. При этом рассматривались возможности как прямого использования техногенного отхода, так и использования после предварительной его подготовки, например компостирования. Так, в качестве мелиорантов солонцовых почв различного засоления достаточно эффективно используются фосфогипс (отход производства двойного суперфосфата и фосфорной кислоты), железный купорос (FeSO_4 , побочный продукт при производстве двуокиси титана), шламы содовой промышленности, терриконовая порода, которая остается в местах добычи угля, и прочее [1]. При использовании указанных мелиорантов достигались заметное улучшение почвенного плодородия и, соответственно, устойчивая прибавка урожайности.

Однако применение техногенного сырья в этом направлении вызвало полемику по поводу возможности привнесения в почвы нежелательных химических элементов и соединений, содержащихся в виде примесей в таких мелиорантах и удобрениях, что могло привести к загрязнению почв. Деградация почв вследствие загрязнения вызывает справедливую обеспокоенность как специалистов, так и населения в целом. Более того, следует отметить, что на современном этапе состояние большого количе-

ства почв не оценивается как благополучное. Основные сельскохозяйственные регионы Российской Федерации густо заселены и имеют к тому же развитую промышленную и транспортную инфраструктуру, что в свою очередь усиливает антропогенную нагрузку на почвы, ухудшая их способность к самоочищению. В дальнейшем все накопленные в почве загрязнения транспортируются по трофическим цепям к конечному потребителю – человеку.

Так, к примеру, фосфогипс имеет в своем составе оксид алюминия (Al_2O_3) и фтор. По техническим условиям содержание фтора в фосфогипсе не должно превышать 0,30 %, а по факту, в зависимости от вида сырья, способа переработки и хранения, его содержание в фосфогипсе колеблется от 0,15 до 1,20 %. Как показывают результаты исследований российских и зарубежных ученых [2], количество фтора в почвах увеличивается даже при внесении чистых фосфорных удобрений, в составе которых фтор присутствует в качестве примеси в концентрации от 8500 до 38000 мг/кг сухого вещества. Сопутствующее внесение фтора при использовании фосфогипса в качестве мелиоранта не может не повлиять на накопление последнего в продукционной биомассе, т. к. фтор имеет высокую реакционную способность и физиологическую активность, что делает его крайне биодоступным. Более того, совместное присутствие в почвах фтора и соединений, содержащих ионы алюминия и железа, стимулирует деградацию твердой фазы почв и изменение ее кислотно-основного баланса в сторону подщелачивания [2].

Такая же проблема и с сернокислотными отходами различных отраслей, которые неоднократно пытались адаптировать в качестве мелиорантов для содовозасоленных почв еще в бывшем Советском Союзе. В них присутствует немалое количество органики, примесей железа, хлора и других веществ (таблица 1).

Таблица 1 – Некоторые характеристики сернокислотных отходов [3]

Производство продуктов	Состав отходов отдельных отраслей
Химическая промышленность	
Сода каустическая	75 % H ₂ SO ₄ , примеси Fe и хлорсодержащих соединений
Полупродукты и красители	25–28 % H ₂ SO ₄ , нитросоединения
Диоксид титана	16–20 % H ₂ SO ₄ , 15 % FeSO ₄ , 2 % Fe ₂ (SO ₄) ₃ , примеси Al, Ti, Ca, Mg и др.
Продукты органического синтеза	25–30 % H ₂ SO ₄ , до 5 % органики; 68–72 % H ₂ SO ₄ , до 1,3 % органики, бисульфит
Сульфуголь	40–50 % H ₂ SO ₄ , 0,4 % органики
Ацетилен	75–80 % H ₂ SO ₄ , до 6 % органики
Хлорные соединения	25–30 % H ₂ SO ₄ , 3–4 % органики, Fe, Cl
Бромэтил	60 % H ₂ SO ₄ , органика, FeSO ₄
Дифенил пропан	63–65 % H ₂ SO ₄ , 0,4–0,6 % фенола
Коксохимическая и нефтехимическая промышленность	
Алкилирование изобутана, бензина	82–83 % H ₂ SO ₄ , 11 % кислых эфиров, 0,2–4,0 % другой органики
Производство спиртов	60 % H ₂ SO ₄ , до 13 % органики

Спорность применения отходов производства в качестве мелиорантов и удобрений может быть исчерпана в случае использования малопродуктивных почв в целях выращивания биологического сырья для получения первичных биоэнергетических ресурсов для предприятий малой энергетики и транспортных средств, так называемого биотоплива. Биотопливо – это твердое, жидкое или газообразное топливо, получаемое из биомассы термохимическим или биологическим способами. В соответствии с классификацией, утвержденной Директивой ЕС от 8 мая 2003 г. № 2003/30 «О мерах по стимулированию использования биологического топлива и других видов возобновляемого топлива в транспортном секторе» [4], различают следующие виды биотоплива:

- биогаз – топливный газ, произведенный из биомассы и (или) из биоразлагаемой фракции отходов, которая может быть очищена до качества природного газа – метана;

- биоэтанол – этиловый спирт, производимый из биомассы и (или) биологически разлагаемых компонентов отходов и используемый в качестве биотоплива, например т. н. биобензин;

- дизельное биотопливо – сложный метиловый эфир с качеством дизельного топлива, производимый из масла растительного или животного происхождения и используемый в качестве биотоплива. Это так называемый биодизель, который в настоящее время нашел достаточно широкое применение для обеспечения транспортных средств малой авиации и сельского хозяйства.

В последние годы объемы производства биотоплива во всем мире неуклонно растут (рисунок 1). Международная энергетическая ассоциация (IEA) прогнозирует, что к 2030 г. его производство увеличится до 150 млн т энергетического эквивалента нефти, а мировой рынок биотехнологий уже к 2025 г. достигнет уровня в 2 триллиона долларов при ежегодных темпах производства 7–9 %. В результате предполагается, что до 2030 г. доля биотоплива в общем объеме топлива только в транспортной сфере достигнет 4–6 % [5].

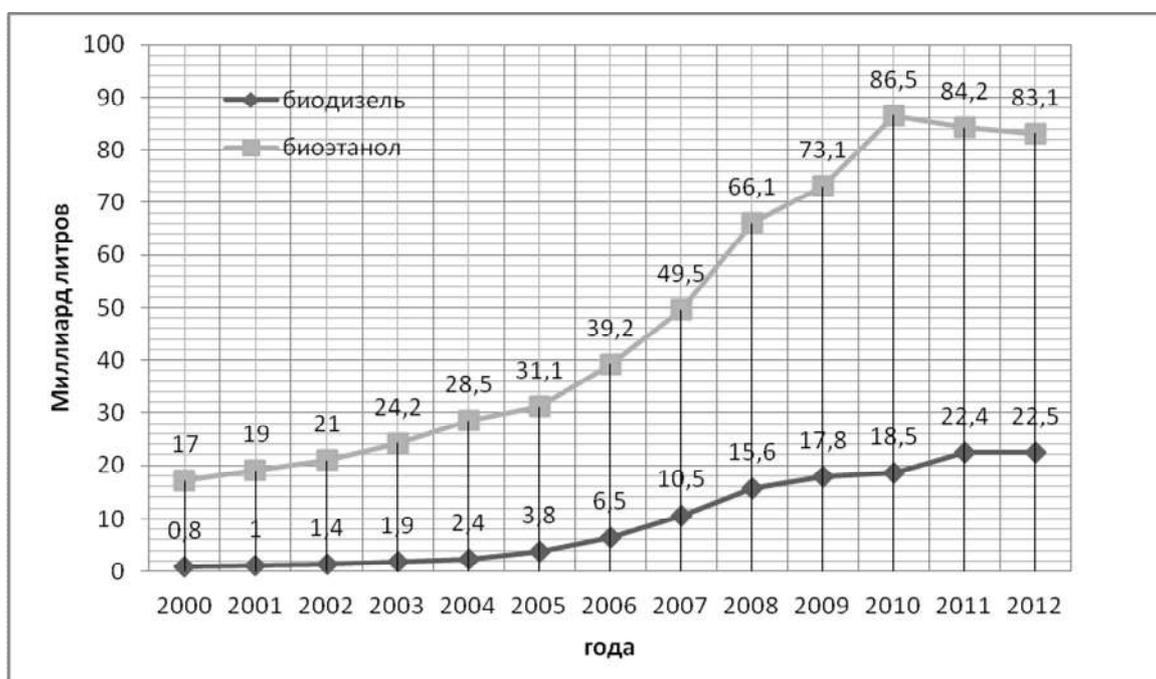


Рисунок 1 – Динамика мирового производства биоэтанола и биодизеля [6, 7]

Лидерами в производстве и потреблении биотоплива являются США, Германия, Бразилия, Франция. Доля России на рынке биотехнологий со-

ставляет на сегодняшний день менее 0,1 %, а по ряду сегментов (биоразлагаемым материалам, биотопливу) практически равна нулю [8]. Более 80 % биотехнологической продукции, которая потребляется в России, является импортом, да и сами объемы этого потребления остаются несопоставимо низкими по сравнению как с развитыми, так и с развивающимися странами. И это несмотря на то, что СССР являлся первым государством в мире, организовавшим широкомасштабное производство таких биохимических веществ, как биобутанол, биоэтанол, биоацетон, биоводород и биогаз. До конца 80-х годов XX века в стране работало четыре ацетано-бутиловых завода в Грозном, Нальчике, Талице (Свердловская обл.) и Ефремове (Тульская обл.), поэтому современная российская биоэнергетика оснащена технологиями, наработанными еще в советский период.

В настоящее время российская экономика снова взяла направление на экологизацию производств и транспортного сектора за счет использования новых и уже имеющихся биотехнологий. Так, в Комплексной программе развития биотехнологий [9] планируется вывести Россию в ближайшее время на лидирующие позиции; несомненно, биоэнергетика при этом будет занимать одно из ведущих направлений. Долгосрочной целью реализации программы является выход к 2020 году на объем биоэкономики в России в размере около 1 % ВВП, к 2030 году – не менее 3 % ВВП.

По оценкам специалистов [8], предполагаемый биоэнергетический потенциал России за счет энергии биомассы составляет 467 млн тонн условного топлива в год (валовый потенциал). Технический потенциал составляет 129 млн т у. т./год, экономический – 69 млн т у. т./год.

По оценке Министерства сельского хозяйства РФ, на территории Российской Федерации имеются необходимые земельные ресурсы для развития биоэнергетического производства. Так, в настоящее время остаются невостребованными около 20 млн га продуктивной пашни, 12,9 млн га находятся в составе земель запаса. Эти земли зарастают кустарником и мел-

колесьем, теряя свою биопродуктивность и деградируя, а между тем на них можно было бы успешно возделывать подсолнечник, кукурузу и рапс – общепризнанное сырье для биотоплива. Следует отметить и тот факт, что, по данным Ю. П. Танчелова [2], кукуруза в наибольшей степени в сравнении с другими традиционными культурами (пшеницей, ячменем, овсом, горохом, многолетними травами, свеклой, картофелем, рапсом) выносит фтор со своей биомассой, что может сделать ее естественным биоутилизатором этого вредного компонента на мелиорируемых фосфогипсом землях.

Характеризуя кукурузу в качестве биотопливного сырья, следует отметить, что она является лучшим из зерновых культур сырьем для производства спирта, т. к. в ней содержится относительно больше крахмала, меньше клетчатки, больше жира (что повышает кормовое достоинство барды). При этом и урожайность кукурузы в 2–3 раза выше урожайности других зерновых культур, что делает ее весьма привлекательной в качестве комплексно используемого сырья для нужд биоэнергетики (таблица 2).

Таблица 2 – Выход биотоплива из некоторых энергетических растений [10–12]

Культура	Урожайность, т/га	Выход биогаза, м ³ /га	Выход биоэтанола с 1 га, л	Кол-во биомассы на литр биоэтанола, кг
Силосная кукуруза (сухого вещества)	9,2	8000	3520	2,6
Просо	11,0	6200	-	-
Травяной силос	7,2	5450	-	-
Рожь	4,9	3730	2030	2,4
Топинамбур: зеленая масса	90,0	17500	-	-
клубни	30,0	-	3041	9,8
Пшеница	7,2	-	2700	2,6
Тритикале	5,6	-	2230	2,5
Картофель	43,0	-	3550	12,1
Сахарная свекла	58,0	-	6240	9,3
Сахарный тростник	73,8	-	6460	11,4
Сахарное сорго	60,0	-	8108	7,4

Помимо кукурузы немалый интерес представляет и топинамбур, который является настолько неприхотливым растением, что может успешно произрастать даже на загрязненных, деградированных, требующих рекуль-

тивации почвах. Это растение дает высокий урожай как корнеплода (до 30–50 т/га), так и зеленой массы (до 100–150 т/га) и отличается высокой выносливостью и морозоустойчивостью, что позволяет возделывать его в различных по природно-климатическим условиям регионах. По коэффициенту использования фотосинтетически активной радиации (ФАР) топинамбур в три раза превосходит большинство полевых культур. Так, один гектар топинамбура способен усваивать из воздуха углекислого газа и выделять кислорода в 1,5 раза больше, чем такая же площадь взрослого леса. Известны данные о выращивании топинамбура на компостах из разных отходов (золошлаков, терриконовой породы, отходов лесопереработки, активного ила из очистных сооружений и пр.), при этом была выявлена высокая агроэкономическая эффективность с получением экологически чистых сельскохозяйственных продуктов (урожай зеленой массы 65 т/га, клубней – 9,5 т/га) [13]. Получены также удовлетворительные результаты по выращиванию топинамбура на рекультивируемых территориях, особенно в зонах угледобычи [13].

Технология производства биотоплива осуществляется по стандартным схемам: 1) получение спирта – биоэтанола или биобутанола; 2) реакция переэтерификации – биодизель; 3) с помощью анаэробного метанового брожения биомассы – биогаз.

Общий производственный цикл биотоплива (урожай – конечный продукт) достаточно энергоемок. К примеру, при производстве биодизеля расход энергии достигает 40 % от ее произведенного количества. Это, конечно, удорожает его себестоимость и понижает КПД биоэнергоресурсов. Так, себестоимость биодизеля, произведенного из рапса (по данным специалистов Германии), составляет 0,50–0,55 евро/л, при этом затраты распределяются следующим образом [12]: на сбор урожая и получение масла 0,40 евро/л; на переэтерификацию 0,10–0,12 евро/л.

По данным американских специалистов, в зависимости от объемов и

технологической оснащенности оборудования стоимость выработки биотоплива начинается от 5 тыс. долл. при кустарном производстве (в условиях одного фермерского хозяйства) и от 120 тыс. долл. на автоматизированном заводе производительностью около 100 м³ биодизеля в сутки.

Стоимость топливного этанола колеблется в значительном диапазоне в зависимости от использованного для производства сырья. Так, стоимость биоэтанола, произведенного из сахарного тростника (Бразилия), составила 0,81 долл. США за галлон (1 галлон равен 3,78 л), из сахарной свеклы (Европа) – 2,89 долл. США за галлон, из кукурузы (США) – 1,03 долл. США за галлон, из лигноцеллюлозы – 2,25 долл. США за галлон [12]. При этом стоимость сырья составляет практически 50 % от себестоимости биоэтанола. Цена при реализации биоэтанола вырастает минимум в полтора раза, т. к. включает в себя налоги, транспортировку, прибыль сети распределения.

Биржевой курс цен на рапсовое масло в последние два года колеблется в диапазоне от 500 до 600 евро/т, а стоимость этанола в 2014 г. составляет примерно 0,44 евро/л (что соответствует 550 евро/т), это практически не предполагает дохода для производителей. Однако в большинстве государств существуют программы господдержки производителей, тем более что развитие этого направления является (при современных уровнях развития технологий) не столько экономически, сколько социально-экологически целесообразным. Так, по данным Европейского совета по биодизелю 2008 г., правительство США доплачивало трейдерам 110 долл. за каждую тонну экспортируемого биотоплива, плюс они могли получать в виде других льгот в сумме порядка 140 долл. за тонну.

Что касается биогаза, то его производство менее энергозатратно и может быть без особого труда организовано на базе регионального АПК. В этом случае производство будет иметь не только беспрепятственный доступ к сырьевым ресурсам, но и рынок сбыта. Подсчитано [12], что го-

довая потребность в биогазе (в зависимости от его теплотворной способности) для обогрева жилого дома составляет около 45 м^3 на 1 м^2 жилой площади, суточное потребление при подогреве воды для 100 голов крупного рогатого скота – $5\text{--}6 \text{ м}^3$. Потребление биогаза при сушке 1 т сена влажностью 40 % равно 100 м^3 , 1 т зерна – 15 м^3 , при получении 1 кВт·ч электроэнергии – $0,7\text{--}0,8 \text{ м}^3$.

Не следует забывать, что выработанное из растений топливо может частично отличаться по своим характеристикам от традиционного (исключая биэтанол и биобутанол, которые, по сути, являются соответствующими спиртами – этиловым и бутиловым). Так, компонентный состав биогаза варьируется в зависимости от свойств субстратов, из которых он получается. В его состав входят 50–75 % метана, 25–45 % CO_2 , по 1 % и менее водорода и сероводорода, а также незначительное количество примесей азота, аммиака, ароматических и галогенно-ароматических углеводородов. Соответственно, теплотворная способность биогаза оценивается по содержанию в нем метана, а его теплотворная способность составляет $9,97 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ (т. е., например, если доля метана в биогазе 50 %, то энергетическая польза этого кубометра биогаза оценивается в 5 кВт·ч). Непосредственно выход биогаза зависит от многих факторов: специфики применяемого субстрата, температуры, особенностей эксплуатации установки и других условий. Так, например, в зависимости от субстрата выход биогаза с соответствующим содержанием метана варьирует от 25 до 200 м^3 на 1 тонну свежей биомассы (рисунок 2).

Также есть данные о веществах-ингибиторах, которые препятствуют процессу метанового брожения. Например, детергенты, органические растворители и антибиотики даже в самых незначительных количествах препятствуют процессу брожения, а некоторые другие вещества оказывают значительное влияние только при достижении определенных концентраций (таблица 3).

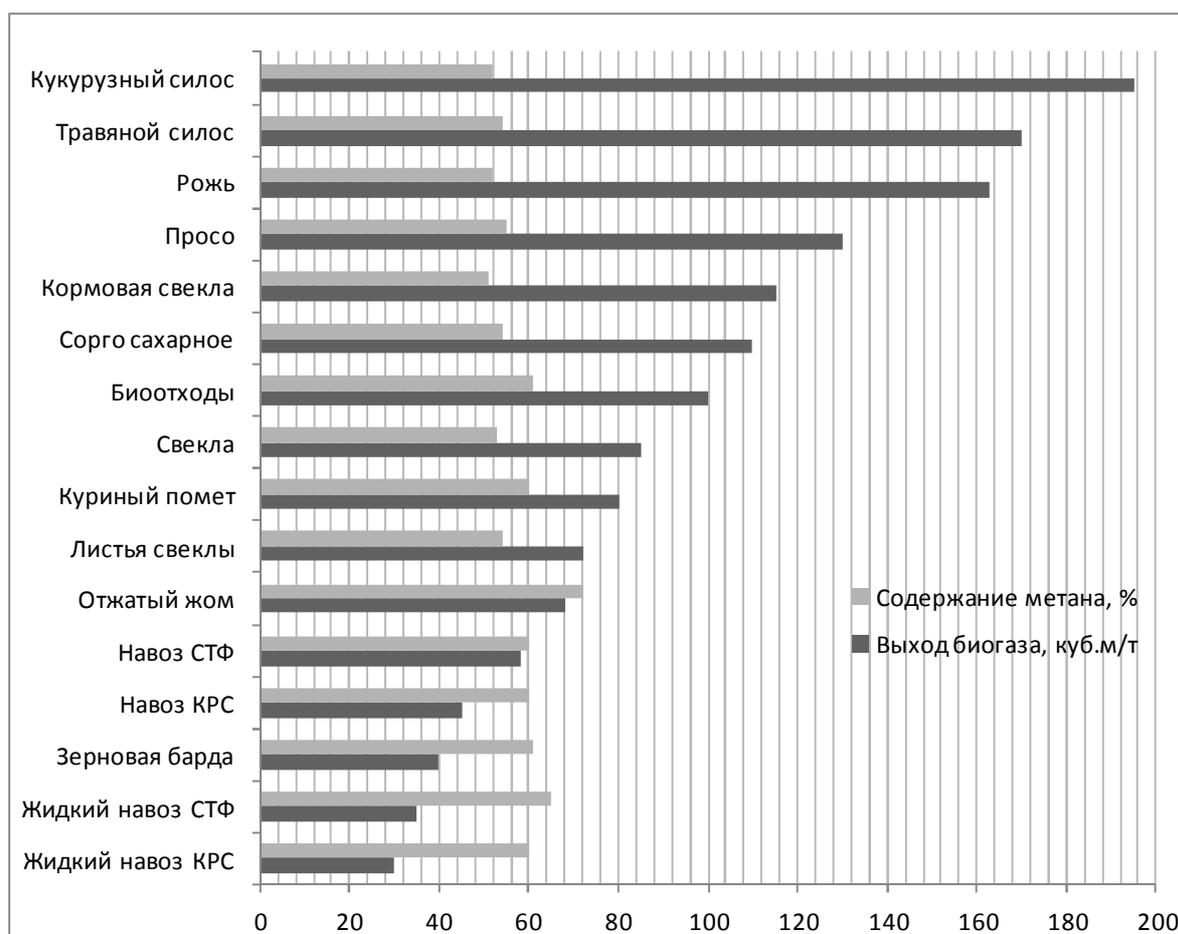


Рисунок 2 – Выход биогаза в зависимости от свойства субстратов (по материалам FNR, 2005; KTBL, 2006 [14])

Таблица 3 – Предельные концентрации веществ, препятствующих процессу метанового брожения [12]

В мг/л			
Вещество	Концентрация	Вещество	Концентрация
Медь	10	Магний	3000
Кальций	8000	Аммиак	1500
Калий	8000	Сульфиды	200
Натрий	8000	Нитраты	50

При дальнейшем «облагораживании» из биогаза получают т. н. био-метан, путем очистки доводя его до стандартов природного газа. При этом плотность биометана составляет $0,72 \text{ кг/м}^3$. Помимо хозяйственных нужд биометан может быть использован и в качестве топлива для автотранспортных средств. Так, по данным немецких специалистов [14], автомобиль, заправленный биометаном, полученным с одного гектара сельхозпосевов,

может проехать 67600 км, БТЛ-синтетическим топливом¹ – 64000 км, биодизельным топливом или рапсовым маслом – приблизительно 41000 км, биоэтанолом – примерно 37000 км. При этом в опытах исходили из того, что расход топлива ДВС составлял 7,4 л/100 км, дизеля – 6,1 л/100 км.

В таблице 4 приведены основные характеристики различных видов топлива, произведенного из традиционного и растительного сырья.

Таблица 4 – Сравнение основных видов топлива [14]

Вид топлива	Плотность, кг/л	Теплотворная способность, МДж/кг	Теплотворная способность, МДж/л	Вязкость при 20 °С, мм ² /с	Цетановое число	Октановое число	Температура возгорания, °С	Эквивалент топлива, л
Дизельное топливо	0,83	43,1	38,87	5,0	50	-	80	1,00
Рапсовое масло	0,92	37,6	34,59	74,0	40	-	317	0,96
Биодизель	0,88	37,1	32,65	7,5	56	-	120	0,91
Бензин	0,74	43,9	32,48	0,6	-	92	< 21	1,00
Биоэтанол	0,79	26,7	21,06	1,5	-	> 100	< 21	0,65
Биометанол	0,79	19,7	15,56	-	-	> 110	-	0,48
Биометан	0,72	50,0	36,00	-	-	130	-	1,40
Водород	0,016	120,0	1,92	-	-	< 88	-	2,80

Примечание – Для биометана плотность в кг/м³, теплотворность в МДж/м³, эквивалент в кг.

По результатам анализа были сделаны следующие выводы:

1 Рост потребления биотопливных ресурсов оказывает дополнительную поддержку рынкам зерна, мелиорантов и удобрений, увеличивает их инвестиционную привлекательность.

2 Развитие производства химических мелиорантов и удобрений из техногенного сырья может значительно улучшить ситуацию в сельском хозяйстве, однако оно должно происходить с ориентацией как на характеристики соответствующих почв, так и на конечного потребителя полученных с их помощью продуктов растениеводства.

3 Основным потребителем растительного сырья, выращенного

¹ БТЛ-синтетическое топливо – это биотопливо второго поколения, преимуществом которого является то, что для его производства могут использоваться различные непищевые исходные вещества: древесина, энергетические растения и биоотходы. Оно имеет большую степень экологичности.

на землях с применением мелиорантов и удобрений, полученных из отходов иных производств, должна являться биоэнергетика, что позволит не только улучшить инвестиционную привлекательность АПК, но и в ряде случаев освободить продовольственный рынок от сомнительных по эколого-гигиеническим показателям товаров.

4 Экологическая чистота сырья для биотоплива не является (до определенных показателей) значимым условием, что открывает перспективы его выращивания даже на техногенно загрязненных почвах (например в процессе освоения шлакоотвалов и др.).

5 Вопрос безопасности возможных примесей в биотопливе и определения их предельно допустимых концентраций требует дальнейшего исследования, т. к. в современных европейских и российских стандартах эти характеристики четко не определены.

6 При научно обоснованном подборе севооборотов выращиваемые биоэнергетические культуры могут стать естественными утилизаторами ряда вредных микроэлементов, что позволит улучшить экологические характеристики почв.

7 Государственная поддержка биотопливных рынков и производств позволит улучшить экологическую безопасность государства и будет способствовать устойчивому развитию общества в целом.

Список использованных источников

1 Москаленко, А. П. Инвестиционный анализ природоохранных проблем: методы, системный подход: моногр. / А. П. Москаленко, С. А. Манжина; Новоч. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск, 2002. – 162 с. – Деп. в ВИНТИ 17.04.02, № 709-B2002.

2 Танделов, Ю. П. Фтор в системе почва – растение / Ю. П. Танделов; под ред. В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Красноярск, 2012. – 146 с.

3 Лайко, А. В. Ресурсы, технологии и экологические аспекты применения местных удобрений и мелиорантов (на примере Ростовской области): моногр. / А. В. Лайко, С. А. Манжина, В. В. Денисов; Новоч. высш. воен. команд. училище связи (воен. ин-т). – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2009. – 157 с.

4 О мерах по стимулированию использования биологического топлива и других видов возобновляемого топлива в транспортном секторе: Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза от 8 мая 2003 г. № 30 (ОJ 2003 L 123/42). – 13 с.

5 Биоэнергетика – альтернативное моторное топливо: информ. сб. / Мин-во сельского хозяйства РФ, Деп. мелиорации, ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ». – М.,

2007. – 250 с.

6 Renewables 2013 Global Status Report // Renewables Energy Policy Network for the 21st Century. – REN21 c/o UNEP 15, Rue de Milan, 2013. – 176 с.

7 Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития: науч. аналит. обзор / под ред. В. В. Ананьева, И. С. Горячева, В. И. Сидорова; Мин-во сельского хозяйства РФ. – М.: «Росинформагротех», 2007. – 202 с.

8 БИО-2020. Программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 г. (Проект 17 августа 2011 года). – М., 2011. – 93 с.

9 ВП-П8-2322. Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года (утв. Правительством РФ 24.04.2012 № 1853п-П8). – М., 2012.

10 Панцхава, Е. С. Биогазовые технологии. Проблемы экологии, энергетики, сельскохозяйственного производства / Е. С. Панцхава, М. Г. Беренгартен, С. И. Ванштейн. – М.: МГУИЭ, ЗАО Центр «ЭКОРОС», 2008. – 217 с.

11 Биоэнергетика России в XXI веке / Рос. энерг. агентство. – М.: ФГБУ РЭА Минэнерго РФ, 2012. – 37 с.

12 Виноградова, А. В. Биотехнология топлива: учеб. пособие / А. В. Виноградова, Г. А. Козлова, Л. В. Аникина. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 212 с.

13 Оверченко, Б. Топинамбур [Электронный ресурс] / Б. Оверченко. – Режим доступа: <http://moisad.ua/ovoshchnye-kultury-i-zelen/1472-1472.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., 2014.

14 Биоэнергия. Общая информация [Электронный ресурс] / Агентство по возобновляемым ресурсам (FNR). – 26 с. – Режим доступа: <http://nachwachsende-rohstoffe.de>, 2014.

Манжина Светлана Александровна – кандидат технических наук, доцент, докторант, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: +7 950 867-22-40.

E-mail: manz.svetlana@yandex.ru

Manzhina Svetlana Aleksandrovna – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Doctoral Candidate, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: +7 950 867-22-40.

E-mail: manz.svetlana@yandex.ru

Денисов Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экология, технологии электрохимических производств и ресурсосбережения», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: (8635) 25-53-35.

E-mail: iad59@mail.ru

Denisov Vladimir Viktorovich – Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Chair «Ecology, Technology of Electrochemical Production and Resource Saving», South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: (8635) 25-53-35.

E-mail: iad59@mail.ru