

ЭВР

С. 35

10'18

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК РОССИИ
ENVIRONMENTAL BULLETIN OF RUSSIA

ТЕМЫ НОМЕРА

НЕФТЬ. ГАЗ. ХИМИЯ: ООС

О совершенствовании систем оповещения на опасных промобъектах

Improvement of warning systems on hazardous facilities

ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ

ОНФ предложили минэкологии Подмосковья вместе искать решения проблем с отходами

The UPF suggested the Ministry of Environment of Moscow region to seek for solutions of problems with waste

ООС: ЗАКОНЫ. НОРМЫ. ПРАВИЛА

Законодатель хотел как лучше, а правоприменитель смог сделать как всегда

The legislator wanted to do his best, but the law did it in it's way

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛОНКА

Вранье и vip-болтовня на Украине – признак агонии и слабоумия ее элиты

Lies and vip-chatter in Ukraine: sign of agony and dementia of its elite



Входит в систему Российского
научного цитирования
(РИНЦ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР НА ПРИМЕРЕ МИСКАНТУСА КИТАЙСКОГО (*MISCANTHUS SINENSIS ANDERSS.*). ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ



Г.А. Булаткин

В статье приведены результаты шестилетних исследований в южном Подмоскowie новой для России культуры мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis Anderss.*). Выявлена высокая биологическая, энергетическая и экологическая эффективность культуры. Показаны сравнительные данные использования различных видов топлива для отопления модельного коттеджа. Предлагается использовать биомассу мискантуса в качестве топлива для частичной замены углеводородов с целью сокращения поступления оксидов углерода в атмосферу. Приведённый методический подход необходимо использовать для анализа других источников альтернативной энергии. Возможность плантационных лесов для секвестрирования атмосферного углекислого газа следует рассматривать с учётом затрат технической энергии на их закладку, выращивание и рубку.

Легкодоступные запасы энергии в виде нефти, газа, каменного угля на Земле постепенно истощаются и насущной задачей человечества является прежде всего их рациональное использование, а также поиск возобновляемых источников энергии и энергоносителей. В период резкого роста мировых цен на углеводороды во многих странах делались интенсивные попытки использования растительной биомассы в качестве промышленных и бытовых энергоносителей, получения жидкого топлива. Этанол и бутанол как экологически чистые добавки к углеводородному топливу и получения смеси, которую называют биотопливом, производятся из зерна, корнеплодов сахарной свёклы, клубней картофеля, сахарного тростника. Перечисленные источники

сырья являются продуктами питания и необходимы для растущего населения планеты.

Всё шире используются для получения энергии растительные отходы деревообрабатывающей промышленности и сельского хозяйства, биомасса энергетических лесов, специально посаженных однолетних и многолетних непродовольственных полевых культур. Например, в Италии твёрдая биомасса в виде пеллет составила половину всей возобновляемой тепловой энергии [1].

Магистральные направления развития альтернативных источников считаются следующие: солнечная энергетика, ветровая, разработка альтернативных топлив. Кроме этого, американские автомобилестроители должны были добиться средней

топливной эффективности 40 миль на галлон (17 километров на одном литре топлива или 5,88 литра/100 км). Большие надежды возлагались на производство «целлюлозного» этанола. К примеру, в США считали, что этанол, производимый из целлюлозы, – самое многообещающее направление в области поиска альтернативного топлива. К 2013 году из целлюлозы должно было быть выработано не менее 2 млрд галлонов этанола (9 млрд литров). Планировалось, что все эти направления в области энергетики позволят Америке к 2013 г. полностью отказаться от импорта нефти из стран Персидского залива [2].

Для 2015 г. предполагалось произвести 3 млрд галлонов целлюлозного этанола. В начале 2015 г. имелись четыре компании, объявившие о про-

производстве целлюлозного этанола. Суммарная производительность этих четырёх компаний была 60 млн галлонов в год. Однако в 2015 г. из целлюлозы было получено только 2,2 млн галлонов спирта, что составляет 3,6% от объявленной производительности предприятий.

Основным же источником производства этилового спирта в США является зерно кукурузы [3]. В 2015 г. этого возобновляемого энергоносителя было произведено около 12,2 млрд галлонов.

Действующая ныне администрация президента США заявляет, что не собирается поддерживать альтернативную энергетику, предпочитая солнцу и ветру уголь и природный газ [4].

В чём же причина таких резких колебаний в политике производства энергии в одной из главных стран земного шара?

Основная причина таких противоречий, на наш взгляд, заключается в слабом научном обосновании проблемы производства альтернативной энергии во всех её видах. Действительно, при производстве возобновляемой энергии должна ставиться в первую очередь задача получения дополнительной энергии, т.е. энергии сверх затрат технической энергии на производство энергоносителя [5]. Если в конечном объёме, например, жидкого органического топлива, содержится энергии меньше, чем затрачено технической энергии на его получение на всех этапах производства, – процесс абсолютно энергетически не эффективен и получение данного энергоносителя в больших масштабах не целесообразно. Команда специалистов, помогавшая Б. Обаме сформулировать концепцию перехода США на альтернативную энергетику, не смогла убедительно показать возможность получения достаточных для страны объёмов дополнительной энергии за счёт альтернативной энергетики даже при очень значительных денежных вливаниях в исследования. В целом любые дотации при производстве возобновляемой энергии свидетельствуют о том, что в конечном энергоносителе содержание энергии меньше, чем затрачено на его производство. При энергетическом анализе необходимо

учитывать также экономию технической энергии на транспортировке углеводородного топлива в отдалённые районы или неудобно расположенные для подвоза места, где планируется производство и применение альтернативного энергоносителя.

В настоящее время при значительной динамике цен на нефть, вызванного в основном спекуляциями на товарно-сырьевых биржах и политическими интригами некоторых государств, должен встать вопрос о стабильности мирового хозяйства, ибо через некоторое время в связи с цикличностью кризисов, цены на нефть вновь поднимаются.

В период больших колебаний цен на нефть будут наблюдаться существенные изменения в нефтедобывающей отрасли. За время низких вложений в геологоразведку может произойти снижение перспективных запасов углеводородов.

Россия, как один из главных энергетических экспортёров мира, является показательной по истощению энергетических ресурсов. Трудности с восполнением запасов добываемых газонефтяных бассейнов уже привели к снижению их доли в мировом балансе и в текущей добыче. Так запасы нефти в стране сократились с 1990 г. с 13 до 9%, по добыче – с 17,1 до 12,8% (в 2012 г.), а природного газа соответственно с 34 до 25% и с 31 до 19,5%.

В период падения мировых цен на углеводородные энергоносители показалось, что производство альтернативных углеводородам видов энергии не актуально. Однако следует сказать, что, во-первых, низкие цены – временное явление и страны – производители нефти нашли способы их поднять. И, во-вторых, в мире существует серьёзная экологическая проблема применения топлива из углеводородов. В России и ряде других стран одной из приоритетных целей применения альтернативных источников энергии должно являться уменьшение поступления в атмосферу парниковых газов и очищение приземного слоя воздуха в загрязнённых выбросами автотранспорта в крупных городах и промышленных агломерациях. В нашей стране на долю автотранспорта при-

ходит 90% общего объёма вредных веществ, поступающих от всех видов транспорта. По величине автовывбросов резко отличается г. Москва – более 800 тыс. т в год. В других крупных городах (С-Петербург, Краснодар, Екатеринбург, Уфа, Омск) этот показатель так же высокий, до 200 тыс. т в год [7]. Использование биотоплива вначале хотя бы с 10% содержанием этанола даст возможность значительно уменьшить это загрязнение.

В оценке целесообразности производства альтернативных носителей энергии из растительного сырья начальным этапом служит вывод об энергетической эффективности производства растительной продукции в сельскохозяйственном предприятии, то есть оценка соотношения накопленной энергии в биомассе и затрат технической энергии на получение этой биомассы, и далее на уборку и хранение.

При расчёте энергетических затрат на производство урожая агроэкосистем следует учитывать, что виды сельскохозяйственных культур, интенсивность применения удобрений, способы обработки почв по-разному влияют на компоненты плодородия почв, устойчивость почвы к эрозионным процессам.

Длительное использование почв без восстановления вещественно-энергетического состава и физических свойств приводит к деградации почвенного покрова и в дальнейшем к значительным потерям продуктивности агроэкосистем.

Поэтому при анализе потоков технической энергии в земледелии необходимо учитывать не только затраты энергоресурсов на производство культуры, но и энергозатраты на воспроизводство почвенного плодородия после той или иной культуры. Эти две величины в сумме составляют совокупные затраты антропогенной энергии в данной агроэкосистеме [5].

С целью изучения биологической продуктивности, входящих и выходящих потоков вещества и потоков энергии в агроэкосистемах и энергетической эффективности выращивания культурных растений на серых лесных почвах южного Подмосквья проведены сравнительные полевые иссле-

Таблица 1. Структура энергозатрат на простое воспроизводство плодородия серых лесных почв после возделывания с/х культур (среднее за 5 лет)

Вариант опыта	Затраты технической энергии, МДж/га						Всего энергозатрат
	Нейтрализация почвенной кислотности, вызванной внесением мин. удобрений	Компенсация минерализованного гумуса	Восстановление потерь от водной эрозии почвы		Компенсация выноса P, K, Ca с урожаем	Восстановление структуры почвы	
			Гумуса	Фосфора и калия			
Кукуруза на силос							
Контроль	-	5285	1805	80	1807	2500	11477
N90P60K40	226	5472	1805	80	-	2500	9857
N150P190K190	404	5402	1805	80	-	2500	9787
Клевер 1 и 2 гг. пользования на сено							
Контроль	-	-	-	-	5021	-	5021
P80+40 K80+40	31	-	-	-	261	-	292
P160+80K200+100	60	-	-	-	-	-	60
Озимая пшеница							
Контроль	-	1062	638	27	1312	2500	5540
N40P40K40	99	610	638	27	-	2500	3867
N135P150K110	345	1612	638	27	-	2500	5115
Ячмень с подсевом клевера							
Контроль	-	1030	1065	43	775	-	2913
N60P40K40	159	361	1065	43	-	-	1628
N140P140K80	364	1295	1065	43	-	-	2767
Мискантус китайский							
Контроль	-	-	-	-	1700	-	1700
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ (1 раз в 3 года)	90	-	-	-	-	-	90

дования с рядом полевых культур. Изучались входящие потоки солнечной энергии в течение вегетации, поступление технической энергии во всех её видах, аккумуляция энергии в урожае культур, а также энергетическая эффективность использования солнечной и технической энергии в посевах.

Наши исследования на серых лесных почвах показали (табл. 1), что

наибольшие затраты технической энергии на воспроизводство параметров свойств почв нужны после возделывания пропашной культуры кукурузы. После кукурузы на варианте N90P60K40 на простое воспроизводство почвенного плодородия нужно затратить 9857 МДж/га в среднем за год технической энергии, что соизмеримо с суммой прямых и косвенных

энергозатрат на производство надземной биомассы кукурузы на варианте «контроль» (9371 МДж/га).

На втором месте по затратам энергии на восстановление почвенного плодородия стоят зерновые культуры. Мискантус китайский не оказывает отрицательного влияния на параметры агрономически важных свойств почв и при его возделывании не требуются

значительные энергетические затраты на восстановление плодородия.

Мискантус – род многолетних травянистых растений семейства Злаки. Он может ежегодно на протяжении 15-20 лет продуцировать на одном поле. Происходит из стран Юго-Восточной Азии и районов Дальнего Востока.

Посадка мискантуса даже на части, не занятой сельскохозяйственными культурами площади пашни России, позволит получить большое количество растительной биомассы, сохранить и даже повысить содержание гумуса в почве, предотвратить зарастание пашни кустарником и редколесьем. Биомасса может быть использована в начале эксплуатации насаждений для производства топливных пеллет и брикетов, получения целлюлозы, а после строительства био-заводов – и для производства компонента биотоплива.

Закладка плантации в опытах с мискантусом китайским (*Miscanthus sinensis* Anderss.) произведена весной в мае 2012 г. методом посадок зелёных корневищ. Предусмотрены два варианта: 1 – контроль (без удобрений) и 2 – с внесением минеральных удобрений 1 раз в 3 года в дозе N₁₂₀P₁₀₀K₁₀₀. В основе способа выращивания использована технология № 4, разработанная в ИФПБ РАН [8]. Посадка проведена по схеме 20*70 см. Проводился полив плантации по мере необходимости. Уборка урожая надземной биомассы осуществлялась в осенний период, перед наступлением заморозков.



Рис. 1. Перспективная энергетическая культура – мискантус китайский

Исследования на серых лесных почвах показали, что в среднем за шесть лет урожай надземной биомассы мискантуса на варианте без удобрений составил 7,7 т/га сухого вещества (с колебаниями от 5,0 до 11,2 т/га). При внесении удобрения – 13,7 т/га с колебаниями от 5,3 до 21,7 т/га в год (9).

Для сравнения средний урожай сухой биомассы такой культуры, как кукуруза был значительно меньше и составил при внесении минеральных удобрений только 9,0 т/га.

Анализ показал, что затраты на восстановление почвенного плодородия для мискантуса минимальны (табл. 1) и приходится только на нейтрализацию почвенной кислотности, вызванной внесением минеральных удобрений.

В результате энергетическая эффективность (соотношение полученной в биомассе энергии с затраченной технической) при возделывании мискантуса на серых лесных почвах в среднем в 2,5 раза превышает эффективность возделывания кукурузы.

Мискантус является экологически эффективной полевой культурой. Начиная с второго-третьего года произрастания (в зависимости от плотности посадки), мискантус образует сплошной покров из корней на поверхности почвы, что предотвращает водную почвенную эрозию. Кроме того, из-за отсутствия механической обработки поля плугами и культиваторами в почве под мискантусом сокращаются интенсивные процессы окисления

Таблица 2. Урожай надземной биомассы мискантуса китайского на серых лесных почвах, т/га абс. сух. вещества

Вариант опыта	Годы						Среднее за 6 лет
	2012 (новосадка)	2013	2014	2015	2016	2017	
Контроль (без удобрений)	5,0	11,2	7,6	6,0	5,2	11,4	7,7
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ (при закладке и в 2015 г.)	5,3	17,7	8,1	10,0	19,4	21,7	13,7
НСР 0,95	0,5	1,1	0,7	0,8	2,0	1,7	

Таблица 3. Энергетическая эффективность возделывания мискантуса китайского на серых лесных почвах

Вариант опыта	Годы						Среднее за 6 лет
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Контроль (без удобрений)	9,2	25,0	11,9	9,5	8,3	18,0	13,7
$N_{120} P_{100} K_{100}$ (при закладке и в 2015 г.)	6,3	23,9	8,7	9,4	20,4	23,3	14,8

Таблица 4. Стоимостные и энергетические показатели различных видов энергоресурсов (по состоянию на весну 2018 г.) в южном Подмоскowie

Вид энергоресурса	Рыночная цена		Теплота сгорания, МДж/кг	КПД котла, %	Цена энергии для потребителя, руб./МДж
	Единица измерения	Значение			
Пеллеты древесные светлые	руб./т	7500	18,7	90	0,60
	доставка, руб./т	3700			
Пеллеты древесные серые	руб./т	7000	18,3	90	0,59
	доставка руб./т	3700			
Пеллеты из мискантуса	руб./т	7000	18,0	90	0,39
Газ природный	руб./м ³	5,14	35,6 МДж/м ³	92	0,14
Сжиженный газ, зимняя смесь	руб./л	15,0	27,0 МДж/л	92	0,60
Дизельное топливо	руб./л	31	42,7	95	0,80
Электроэнергия, ночной тариф T_2	руб./кВт*ч	1,37	3,6 МДж/кВт*ч	99	0,38
Электроэнергия, полупиковый тариф T_3	руб./кВт*ч	3,37	3,6 МДж/кВт*ч	99	0,95
Электроэнергия, тарифы $T_2 + T_3$ средневзвешенная	руб./кВт*ч	2,66	3,6 МДж/кВт*ч	99	0,74

гумуса. Исследования 2012 и 2016 гг. показали, что за пятилетний период в серой лесной почве под мискантусом содержание гумуса существенно увеличилось. На варианте «контроль» (без удобрений) содержание гумуса в слое почвы 0 – 20 см повысилось с 1,74% в 2012 г. до 2,05% – в 2016 г., в слое 20 – 40 см – с 1,20% до 1,46%. Увеличение содержания гумуса произошло за счёт большого поступления в почву корневых выделений органического вещества и корнепада, которые в 1,5 раза больше, чем у кукурузы [10]. На удобренном варианте увеличение практически не произошло (содержание гумуса в 2016 г. в верхнем 20-см слое почвы составило 1,85%, в слое 20-40 см – 1,29%). Эта стабилизация

содержания гумуса в почве удобренного варианта связана в основном с отрицательным влиянием интенсивного внесения минеральных удобрений на гумусовый пул серой лесной почвы. Происходит дополнительная минерализация органического вещества почвы под действием внесённого азотного удобрения [11].

В многолетнем эксперименте был изучен сравнительный температурный режим почвы под мискантусом а так же яровой и озимой пшеницей. Исследования показали, что в вегетационные периоды в агроэкосистеме мискантуса существенно снижается температура почвы как на поверхности, так и на глубинах 5 и 20 см по сравнению с зерновыми культурами.

КПД ФАР приходящей за время вегетации у мискантуса составил на контроле 0,91, при внесении удобрений – 1,34. На посевах кукурузы он достиг 1,38 – на контроле и 1,91 – 2,34 – на удобренных вариантах. Из этих расчётов следует вывод, что фотосинтетический аппарат кукурузы поглощает и накапливает приходящую солнечную энергию более эффективно, чем растения мискантуса.

Таким образом, фотосинтетический аппарат мискантуса менее интенсивно накапливает ФАР, но высокий урожай надземной биомассы получается за счет более длительного вегетационного периода культуры. Следовательно, из 2-х исследованных С-4 растений мискантус более эффек-

тивно, чем кукуруза использует природные и антропогенные энергетические ресурсы.

Высокая биологическая продуктивность и энергетическая эффективность мискантуса даёт возможность в первую очередь рассмотреть его биомассу в качестве источника тепловой энергии. В некоторых странах уже делаются успешные попытки использовать биомассу мискантуса для изготовления пеллет и сжигания их для получения тепла или электроэнергии [12, 13, 14]. Биомасса мискантуса имеет высокую теплотворную способность – 17–19 МДж/кг [15] и равноценна по этому показателю пеллетам из древесины.

На Украине проведены сравнительные исследования энергетической эффективности пяти различных видов энергоносителей на примере отопления индивидуального дома [16]. Показано, что самым экономически выгодным топливом по прямым затратам для условий Украины в 2015 г. являются древесные пеллеты.

Количество и стоимость топлива для получения тепла следует рассчитывать не только по весу, но и по калорийности. Учёт содержания энергии в единице энергоносителя позволяет более объективно сравнить различные виды топлива.

Мы сопоставили стоимость 1 МДж энергии в различных видах энергоносителей для условий южного Подмосковья. При расчёте цены 1 МДж в виде электроэнергии использовали одноставочный тариф ПАО «Мосэнергосбыт» для домов, оборудованных электроотопительными установками и дифференцированный по зонам суток: т 2 – ночная зона и т 3 – полупиковая зона. В затраты на использование древесных пеллет включена стоимость их транспортировку от склада продавца.

Данные по стоимости энергоносителей взяты по состоянию на март 2018 г. Стоимость древесных пеллет колебалась от 6900 до 8900 руб. Светлые пеллеты, которые несколько дороже серых, оцениваются в среднем в 7500 руб./т. Минимальная цена перевозки пеллет на 100 км равна 3700 руб./т.

Наш анализ показал (табл.4), что наименьшая стоимость 1 МДж энергии в энергоносителях приходится на природный газ – 0,14 руб. Обращает на себя внимание очень высокая стоимость 1 МДж энергии в сжиженном природном газе по сравнению с магистральным – 0,60 руб. На втором месте по стоимости 1 МДж энергии находится электроэнергия по ночному тарифу т 2. Однако ночной тариф действует только с 23 часов ночи до 6 часов утра и в холодные периоды зимы не может обеспечить достаточно комфортную температуру в помещении. При совместном использовании электроэнергии по тарифам т 2 и т 3 средневзвешенная стоимость 1 МДж энергии составляет 0,74 руб., что сравнимо со стоимостью энергии в древесных пеллетах. Из-за высокой стоимости дизельного топлива оно в настоящее время по стоимости 1 МДж энергии находится выше древесных пеллет. Следует обратить внимание на большие затраты по доставке древесных пеллет до потребителя в южном Подмосковье. Стоимость перевозки оказывается равной ½ стоимости самих древесных пеллет. В пеллетах из биомассы мискантуса, произведённых вблизи потребителя, стоимость 1 МДж энергии будет равна цене электроэнергии по ночному тарифу.

У каждого типа топлива присутствуют собственные преимущества и недостатки. Цена на тот или иной тип топлива связана в определённой степени с его потребительскими свойствами, а также с величиной розничных цен на энергоноситель в данный момент времени.

Однако простое сравнение энергоносителей по стоимости является недостаточным для конечных объективных выводов об их эффективности, так как необходимо учитывать так же сопутствующие затраты: на составление проекта и подключение к энергосетям, приобретение котлов, их установку и сроки амортизации этих затрат.

В настоящее время по всей России строится большое количество различных коттеджных и дачных поселков, частных домов, на территориях, расположенных в различных природных и инфраструктурных условиях.

Поэтому более детально рассмотрим сравнительную эффективность применения различных видов топлива на примере виртуального коттеджа в г. Пушкино Московской области (южное Подмосковье). Площадь коттеджа 200 м², построен из деревянного бруса, толщиной 20 см. Средний расход на отопление рассчитывался как необходимое количество энергии для компенсации теплотерь здания при средней температуре отопительного сезона, которая в Московской области составляет –2°C. Температура самой холодной пятидневки в области равна –28°C. Величина необходимой тепловой энергии за отопительный сезон для экспериментального коттеджа составляет около 187 ГДж.

Для сравнительного анализа нами взяты наиболее распространённые в России отопительные котлы мощностью около 20 кВт: для природного и сжиженного газа – марки Vaillant turbo TEC plus vu 282/5-5, древесных пеллет – Stropuva S20P, для работе на электроэнергии – Vaillant eio BLOCK VE 21, котёл для дизельного топлива – Kiturami TURBO-17R. Тепловой насос – марки Saga Therm IQ18 inverter, расположение скважин в грунте – кластерное. Эксплуатационный срок работы отопительных котлов принят в 5 лет, скважин в системе теплового насоса – 30 лет, компрессора в тепловом насосе – 10 лет.

Суммарные затраты на подключение от магистрального газопровода (на расстояние не более 50 м) с учётом проектирования (по данным ГУП МО Мособлгаз) в настоящее время равны 350 тыс. руб. Срок амортизации этих затрат нами принят в 50 лет. Срок эксплуатации газгольдера – 25 лет.

Каждый потребитель для себя решает, какое топливо будет лучше для него, исходя из конкретных инфраструктурных и технических возможностей, а при наличии выбора энергоносителя – принимать во внимание единовременные капитальные вложения, удобство применения топлива, его рыночную стоимость и совокупную стоимость эксплуатации отопительной системы за сезон с учётом амортизации затрат на строительство.

(окончание следует)