

17. Соколов И.А. Почвообразование и экзогенез. М.: Почвенный институт им. В.В.Докучаева, 1997. С. 244.
18. Таргулян В.О. Элементарные почвообразовательные процессы // Почвоведение. 2005. № 12. С. 1413–1422.
19. Заварзин Г.А. Эволюция прокариотной биосферы. М.: Макс Пресс, 2011. С. 142.
20. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской Равнины. М.: Изд-во МГУ, 1968. С. 294.

РЕСУРСЫ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УСЛОВИЙ РОССИИ (на примере биотоплива второго поколения)

Г.А. Булаткин, д.б.н.; И.Д. Гурьев, аспирант
Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
Пушкино Московской обл.

*Для производства биотоплива второго поколения наряду с остатками деревопереработки, перспективно сырьё, полученное из мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis* A.). Показано, что по сравнению с однолетними полевыми культурами мискантус является высокоэффективной почвозащитной культурой. Затраты технической энергии на производство 1 т сухой биомассы франко-поле могут быть в 2–2,5 раза ниже, чем на солому зерновых и силосную биомассу кукурузы.*

RESOURCES OF PLANT BIOMASS FOR PRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY FOR THE RUSSIAN CONDITIONS (by the example of the second-generation biofuel)

G.A. Bulatkin, Dr. Sci.; I.D. Gurev, postgraduate student
Institute of Basic Biological Problems RAS, Pushchino, Moscow Region

*Raw materials obtained from *Miscanthus sinensis* Andersson seem to be promising for production of the 2nd-generation biofuel along with the residues of wood working plants. It has been shown that *Miscanthus* is a highly efficient soil protecting culture compared to field therophytes. The expenditures of technical energy on production of 1 t of dry franko-field biomass may be 2–2,5 times lower compared to those on straw of grains and above-the ground corn biomass.*

Использование биомассы в энергетических целях получает все большее развитие и в индустриально развитых странах. Так, в странах Европейского Союза около 3 % (65 млн т у.т.) всех энергетических потребностей покрывается за счет биомассы, в отдельных странах этот показатель достигает 23 % (Финляндия), 18 % (Швеция) и 12 % (Австрия).

В настоящее время во многих странах делаются интенсивные попытки получения жидкого топлива из продукции растениеводства. Налажено производство этанола и бутанола как экологически чистых добавок к углеводородному

топливу в целях получения смеси, которую называют биотопливом. В качестве сырья в первую очередь предлагаются зерно, корнеплоды сахарной свёклы, клубни картофеля, сахарный тростник.

Засухи 2010–2012 гг. в России и других странах, наводнения на больших территориях Земного шара и в результате – явная нехватка продовольствия показывают, что производство биотоплива из продовольственного сырья в больших масштабах вряд ли перспективно. Вероятно, локально останется Бразилия в связи со спецификой климата, благоприятного для выращивания сахарного тростника и особенностями биологии этой многолетней культуры.

В России основными источниками сырья для получения биотоплива могут рассматриваться в первую очередь побочная продукция растениеводства и деревопереработки, торф, биомасса мискантуса, в будущем древесина энергетических лесов и т.д.

В ИФПБ РАН разрабатываются альтернативные сценарии развития производства биотоплива из растительного сырья для условий нашей страны, в основу которых положен эколого-энергетический подход к анализу природно-антропогенных комплексов.

В расчётах оцениваются допустимое изъятие растительного сырья агро-сферы для промышленной переработки в биотопливо, запасы деловой древесины и отходы её переработки, площади используемой пашни и залежи, возможные объёмы производства возобновляемой энергии в настоящем, ближайшем будущем и в перспективе.

В настоящее время разработаны методики, выявлены закономерности формирования затрат технической энергии на производство биотоплива в цепи «поле завод», показана не целесообразность отчуждения органического вещества из агро-сферы и торфяных залежей.

Наши предыдущие исследования [1] показали, что в современной России из трёх основных источников растительной биомассы главным резервом производства биотоплива второго поколения могут быть отходы деревопереработки, в результате использования которых может быть произведено к 2020 г. около 954 млн ГДж технической энергии в виде биоэтанола. Даже при энергетической эффективности переработки древесной биомассы на уровне 30 % суммарная прибавка энергии не превысит 1 % топливно-энергетического баланса страны. В связи с этим такие небольшие дополнительные величины энергии в форме экологически чистого топлива требуют рационального применения. В первую очередь биотопливо необходимо применять внутри страны в качестве добавок к автомобильному бензину для улучшения атмосферы в крупных городах и промышленных агломерациях.

В России из хозяйственного оборота в последние два десятилетия выведено по разным данным около 20–40 млн га пахотных земель, которые можно использовать для производства биотоплива.

В мире появилось перспективное направление производства биотоплива из биомассы, получаемой при выращивании энергетических лесов, посадок

мискантуса. Эти многолетние насаждения могут быть даже более энергетически эффективны, чем производство биотоплива из зерна, картофеля, сахарной свёклы и т.д., не говоря уже о социальных преимуществах.

Мы считаем, что в России в ближайшие годы среди энергетических культур основное внимание может быть отведено мискантусу китайскому (*Miscanthus sinensis* Andersson), который также называют «китайский камыш». Мискантус – род многолетних травянистых растений семейства мятликовых. Продуктивность его новых форм, выведенных в Институте цитологии и генетики СО РАН, составляет 10–15 т/га/год сухой биомассы [2]. Урожайность сухой биомассы мискантуса во Франции составляет 20 т с 1 га [3]. Мискантус китайский может ежегодно на протяжении 20 лет продуцировать на одном поле. Популяция, отобранная в ИЦГ СО РАН, обладает высокой зимостойкостью даже в условиях Западной Сибири в отличие от других форм мискантуса, используемых в европейских странах.

Растения мискантуса образуют рыхлую дернину с ползучими корневищами. Стебли прямостоячие. Листья кожистые, чешуевидные. Листовые пластинки шириной 0,5–1,8 см, линейные или ланцетно-линейные, очень жёсткие.

Метёлки длиной 10–30 см, более или менее веерообразные (с длинными боковыми веточками и сильно укороченной общей остью); колоски длиной 0,3–0,7 см, с одним вполне развитым цветком; колосковые чешуи равны колоскам, тонкокожистые; нижние цветковые чешуи более короткие, перепончатые, без ости или с остью.

Мискантусы вырастают до 2 м при хороших условиях (в первую очередь, при обилии света). Эти растения довольно влаговыносливы, однако хорошая водопроницаемость почвы – важное условие выращивания мискантусов.

Мискантус в целом не требователен к почвам, но, естественно, на плантации необходимо внесение полной нормы минерального удобрения с учётом выноса питательных элементов урожаями. Некоторые авторы считают, что это растение не требует удобрения, а «само повышает плодородие почв». Такие рекомендации можно относить только в отношении гумуса почв. За счёт систематического поступления в почву биомассы опавших листьев и остатков растений после скашивания содержание гумуса в почве может существенно повышаться. Однако размеры влияния мискантуса на гумусовый баланс в почве требует дополнительных подробных исследований в разных регионах страны. Иностранные авторы совершенно справедливо рекомендуют вносить под мискантус минеральные удобрения, но дозы азота не выше 150 кг/га, а соотношение N:P:K – около 1:0,4:0,5.

Размножение растения возможно частями корневищ. Обычно корневища короткие (5–10 см), образуются в течение вегетации, зимуют, а весной дают новые побеги. В результате происходит медленная колонизация пространства с образованием сильно разросшихся кочек. Высадку проводят весной отдельными короткими корневищами, размещая их рядами с широкими междурядьями (60–75 см).

Существует два способа вегетативного размножения мискантуса: делением корневищ и способ культуры «меристематического размножения в пробирке». Первый способ заключается в разрезании корневища на куски, а затем высадка на плантации. Он прост и дает хорошие результаты в виде быстро развивающихся растений, но связан с необходимостью иметь доступ к маточным плантациям основного посадочного материала. Подготовка и посадка занимают много времени и трудоёмки. В свою очередь, получение посадочного материала культур «в пробирке» является более технически совершенным, но требует специальных лабораторных условий. Благодаря этой технологии в течение короткого времени можно получить большое количество растений. Растения, полученные через культуру «в пробирке» принципиально не отличаются от растений, полученных в результате деления корневищ, за исключением низкой начальной скорости роста и меньшей морозостойкости в первый год после посадки. Тем не менее, эти различия выравниваются в течение второго и третьего года культивирования и урожай биомассы даёт сопоставимые результаты по сравнению с посадкой корневищами.

В случае посадки кусочками корневищ получаются хорошие результаты при размещении их на глубине 10–15 см; а глубина посадки семян выращенных «в пробирке» определяется размером полученных растений. Плотность посадки растений на 1 м² должна быть от 1 до 3 штук, что дает на 1 га от 10 000 до 30 000 саженцев. Посадки 1-го растения на 1 м² экономит посадочный материал, что имеет важное значение для сокращения расходов на закупку саженцев. В свою очередь, плотная посадка (3 штуки на 1 м²) позволяет растениям мискантуса быть более конкурентными с сорняками на плантациях и быстро приводит к смыканию в междурядьях, и тем самым почти полностью устраняет проблему борьбы с сорняками. На практике интервалы между рядами колеблются от 0,7 до 1,0 м, а расстояние между растениями в ряду – от 45 до 100 см.

Наиболее рациональный способ уборки заключается в транспортировке биомассы от поля до биоцеха без промежуточного хранения. Это означает, однако, необходимость размещать насаждения мискантуса в непосредственной близости к конечному пользователю.

В первый год после посадки производят механическую борьбу с сорняками в междурядьях, используя наборы традиционных культиваторов. Это желательно делать на ранних стадиях развития растений сорняков. В случае большого засорения посевов двудольными сорняками могут быть применены гербициды из группы производных триазинов. После 2 или 3 лет выращивания сильно растущий мискантус уменьшает засорённость плантации, подавляя сорняки. Снижение засорения продуктивных насаждений происходит за счёт интенсивного роста растений и в результате существенного затенения почвы. В европейских условиях мискантус обладает высокой устойчивостью к большому числу вредителей. На плантациях нет необходимости применять химические средства, что снижает издержки производства биомассы.

Из других операций по уходу в первый год после посадки применяется мульча толщиной около 30 см почвы вдоль ряда, чтобы лучше защитить рас-

тения от холода во время зимнего периода. Такой способ защиты корней дает очень хорошие результаты, особенно, если саженцы были получены с помощью культуры «в пробирке». В Европе до сих пор не наблюдается появления болезней на растениях, но имеется один из вирусов, который приводит к торможению роста и пожелтению растений; однако болезнь не передается от растения к растению. Её единственным источником являются инфицированные саженцы, поэтому важно купить здоровый посадочный материал. (http://www.cieplej.pl/Ekologia_OZE/1143277381.shtml).

В Новосибирске выделена необычная форма с очень длинными корневищами, которые быстро колонизируют почвенное пространство, и создают сплошную ровную плантацию мискантуса без образования кочек.

Преимущества данного травянистого растения перед энергетическими лесами заключается, прежде всего, в том, что товарная продукция получается уже со 2 года после посадки. В дальнейшем уборка может производиться как через год, так и ежегодно. Для уборки биомассы не требуется набора специализированной дорогостоящей техники и скашивание надземной биомассы может производиться обычными кукурузоуборочными комбайнами.

В случае необходимости, посадки мискантуса легко заменить на сельскохозяйственные культуры без существенного нарушения почвенного покрова по сравнению с энергетическими лесами.

Мискантус образует дернину из переплетенных, грубых, в палец толщиной, корневищ. Посаженные безо всякого ограничения, они вскоре расплзаются, закрыв всю поверхность почвы. Это свойство растений является чрезвычайно полезным для борьбы с водной эрозией почвы на склоновых землях. Если принять, что с 1 га посева кукурузы в год смывается в среднем около 30 т почвы, то на воспроизводство только гумуса внесением органических удобрений необходимо вложить 1805 МДж/га невозобновимой энергии [4]. Возделывание мискантуса позволяет экономить эти затраты.

Постоянно покрытие дерниной способствует также сокращению испарения влаги с поверхности почвы. Таким образом, мискантус является и агроэкологически высокоэффективной культурой.

Посадка мискантуса даже на части не занятой сельскохозяйственными культурами площади пашни России позволит получить большое количество растительной биомассы, сохранить и даже повысить плодородие почв и предотвратить зарастание пашни кустарником и редколесьем. Биомасса может быть использована в начале эксплуатации насаждений для производства топливных пеллет и брикетов, а после строительства биоэлектростанций – для производства жидкого биотоплива. Однако предварительно требуются разработка и апробирование технологий возделывания мискантуса в разнообразных почвенно-климатических зонах страны, разработка системы удобрений и оценка энергетической эффективности его производства.

Нами на серых лесных почвах заложен микрополевым опытом с мискантусом китайским. Предусмотрены два варианта: 1– контроль (без удобрений) и

2– с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{120} P_{100} K_{100}$. Закладка плантации произведена весной, 7 мая 2012 г. методом посадки делённых корневищ. Расстояние между рядами – 60 см, между растениями – 20 см. Для лучшей приживаемости посадочного материала был произведён двукратный полив растений после закладки плантации и в течение вегетации с поливной нормой из расчёта 200 м³/га. В течение вегетации проведены три ручных прополки сорняков в рядах.

Ежегодные затраты энергии на уход за плантацией и уборку составят небольшую величину: это внесение минеральных удобрений и ранневесеннее боронование, а также скашивание надземной биомассы с помощью кукурузоуборочного комбайна.

В сумме затраты на 1 год эксплуатации посадок оцениваются в 8926 МДж/га прямых и косвенных затрат технической энергии (таблица). Нами разработана математическая модель и проведено сравнение энергозатрат и энергетической эффективности производства биомассы трёх полевых культур на серых лесных почвах Центрального региона России.

Для озимой пшеницы и кукурузы использовались фактические данные урожая и энергозатрат, полученные в многолетнем стационарном полевом опыте на серых лесных почвах [4]. Для мискантуса взят урожай на уровне, полученном в России, в полевых экспериментах в Новосибирске [2].

При учёте затрат при производстве соломы зерновых культур рекомендуется брать так называемую технологическую себестоимость [5] на уровне франко-поле. В затраты входят: подбор соломы с прессованием, подбор тюков, перевозка и складирование тюков на краю поля.

В энергозатраты на восстановление почвенного плодородия по соломе озимой пшеницы мы включили компенсацию выноса урожаем таких питательных веществ, как азот, фосфор и калий. В затраты включены: производство и транспортировка тюков до хозяйства, подготовка смеси, погрузка, транспортировка и внесение минеральных удобрений. Остальные затраты на восстановление почвенного плодородия отнесли на основную продукцию [1].

В литературе имеются только отрывочные данные по химическому составу растений мискантуса, что не позволяет точно определить количество удобрений на запланированный урожай. Поэтому для сравнительных расчётов мы взяли дозы НРК, вносимых под кукурузу в полевых экспериментах на серых лесных почвах и позволивших получить в среднем за 5 лет около 500 ц/га зелёной массы. Масса кусочков корневищ при закладке принята в 20 ц/га.

Таким образом, сравнительные предварительные исследования энергетической эффективности выращивания мискантуса китайского, как источника для получения биомассы, используемой в целях выработки биотоплива второго поколения, показывают перспективность дальнейших подробных исследований этой культуры в различных регионах

Продуктивность и энергетическая эффективность производства растительной биомассы агроэкосистем на серых лесных почвах (до вывоза с поля) *

Культура и удобрения	Урожай		Производство биомассы	Заграты технической энергии, МДж/га		Заграта технич. энергии, МДж/1 ц сухой биомассы
	Нагивная био- масса сухое вещество, ц/га	Содержание энергии в уро- жае, МДж/га		Воспроизводство почвенного плодородия (компенсация выноса соломой N, P и K)	Совокуп- ные энерго- заграты	
Солома ози- мой пше- ны, N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀	42 34	71060	4560	2797	7357	216
Кукуруза, скошенная биомасса, N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀	516 90	188100	21943	9857	31800	353
Мискантус, скошенная биомасса, N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀	500 90	188100	15832 (с учётом амор- тизации затрат на закладку	226 (нейтрализация подкисления почв минер. удобрениями)	16058	178

* Расчёты по таблице выполнил Г.А. Булаткин.

России. В первую очередь необходимо рассмотреть важный вопрос – возможность снижения влажности биомассы мискантуса, которая ко времени уборки достигает 75 %.

В это направление есть приём, позволяющий уменьшить влажность, а именно – уборка биомассы в весенний период. Однако данный прием может быть эффективен не во всех климатических регионах России и необходимо всесторонне исследовать данную возможность.

Следующим направлением следует поставить вопрос районирования территории России с учётом биоклиматического потенциала для возделывания мискантуса, энергетических лесов (в зависимости от пород), других возможных энергетических культур.

Литература

1. Булаткин Г.А. Эколого-энергетические основы воспроизводства плодородия почв и повышения продуктивности агроэкосистем. М.: НИИ-Природа, 2008. 366 с.
2. Шумный В.К., Венрев С.Г., Нечипоренко Н.Н. и др. Новая форма мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis* Andersson) как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья // Вестник ВОГиС. 2010. Т. 14. №1. С. 122–126.
3. Ракитина О. Французы гранулируют мискантус // The bioenergy international. 2007. С. 25.

4. Булаткин Г.А. Производство биотоплива второго поколения из растительного сырья // Вестник РАН. 2010. Т. 80. №5–6. С. 522–532.

5. Кучерин А.П. Оформление издержек и исчисления себестоимости продукции зерновых культур // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 1999. №2. С. 16–19.

БИОСФЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ – ДОРОГА В БУДУЩЕЕ, КОТОРОЕ МЫ ХОТИМ

Я.Р. Васильков, В.М. Комаров, к.т.н., Н.В. Роштин
Некоммерческое партнёрство «АСИ-БИОСФЕРА», Москва

Обосновывается необходимость формирования научно-прикладного направления «Биосферная экология» и пути его реализации на основании решения Конференции ООН по устойчивому развитию «Рио+20». Рассматриваются предложения по развитию биосферных методов нормирования жизнеспособности экосистем на основе инструментального диагностирования экологического состояния почвы и реабилитации её экологических функций.

BIOSPHERIC ECOLOGY – A WAY TO THE FUTURE WE ARE LOOKING FORWARD TO

J.R. Vasilkov, V.M. Komarov, Ph.D., N.V. Roshin
Nonprofit partnership «ASI-BIOSPHERE», Moscow

The necessity of forming a scientific-applied school «Biosphere ecology» and ways of its implementation on the grounds of decision of the United Nations Conference on Sustainable Development is substantiated. Proposals on developing the methods of ecosystems' sustainability regulation on the basis of instrumental diagnostics of the soil ecological condition and its ecological functions rehabilitation are considered.

...Мы признаем, что планета Земля и её экосистемы – это наш дом и что выражение «Мать-Земля» широко распространено в ряде стран и регионов, и отмечаем, что ряд стран признают права природы в контексте поощрения устойчивого развития. Мы убеждены в том, что для обеспечения правильного баланса между экономическими, социальными и экологическими потребностями нынешнего и последующих поколений необходимо постараться достичь гармонии с природой.

Декларация РИО+20 (п.39) [3]

Конференция ООН по устойчивому развитию, проходившая с 20 по 22 июня 2012 г. в Рио-де-Жанейро (Бразилия), подтвердила актуальность затронутой проблемы, и констатировала наличие трёх взаимосвязанных аспектов её проявления. Это социальная, экономическая и экологическая сферы деятельности современной цивилизации. Следует особо отметить, что в п. 39 итогового документа Конференции «Будущее, которое мы хотим» экология природы