

Национальная Академия Наук Беларуси
Центральный ботанический сад

Н.С. Купцов, Е.Г. Попов

Энергоплантации

Справочное пособие
по использованию энергетических растений



Минск
«Конфидо»
2015

Национальная академия наук Беларуси
Центральный ботанический сад

Н.С. Купцов, Е.Г. Попов

ЭНЕРГОПЛАНТАЦИИ

Справочное пособие
по использованию энергетических растений



УДК 633/635 : 620.92

ББК 42

К 92

Рецензенты:

д.б.н., проф., академик НАН Беларуси Л.В. Хотылёва,

д.с.-х.н., проф. М.А. Кадыров

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения	5
Введение	7
Глава 1. Энергопотребление и выбросы CO ₂ в атмосферу	9
Глава 2. Метангидратные «океаны» новой энергии – климатическая бомба замедленного действия	12
Глава 3. Энергоплантации и их долгосрочная роль в сокращении глобальных выбросов CO ₂	16
Глава 4. Типы биотоплива	27
4.1. Твердые биотоплива	28
4.2. Жидкие биотоплива	32
4.3. Жидкие биотоплива 2-го поколения (биоэтанол из целлюлозы, BtL, бионефть)	37
4.4. Газообразные биотоплива	39
Глава 5. Виды энергетических растений	43
5.1. Ива корзиночная (<i>Salix viminalis</i> L.)	43
5.2. Ива белая (<i>Salix alba</i> L.)	45
5.3. Тополь (<i>Populus</i>)	47
5.4. Ольха серая (<i>Alnus incana</i> L.)	49
5.5. Сосна конторта (<i>Pinus contorta</i> L.)	50
5.6. Пальма масличная (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.)	51
5.7. Сальное дерево (<i>Triadica sebifera</i> (L.) Small)	52
5.8. Эвкалипт (<i>Eucalyptus</i>)	53
5.9. Ятрофа (<i>Jatropha curcas</i> L.)	55
5.10. Бамбук (<i>Bambusa</i>)	56
5.11. Кукуруза (<i>Zea mays</i> L.)	57
5.12. Тритикале (× <i>Triticosecale</i>)	58
5.13. Сахарный тростник (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	59
5.14. Сахарная свекла (<i>Beta vulgaris</i> L.)	60
5.15. Соя (<i>Glycine max</i> L., Merr.)	60
5.16. Тарви, или люпин изменчивый (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet)	61
5.17. Подсолнечник (<i>Helianthus annuus</i> L.)	63
5.18. Рапс (<i>Brassica napus</i> L.)	64
5.19. Горчица белая (<i>Sinapis alba</i> L.)	66
5.20. Топинамбур (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	67
5.21. Мискантус (<i>Miscanthus</i>)	68

К 92 Купцов, Н.С., Попов, Е.Г.

Энергоплантации. Справочное пособие по использованию энергетических растений /
Н.С. Купцов, Е.Г. Попов. – Мн.: Тэхналогія, 2015. – 128 с.: ил.

ISBN 978-985-6777-76-2

В справочном пособии освещено современное состояние биоэнергетики. Большое внимание уделено выбросам в атмосферу парниковых газов при использовании невозобновляемых источников энергии, в том числе метангидратов, а также роли различных типов энергоплантаций в редукции CO₂. Даны теоретические основы и изложены современные направления формирования энергоплантаций. Приведены ключевые элементы энергоресурсоэкономных, природу щадящих технологий возделывания основных энергокультур в Беларуси (ива, ольха, топинамбур и др.).

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, бакалавров, студентов, руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий, фермеров, широкого круга читателей, интересующихся аспектами возобновляемых источников энергии.

УДК 633/635 : 620.92

ББК 42

ISBN 978-985-6777-76-2

© ГНУ «Центральный ботанический сад
Национальной академии наук Беларуси», 2015
© Оформление. ЗАО "Конфидо", 2015

5.22. Арундо тростниковый (<i>Arundo donax</i> L.)	69
5.23. Просо прутьевидное, или свитчграсс (<i>Panicum virgatum</i> L.)	70
5.24. Люпин ползучий (<i>Lupinus repens</i> Kuptzov N. & Miron)	71
5.25. Водоросли (альгакультура)	73
Глава 6. Основы технологий возделывания перспективных для условий Беларуси энергокультур	75
6.1. Возделывание ивы	75
6.2. Возделывание тополя	78
6.3. Возделывание топинамбура	80
6.4. Возделывание мискантуса	83
6.5. Возделывание люпина тарви	86
Глава 7. Современные тенденции изменения сельхозпроизводства и энергоплантации	89
7.1. Комбинированные энергоплантации	89
7.2. Ноу-Тилл технология и возможности ее использования в энергоплантациях	90
7.3. Монокультура классического земледелия и энергоплантации	93
7.4. Экологическое земледелие и возможности использования его принципов в энергоплантациях	93
7.5. Ноотерра и возможности использования его принципов в энергоплантациях	95
7.6. Перспективы энергоплантаций в Беларуси	100
Заключение	103
Литература	105
Приложение 1. Список понятий и терминов	110
Приложение 2. Шкала десятичного кода стадий роста и развития растений топинамбура (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	118

Сокращения

BtL (BMtL)	– биотопливо из биомассы (Biomass to Liquid)
FNR	– Агентство по возобновляемым ресурсам Германии (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.)
NASA	– Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США (National Aeronautics and Space Administration)
NPK	– содержание азота (N), фосфора (P) и калия (K) соответственно
SRC	– плантации с коротким оборотом или циклом (short rotation coppice)
ВВП	– валовой внутренний продукт
ВИЭ (RE)	– возобновляемые источники энергии (renewable energy)
ЕС	– Европейский союз
ЕСВЭ (EREC)	– Европейский совет по возобновляемой энергии (European Renewable Energy Council)
ЕЭС (EEC)	– Европейское экономическое сообщество (European Economic Community)
ЖКХ	– жилищно-коммунальное хозяйство
КТУ	– когенерационные установки
КЭЭ	коэффициент энергетической эффективности
МАВИЭ (IRENA)	– Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (International Renewable Energy Agency)
МГЭИК (IPCC)	– Межправительственная группа экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change)
МЭА (IEA)	– Международное энергетическое агентство (англ. International Energy Agency)
МЭС	– Мировой энергетический совет
н. э. (TOE)	– нефтяной эквивалент (англ. Tonnes of Oil Equivalent)
НИЭ	– невозобновляемые источники энергии
Ноу-тилл (No-Till)	– сельскохозяйственные технологии с постоянным применением нулевой обработки почв и прямого сева
ООН (UNO)	– Организация Объединенных Наций (United Nations Organization)
ОЭ	– обменная энергия
ПГ (GHG)	– парниковый газ (greenhouse gas)
ПГП	– потенциал глобального потепления
ПЗС (TGC)	– переуступаемый зеленый сертификат (tradable green certificate)
РКИКООН (UNFCCC)	– Рамочная конвенция ООН об изменении климата (UN Framework Convention on Climate Change)

с.в.	– сухое вещество (абсолютно сухое вещество)
CAT	– сумма активных температур (выше +10 °C)
CBЭ (REC)	– сертификат возобновляемой энергии (renewable energy certificate)
CCB (CER)	– сертифицированное сокращение выбросов (certified emissions reduction)
СЭ	– совокупная энергия
ТЭР	– топливно-энергетические ресурсы
ТЭЭ	– топливно-энергетический эквивалент
у. т.	– единица условного топлива, равная 29,3 мДж
УР (SD)	– устойчивое развитие (sustainable development)
ФАО (FAO)	– Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (UN Food and Agriculture Organization)
ФАР	– фотосинтетически активная радиация
ЭК (ER)	– энергетический коэффициент (energy ratio)
ЭМ (EM)	– эффективные микроорганизмы (effective microorganisms)

Новое надо создавать в поте лица, а старое – само продолжает существовать и твердо держаться на костылях привычки. Новое надобно исследовать; оно требует внутренней работы, пожертвований; старое принимается без анализа, оно готово.

А.И. Герцен

Введение

Современный цивилизованный мир пришел к пониманию необходимости широкой интеграции в области развития возобновляемых источников энергии, особенно энергоплантаций, что обусловлено глобальным изменением климата и экологическим ущербом, нанесенным длительным использованием традиционных невозобновляемых углеводородных энергоресурсов, а также осознанием той опасности глобального масштаба, к которой может привести массовое коммерческое использование нового, колоссального по объему, источника энергии – метангидратов. Без наличия эффективных технологий редукции CO₂ «океаны» нового источника энергии могут стать для человечества климатической бомбой замедленного действия. Поэтому в настоящее время использование возобновляемых источников энергии стало одной из наиболее растущих отраслей экономики.

Возобновляемые источники энергии – это ресурсы, образующиеся на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе, а также в жизненных циклах растительного, животного мира и жизнедеятельности человеческого общества, в названии которых отражены источники его возникновения (солнечная, волновая, приливная и др.) или вид энергоносителя (биомасса и др.). Практическое использование возобновляемых источников энергии получило сегодня интенсивное развитие во многих странах мира. Так, в странах Евросоюза, по оценкам Международного энергетического агентства, производство энергии из возобновляемых источников ежегодно увеличивается на 10–20 %. По прогнозам Европейского совета по возобновляемой энергетике, к 2040 году возобновляемые источники смогут обеспечить 50 % производства энергии в мире. В соответствии с решением Европарламента доля возобновляемых источников энергии в энергобалансе Евросоюза должна составить в 2020 году 20 %, а в 2040-м – 40 %. Сформировавшиеся в мировой энергетике тенденции перехода на возобновляемые источники энергии – это не только вызов для экономики, но еще и шанс, стимул к поиску инновационных решений во всех секторах топливно-энергетического комплекса, развитию новых его отраслей.

В последнее время энергетическому использованию биомассы уделяется особое внимание, так как при условии ее непрерывного восстановления не происходит увеличения в атмосфере концентрации CO₂. Кроме того, во многих странах мира, при общей насыщенности их продовольственных рынков, имеются огромные излишки обрабатываемых земель, часть из которых уже с успехом используется под возделывание энергокультур. В ближайшем будущем все излишки обрабатываемых земель планируется занять энергоплантациями. Так, например, в Германии выращивание биомассы на различных типах энергоплантаций предполагается осуществлять к 2030 году на площади 2,0–4,3 млн. га, а к 2050-му – на площади 4,2–6,1 млн. га из 17,3 млн. га используемых в настоящее время в сельхозпроизводстве.

По экспертным оценкам, энергоплантации различного типа, включая фотобиореакторы на основе водорослей, будут играть долгосрочную непреходящую глобальную роль в редукации CO₂.

В Беларуси есть все необходимые предпосылки и конкурентные преимущества для развития биоэнергетики. Это обусловлено почвенно-климатическими условиями, которые являются неоптимальными для масштабного развития гелио- и ветровой энергетики. В то же время эффективным и результативным направлением развития страны уже является биоэнергетическая отрасль. В Беларуси в настоящее время, как и во всем мире, использование сельскохозяйственных угодий для производства биомассы на энергетические цели имеет неуклонную тенденцию к росту, о чем свидетельствует существенное расширение площадей под энергокультурой рапс, как на европейском, так и национальном уровне. По расчетам сотрудников Международного государственного экологического университета им. А.Д. Сахарова, в Беларуси потенциальные площади для размещения энергоплантаций, например, только быстрорастущих древесных растений могут составить 200–300 тыс. га. Общий потенциал биоэнергии в республике довольно значительный и составляет от 25 % до 30 % сегодняшних потребностей страны в энергии.

Широкомасштабное выращивание в Беларуси традиционных энергокультур (рапса, кукурузы и др.) и специальных энергокультур (топинамбура, мискантуса и др.), а также древесно-кустарниковых (ивы, ольхи и др.), позволит не только получать биомассу, но и обеспечивать охрану водных и земельных ресурсов, поспособствует рекультивации деградированных земель и редукации углекислого газа. Переход на использование возобновляемых источников энергии – сложный и длительный процесс. Поэтому нужно уже сегодня начинать более активно и планомерно осуществлять увеличение доли производства и использования возобновляемых источников энергии, в том числе и энергоплантаций, в энергобалансе страны.

Настоящее пособие подготовлено авторами на основе анализа богатого мирового опыта производства и использования различных видов биотоплива, а также результатов собственных исследований в рамках данной темы.

Авторы выражают искреннюю благодарность доктору биологических наук Титку В.В., кандидату биологических наук Аношенко Б.Ю., кандидату сельскохозяйственных наук Ярошевичу М.И. и Бугровой А.Н. за оказанную помощь в подготовке данного пособия.

Глава 1

Энергопотребление и выбросы CO₂ в атмосферу

В настоящее время снижение выбросов в атмосферу парниковых газов (CO₂, метана, закиси азота и др.) из энергосистемы при одновременном удовлетворении глобального спроса на энергоснабжение стало одной из главных мировых проблем [Шпаар, 2006; Ключков, 2009; Цыганов, 2012]. Человек постоянно нуждается в энергоснабжении для удовлетворения основных своих потребностей (приготовления пищи, освещения, пространственного комфорта, передвижения, коммуникаций) и для обслуживания производственных процессов. Примерно с 1850 г. повсеместное использование ископаемого топлива (угля, нефти, газа) существенно увеличилось и стало доминировать в энергоснабжении, что привело к стремительному росту выбросов в атмосферу углекислого газа (CO₂). В настоящее время ежегодно выбросы CO₂ в атмосферу составляют около 8 млрд. тонн, из них экосистемы планеты поглощают лишь половину. Оставшиеся 4 млрд. тонн углекислоты накапливаются в атмосфере, способствуя процессу глобального потепления климата [Шпаар, 2006; Цыганов, 2013].

Сегодня на сферу энергопотребления, определяющую уровень и качество жизни людей (коммунально-бытовые услуги, коммерческая деятельность, сельскохозяйственное производство) приходится лишь 30 % мировых энергетических потребностей, тогда как в сфере транспорта и промышленности расходуется соответственно 25 % и 40 %.

По мере увеличения численности населения планеты и темпов экономического роста, особенно развивающихся стран, спрос и потребление энергии в различных секторах экономики и в сфере качества жизни продолжают быстро расти [Родькин, 2011; Baker 2013; Кулаков, 2013], причем в прогнозах на ближайшую перспективу его замедления не предвидится (рис. 1.1).

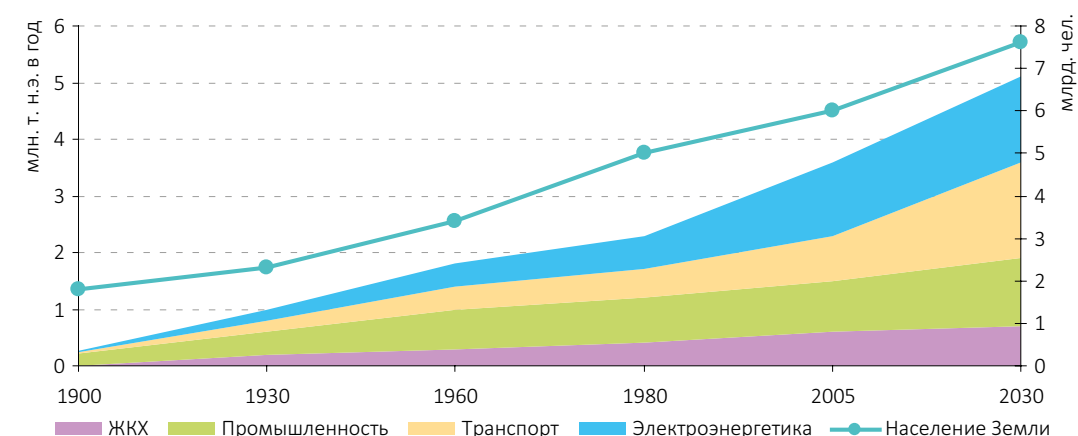


Рис. 1.1. Рост численности людей на Земле и мировой спрос на энергоносители по секторам экономики.

По данным Международного энергетического агентства, в аналогичной пропорции спрос на энергоносители по секторам экономики растет и в Республике Беларусь.

Экспертные оценки показывают [Смольская, 2013], что в дальнейшем основное внимание будет уделено развитию энергетической базы за счет возобновляемых источников энергии, среди которых главную роль займут фотосинтезирующие растения (рис. 1.2), в том числе и водоросли. Это обусловлено нейтральностью биомассы по отношению к выбросам в атмосферу парниковых газов, так как при использовании биотоплива выделя-

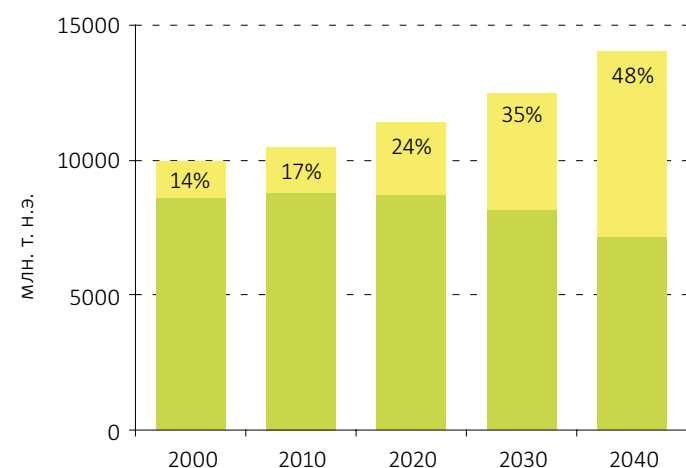


Рис. 1.2. Прогноз мирового потребления энергии и доли из возобновляемых источников энергии.

ется столько CO₂, сколько его усвоило растение в процессе фотосинтеза из атмосферы.

Установлено, что ежегодное накопление биомассы на планете достигает 180 млрд. тонн, а ее энергетическое содержание в 10 раз превышает количество используемой человечеством энергии. Сегодня основным поставщиком биомассы, используемой на биотопливо, служат сельское и лесное хозяйство, а также энергоплантации и микробиологическая промышленность (фотобиореакторы) [Шпаар, 2006; Клочков, 2009; Родькин, 2011; Сокур, 2010; Эденхофер, 2011; Sasongko 2015].

Использование возобновляемых источников энергии стало одной из наиболее быстрорастущих отраслей экономики. Так, в странах ЕС, согласно оценкам экспертов МЭА, производство энергии из возобновляемых источников ежегодно растет на 10–20 %. Прогнозные данные Европейского совета по возобновляемой энергетике свидетельствуют о том, что удельный вес возобновляемых источников энергии в мировом энергобалансе к 2050 году может достичь 50 %.

В соответствии с решением Европарламента доля возобновляемых источников энергии в энергобалансе ЕС к 2020 году должна составить 20 %, а в 2040-м – 40 %. Лидерами в использовании возобновляемых источников энергии в мире являются Норвегия (64,7 %), Швеция (46,8 %), Латвия (33,1 %) и Финляндия (31,8 %) [Шпаар, 2006; Клочков, 2009; Кулаков, 2013; Родькин, 2011; Цыганов, 2013].

Переход на использование биомассы в качестве источника энергии – это сложный и длительный процесс, поэтому многие страны (Бразилия, Германия, США, Финляндия,

Швеция и др.) уже сегодня активно и планомерно увеличивают долю производства и потребления биотоплива в общем энергобалансе.

Прогнозируется [Шпаар, 2006, 2007; Эденхофер, 2011; Baker 2013; Гейтс, 2015], что увеличение в балансе энергии возобновляемых источников, в том числе и биомассы, приведет к замедлению роста выбросов в атмосферу CO₂ от потребления энергии. Глобальные выбросы CO₂ выйдут на пик вскоре после 2020 года и будут к 2030-му на 14 % ниже. Однако темпы этого замедления будут недостаточны, чтобы мир перешел на безопасный уровень выбросов парниковых газов (табл. 1.1).

В последние десятилетия в связи с осознанием человечеством возможных негативных последствий глобального изменения климата, обусловленного парниковым эффектом из-за антропогенных выбросов, вопросы энергопотребления и производства биоэнергии привлекают все возрастающее внимание не только исследователей, но и бизнесменов, политиков, а также многие общественные организации (Greenpeace, IFOAM, «Инициатива Хартии Земли», Межрегиональная экологическая общественная организация «Зеленый крест», Международная экологическая организация «Беллона» и др.).

Таблица 1.1. Прогноз Международного энергетического агентства относительно динамики выбросов в атмосферу CO₂ в зависимости от потребления энергии*

Годы	Глобальные выбросы углекислого газа от потребления энергии, млрд. тонн CO ₂		
	Базовый сценарий	Сценарий активной противодействующей политики государств	«Сценарий 450»**
2000	23,5	23,5	23,5
2010	30,5	30,5	30,5
2020	36,0	34,0	31,1
2030	38,4	33,0***	25,0**

* «Прогнозы развития мировой экономики» [http://www.iea.org].

** Сценарий МЭА, демонстрирующий требуемое для стабилизации концентрации парниковых газов в воздухе на уровне 450 ppm (молекул / млн.), что достаточно для остановки глобального потепления.

*** Снижение выбросов углекислого газа на 5,4 млрд. тонн (в сравнении с базовым сценарием):

- 0,4 млрд. тонн – за счет улавливания и хранения CO₂;
- 2,8 млрд. тонн – за счет перехода на альтернативные виды топлива;
- 2,2 млрд. тонн – за счет повышения энергоэффективности.

Глава 2

Метангидратные «океаны» новой энергии – климатическая бомба замедленного действия

Современное мировое производство в связи с истощением запасов традиционных невозобновляемых природных энергоресурсов (нефти, газа, угля, урана), загрязнением окружающей среды, увеличением содержания в атмосфере парниковых газов, способствующих глобальному изменению климата, а также ростом народонаселения ставит перед наукой нашего времени в качестве стратегической задачи создание в короткие сроки энергоресурсоэкономных, щадящих природу технологий во всех сферах деятельности человека, в т. ч. технологий, использующих возобновляемые источники энергии: солнечной, ветровой, гидравлической, геотермальной и биологической (торфа, древесных отходов, сельхозотходов, растительной биомассы, включая таковую энергетических плантаций на сельскохозяйственных угодьях, морских плантаций фитопланктона и фотобиореакторов).

Кроме того, открытие в последние десятилетия в субмаринной земной коре ряда морей (Каспийского, Черного, Средиземного, Охотского, Японского и др.) и всех океанов колоссальных залежей нетрадиционного газа в твердом состоянии (газогидратов или метангидратов [Инербаев, 2003; Кузнецов, 2003; Соловьев, 2003; Макогон, 2003; Кэррол, 2007; Купцов, 2008; Сокур, 2010]) и их освоение могут снять на большой период проблему дефицита энергоресурсов на планете, но существенно обострят проблему выброса в атмосферу углекислого газа (рис. 2.1).

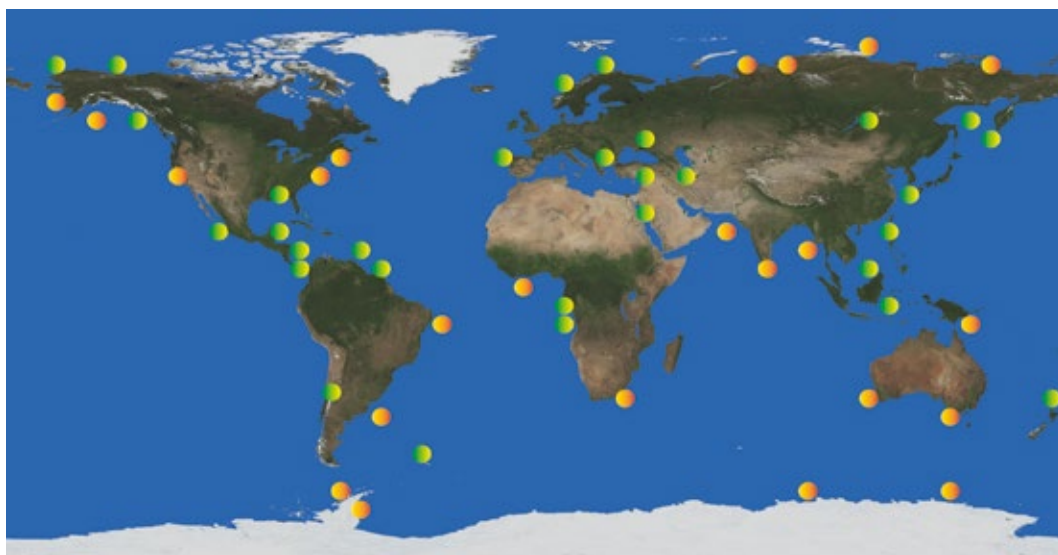


Рис. 2.1. Распространение известных (●) и предполагаемых (●) месторождений метангидратов [Купцов, 2008].

Метангидраты представляют собой льдоподобную массу белого цвета в виде разного размера кристаллов, хлопьев и лепешек. Их структура примерно такая же, как у льда. Это соединения, в которых молекулы газа заключены в кристаллические ячейки, состоящие из молекул воды, удерживаемых водородной связью (рис. 2.2).

На долю метана в газогидратах приходится 93–96 % объема, а на долю его гомологов (этана, пропана) – 4–7 %. Благодаря компактности структуры метангидраты несут в себе очень большое количество газа. В одной объемной единице гидрата сконцентрировано

такое количество метана, которое в нормальных условиях земной поверхности заполнит от 180 до 200 объемных единиц. Кристаллогидраты метана сформировались под воздействием низких температур и высокого давления. При атмосферном давлении для устойчивости гидрата метана нужна температура около минус 80 °С.

Залежи метангидратов являют собой практически неограниченные ресурсы природного газа в твердом состоянии, доступные большинству стран мирового сообщества. По прогнозам оценкам экспертов разных стран, общее количество метана в субмаринных залежах (ниже поверхности дна моря или океана) превышает в 80 тыс. раз его запасы в традиционных месторождениях. После придания газогидратам международного статуса энергетического сырья человечество на протяжении дальнейших тысячелетий не будет иметь острых проблем с обеспечением энергоресурсами. Необходимо подчеркнуть, что уже на протяжении нескольких лет в ряде стран (Канаде, США, государствах Евросоюза, Австралии, Индии, Китае, Японии, Южной Корее, России, Украине и др.) действуют программы по газогидратам, которые финансируются государством с привлечением частного капитала. В рамках этих программ ведутся исследовательские работы по процессам гидратообразования, оценке мировых запасов гидратов метана, технологии их разработки, способам хранения и транспортировки в гидратном состоянии и экологическим последствиям их добычи и использования.

Например, в США в 2000 году Конгресс провел специальные слушания, посвященные результатам исследовательских работ по газогидратам, утвердил национальную программу «Стратегия исследования и разработки метановых гидратов на 2001–2010 гг.». Общие расходы на программу составляли первоначально около миллиарда долларов США ежегодно и достигли к 2015-му 3 млрд. долларов США в год. Цель этой программы – к 2010-му разработать технологию добычи метангидратов, а к 2015-му начать коммерческую эксплуатацию газогидратов. Япония как энергозависимая страна также придает проблеме метангидратов государственное значение и успешно завершает осуществление государственной программы (2001–2016 гг.) в этой сфере. В рамках программы образован исследовательский консорциум по ресурсам гидратов метана, куда входят представители правительства, промышленности, Академии наук и международных нефтяных компаний. Уже оценен объем залежей газогидратов на дне морей у берегов Японии. Их запасы составляют 50 трлн. куб. м [Ohgaki, 1994]. К настоящему времени японская корпорация нефти, газа и метана (JOGMEC) совместно с инженерами фирмы Baker Hughes и при участии австралийской компании Farley Riggs провела в районе впадины Нанкай к югу от полуострова Ацуми успешные испытания скважины по добыче метана из гидратных залежей с глубины 300 м под морским дном (на глубине моря 1 км). По словам исполнительного директора австралийской компании Криса Риггса, этот опыт доказал потенциальное коммерческое значение разработки морских запасов метангидратов. Сделано заключение о том, что запасов метангидратов из залежей только одной впадины Нанкай (1,1 трлн. куб. м метана), по самым скромным оценкам, хватит более чем на 100 лет для обеспечения спроса страны на газ при современном уровне его потребления. Дальнейшие успехи испытания технологий коммерческой добычи метана из гидратных залежей у берегов Японии и подтверждение их экологической безопасности могут гарантировать вовлечение метангидратных залежей в баланс газа в мировом масштабе. Широкомасштабные

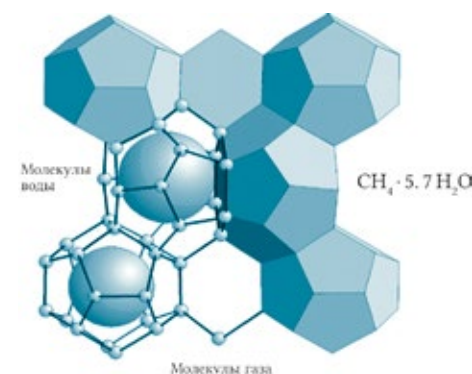


Рис. 2.2. Схема структуры метангидратов [Купцов, 2008].

разработки метангидратов Япония планирует начать в 2018 году [Смирнов, 2013].

Необходимо особо подчеркнуть, что ученые разных стран, опираясь на имеющиеся результаты исследований по газогидратам, пришли к следующему единому мнению. Массовое коммерческое использование метангидратов в качестве энергетического сырья возможно лишь при условии параллельного развития технологий, уменьшающих выбросы в атмосферу углекислого газа. Без решения проблем, связанных с углекислым газом, новые «океаны энергии» могут стать для нашей планеты климатической бомбой замедленного действия. На это указывают уже произошедшие за последние десятилетия глобальные изменения климата, которые в значительной степени обусловлены накоплением в атмосфере парниковых газов: углекислого газа, метана, закиси азота и др. [Parry, 1990, 2001; 2004; Денисов, 2008; Крит, 2012; Sommerkorn, 2009]. Глобальное же потепление климата вызвало таяние льдов и существенное сокращение их площади в Северном Ледовитом океане.

В последние годы наблюдаются признаки потепления и в Антарктиде (на западе континента). В результате этих явлений уменьшается альбеда Земли (способность отражать солнечную энергию), что, как следствие, ведет к дальнейшему прогреванию планеты. Холодных дней на планете становится меньше и они – теплее, жарких дней – больше, но они – жарче; тают ледники, повышается уровень Мирового океана; увеличивается частота сильных ветров, а с ними и осадков, а слабых – уменьшается; наблюдается увеличение осадков там, где в них нет недостатка, и уменьшение в тех регионах, где имеется их дефицит. Следует также отметить, что, по оценке Национального центра снежной и ледовой информации США, в Арктической вечной мерзлоте содержится углерода в количестве 1400 гигатонн, включая 1000 гигатонн в кристаллогидратах метана. Для сравнения: деятельность человечества «за все время его существования» привела к выбросу в атмосферу 880 гигатонн углерода. По прогнозам исследователей из Оксфордского университета, таяние вечной мерзлоты и содержащихся в ней гидратов метана примет катастрофические масштабы при повышении среднегодовых температур в Арктике на 1,5 °C. По данным, опубликованным NASA, потепление климата в Арктике уже привело к интенсификации таяния метангидратов в слоях вечной мерзлоты на Аляске, вдоль российского побережья Восточно-Сибирского моря и выходу метана в атмосферу. В результате дальнейшего глобального потепления и повышения температуры Мирового океана, залегающие в субмаринной земной коре газогидраты могут начать неконтролируемо разлагаться даже без вмешательства человека, поскольку при сдвиге фазового равновесия при повышении температуры среды возникнет цепная реакция высвобождения газа. Масштабный выброс метана в атмосферу – опасность для климата значительно больше, чем антропогенные выбросы CO₂, так как может породить цепь катастрофических для жизни на Земле процессов [Bondarenko, 2013].

Увеличение содержания в атмосфере CO₂ обусловлено массовым длительным использованием традиционных невозобновляемых энергоресурсов (угля, нефти, газа), запасы которых могут иссякнуть [Bjørn, 2001; Купцов, 2008] за 200 лет (рис. 2.3).

Однако и в дальнейшем человечество продолжит производить выбросы в атмосферу CO₂, но уже используя преимущественно «океаны» энергетического сырья в виде метангидратов. Обуславливается это тем, что экспертами не прогнозируется в будущем широкое использование в мире экологически чистой энергии ветра и атомной энергии как в силу невероятно энергоемкого производства самих ветряных установок, атомных электростанций, так и ограниченности запасов урана.

Ветряные установки и атомные электростанции не потребляют ни угля, ни газа, соответственно не выбрасывают в атмосферу CO₂, но, чтобы их построить и запустить, должны долго и упорно работать ряд заводов, сжигая невозобновляемые энергоресурсы и вы-



Рис. 2.3. Запасы топливных ресурсов, потребляемых человечеством, и потенциал солнечной энергии [Купцов, 2008].

брасывая парниковые газы. При этом цена на традиционные невозобновляемые ресурсы будет возрастать из-за усложняющихся условий их добычи, а их использование окажется экономически невыгодным.

Все вышеизложенное будет способствовать широкому вовлечению залежей метангидратов в мировой баланс газов.

В этой связи и исходя из экономических расчетов, многие страны мира ратифицировали так называемый Киотский протокол, по которому они обязуются снижать выбросы парниковых газов [Громова, 2011]. Дело в том, что в рамках Киотского протокола установлены квоты на выбросы парниковых газов и разработаны механизмы торговли этими квотами. Согласно механизму торговли квотами, одна любая сторона Киотского протокола в пределах, установленных для нее границ разрешенных выбросов, имеет право продать другой стороне разрешение на выбросы. Периодически определяется плата за метрическую тонну выбросов CO₂. Финансовые средства, которые поступают в бюджет страны-продавца, должны быть затрачены на проекты или программы, направленные на сокращение выбросов парниковых газов, а также на важные природоохранные мероприятия, имеющие региональное и глобальное значение [Громова, 2001].

Следует подчеркнуть, что в соответствии с требованиями Киотского протокола при производстве сырья для биотоплива на возобновляемой основе и его использовании выбросы углекислого газа не учитываются как квоты.

12 августа 2005-го подписан Указ Президента Республики Беларусь № 730 «О присоединении Республики Беларусь к Киотскому протоколу», который вступил в силу 24 ноября 2005 года.

Глава 3

**Энергоплантации и их долгосрочная роль
в сокращении глобальных выбросов CO₂**

Опираясь на положения Киотского протокола, в ряде стран (Бразилии, Великобритании, Германии, Дании, Ирландии, Швеции, Финляндии, США и др.) ведутся исследования и создаются энергоплантации как с целью эффективной редукции ими атмосферного углекислого газа, так и использования их биомассы для получения энергии (сокращения зависимости от импортируемых энергетических ресурсов). Растения представляют собой постоянно возобновляемый источник энергии, так как они осуществляют преобразование в процессе фотосинтеза солнечной энергии в энергию химических связей органических веществ, их биомасса, расходуемая в качестве пищи, корма или топлива, снова превращается в первоначальные продукты – воду и углекислый газ, отдав запасенную в ней солнечную энергию. Окружающая среда при топливном использовании биомассы не загрязняется вредными веществами. Энергетическое использование растительной биомассы высвобождает столько CO₂, сколько его усвоилось из атмосферы в процессе фотосинтеза [Цивенкова, 2005; Клочков, 2009; Родькин, 2011; Цыганов, 2012; Шпаар, 2006].

Необходимо подчеркнуть, что в различных странах мира разными законами и мерами стимулируются как выращивание, так и использование растительного сырья для производства биоэнергии. Под биоэнергией понимают энергию, произведенную из биомассы. Оценки, содержащиеся в современной литературе, показывают, что технический потенциал биомассы для энергетических целей в мире к 2050 году может составить 500 ЭДж/год, что приблизительно равно эквивалентному теплосодержанию сегодняшней мировой биомассы, получаемой в сельском и лесном хозяйствах [Шпаар, 2006, Клочков, 2009]. Следует отметить, что использование растениеводческой продукции в качестве энергоресурса не является чем-то принципиально новым. Человечество на протяжении столетий использовало около трети производимого зерна на корма, своего рода энергетический ресурс, для тягловых животных, который после промышленной революции был вытеснен с рынка нефтехимическими продуктами.

Особый интерес к биомассе как промышленному источнику энергии снова возник в конце 1970-х вследствие очередного мирового энергетического кризиса. Именно тогда во многих странах начали всерьез изучать альтернативные нефти и газу энергоносители, в том числе возобновляемые. Поэтому в США в 1979 году была разработана специальная программа, которая предусматривала создание энергетических плантаций с применением густой посадки быстрорастущих деревьев (тополя, ольхи и др.) с оборотом рубки до 20 лет. Продуктивность биомассы плотных посадок энергоплантаций оказалась, по подсчетам американских исследователей, в несколько раз больше, чем обычных. Предполагалось под эти энергоплантации занять до 10 % территории страны. Первый крупномасштабный опыт создания энергоплантаций получен в Швеции, где для этих целей были выделены переувлажненные и иные участки, непригодные для ведения сельского хозяйства или выращивания традиционной товарной древесины. Исследования показали, что при загущенной посадке, например, ивы, ольхи, первый приемлемый урожай древесины (до 10–15 т/га сухой биомассы) можно снимать уже через 3–4 года после посадки, а затем аналогичные через каждые последующие 3–4 года жизни плантации [Шпаар, 2006; Клочков, 2009].

В исследовательском центре Французской ассоциации лесоводства и целлюлозной промышленности выведены интенсивные сорта тополя и разработаны технологии их возделывания в энергоплантациях (качественная обработка почвы, обогащение ее микроорганизмами и удобрениями, борьба с сорняками и др.), позволяющие получать за

15 лет ~1500 м³/га древесины вместо всего лишь ~200 м³/га за 30 лет в обычных лесопосадках. В настоящее время во Франции под продуктивным лесом энергоплантаций занято более 12 млн. гектаров. Нынешнее расширение и рост энергетических рынков в результате проведения новой энергетической и экологической политики, принятой в большинстве развитых стран и в некоторых развивающихся странах в последнее десятилетие, значительно повысили роль сельскохозяйственного сектора как поставщика сырья для производства биотоплива. Указанное обусловлено тем, что во многих странах существенное повышение урожайности традиционных сельхозкультур исключило или существенно смягчило соперничество за землю между производством продовольствия и биомассой для получения энергии [Шпаар, 2006; Willer, 2014].

В соответствии с прогнозом Мирового энергетического совета (МЭС), в 2050 году потребление энергии на планете Земля возрастет более чем в 2 раза, при этом 40 % энергетических потребностей будет обеспечиваться за счет возобновляемых источников энергии, в том числе 32 % из них придется на биоэнергетику. По экспертным оценкам Международного энергетического агентства (МЭА), мировой объем потенциальных поставок биоэнергии в 2050 году может колебаться от минимального значения в 1000 млн. тонн н.э. до предельной величины в 26 200 млн. тонн н.э. Однако отмечается, что более реалистичные показатели поставок биоэнергии в 6000–12000 млн. тонн н.э., которые основаны на среднем росте урожайности энергокультур. Согласно подсчетам МЭА, для получения 9500 млн. тонн н.э. биоэнергии потребуется выделить под производство биомассы примерно пятую часть (20 %) мировых сельскохозяйственных площадей. Например, в Германии долю биоэнергии в общем энергопотреблении планируется довести к 2030 году до 17,4 %, а к 2050-му – до 50 %; выращивание биомассы на энергоплантациях к 2030 году осуществлять на площади 2,0–4,3 млн. га, а к 2050-му – на площади 4,2–6,1 млн. га из 17,3 млн. га, используемых в настоящее время в сельском хозяйстве. При максимальном варианте выход биоэнергии составит к 2030 году 1193 ПДж/год, а к 2050-му – 1693 ПДж/год. Во всем Европейском союзе имеется около 40 млн. га земель, на которых возможно размещение энергоплантаций [Шпаар, 2006; Родькин, 2011; Willer, 2014].

В России, как показали результаты исследований, главным резервом в производстве биоэнергии могут стать отходы деревообработки, которые к 2020 году составят 110 млн. тонн, а также биомасса энергоплантаций, площадь которых может составлять 20–30 млн. га (неиспользованные сельхозугодья). В Украине потенциальная площадь под энергоплантации может быть доведена до 27 млн. га. США обладают возможностью создать энергоплантации на площади 77 млн. га. Бразилия, крупнейший в мире производитель биотоплива (этанола), в настоящее время выращивает сахарный тростник в качестве энергокультуры на площади свыше 7 млн. га и может предоставить под энергоплантации без ущерба обезлесивания дополнительно еще 58–148 млн. га земель. В Индонезии под энергоплантации масличной пальмы может быть отведена территория до 27 млн. га [Цивенкова, 2005; Diouf, 2008].

Однако МЭА подчеркивает, что если до 2030 года произойдет масштабная коммерциализация жидкого биотоплива второго поколения, то общемировая доля биотоплива существенно увеличится, а потребности в землепользовании возрастут лишь незначительно из-за более высокого выхода энергии с 1 гектара и использования для производства топлива всей биомассы растения, а не отдельных его органов или веществ (семена, корнеплоды, стебель, сахар, крахмал, жир). Различные гипотетические расчеты МЭА указывают на то, что оптимизация земельных площадей для производства биотоплива и его применение приведут лишь к небольшому вытеснению ископаемого топлива (~10 %). Однако даже весьма скромный вклад биотоплива в совокупные энергоресурсы окажет мощное воздействие на сельское хозяйство и сельхозрынки многих стран.

При производстве биотоплива в первую очередь ставится задача эффективной редукиции атмосферного CO₂, а во вторую – получение дополнительной энергии, то есть таковой сверх затрат технической энергии для выработки нетрадиционного энергоносителя. Соотношение энергии, содержащейся в биотопливе, с энергией, затраченной на его получение, должно давать положительное сальдо (положительный энергобаланс). Однако производство биотоплива с нулевым или отрицательным энергетическим балансом также оправдано, если в местах потребления при его использовании достигается положительный экологический эффект (экологически чистой энергии).

Вклад биотоплива в энергообеспечение зависит от энергоемкости биотоплива и энергии, затрачиваемой на его производство. Энергоемкость биотоплива зависит от его типа и измеряется (выражается) в МДж на 1 кг (или на 1 м³). Энергия, затрачиваемая на производство биотоплива, включает таковую, необходимую для выращивания и сбора биомассы, ее переработки в биотопливо, а также для транспортировки сырья и полученного биотоплива на различных стадиях производства и распределения. Энергетический баланс ископаемого топлива отражает отношение энергии, заключенной в биотопливе к энергии ископаемого топлива, использованного для его производства. Энергетический баланс ископаемого топлива, равный 1 (единице) означает, что на производство 1 литра биотоплива требуется столько же энергии, сколько он содержит, т.е. биотопливо не приводит к чистому приросту или потере энергии.

Следует отметить, что для обычного бензина и дизельного топлива энергетический баланс ископаемого топлива составляет 0,8–0,9, поскольку часть энергии уходит на перегонку сырой нефти в пригодное к употреблению топливо и на его транспортировку на рынки. Все же виды современного биотоплива имеют положительный энергетический баланс, хотя и в разной степени. Например, энергетическая эффективность (или коэффициенты энергетического баланса, т.е. отношение энергии, заключенной в биотопливе, к энергии ископаемого топлива, использованного для его производства) ископаемых топлив (рис. 3.1.1):

- для биодизеля из рапсового и соевого масла и колеблется в пределах от 1,2 до 4;
- для пальмового масла приближается к 9;
- для целлюлозного сырья превышает 10.

Следует подчеркнуть, что чистый эффект воздействия биотоплива на выбросы парниковых газов также существенно варьирует и зависит от выбросов в течение всего его «жизненного» цикла, включающего: обработку почвы, сев, использование удобрений и пестицидов, уборку биомассы, переработку сырья в биотопливо, транспортировку сырья и биотоплива, его хранение, распределение и розничную продажу, включая воздействие заправок транспортных средств горючим и выбросы в результате его сгорания.

Теоретически, биотопливо, производимое из биомассы энергоплантаций, в своем жизненном цикле должно иметь нейтральный уровень выбросов CO₂, так как его сжигание лишь возвращает в атмосферу углерод, изъятый растениями из атмосферы в процессе роста и развития (в отличие от ископаемых видов топлива, которые высвобождают CO₂, хранившийся миллионы лет под земной поверхностью).

Преимущества биоэнергетики:

- устойчивое развитие (источник чистой и возобновляемой энергии);
- универсальность применения (энергетика, теплоснабжение, транспорт);
- в социальной сфере – диверсификация и рост экономики сельского хозяйства, развитие сельских регионов, улучшение их экологии, улучшение здоровья человека и качества жизни;
- в экологии – снижение объемов выбросов парниковых газов и других вредных веществ;

- в экономике – снижение себестоимости производимой продукции, повышение качества и конкурентоспособности товаров.

Кроме того, биоэнергетика способствует децентрализации энергообеспечения, снижает зависимость от невозобновляемых энергоносителей и тем самым повышает уровень национальной безопасности для стран с ограниченными ресурсами природных ископаемых.

Сегодня многие страны (США, Канада, Германия, Бразилия, Индия и др.), даже обладающие значительными запасами традиционных видов энергоресурсов, уже достигли существенного технического прогресса в производстве биотоплива из биомассы и продолжают активно развивать это направление (рис. 3.1, 3.2).

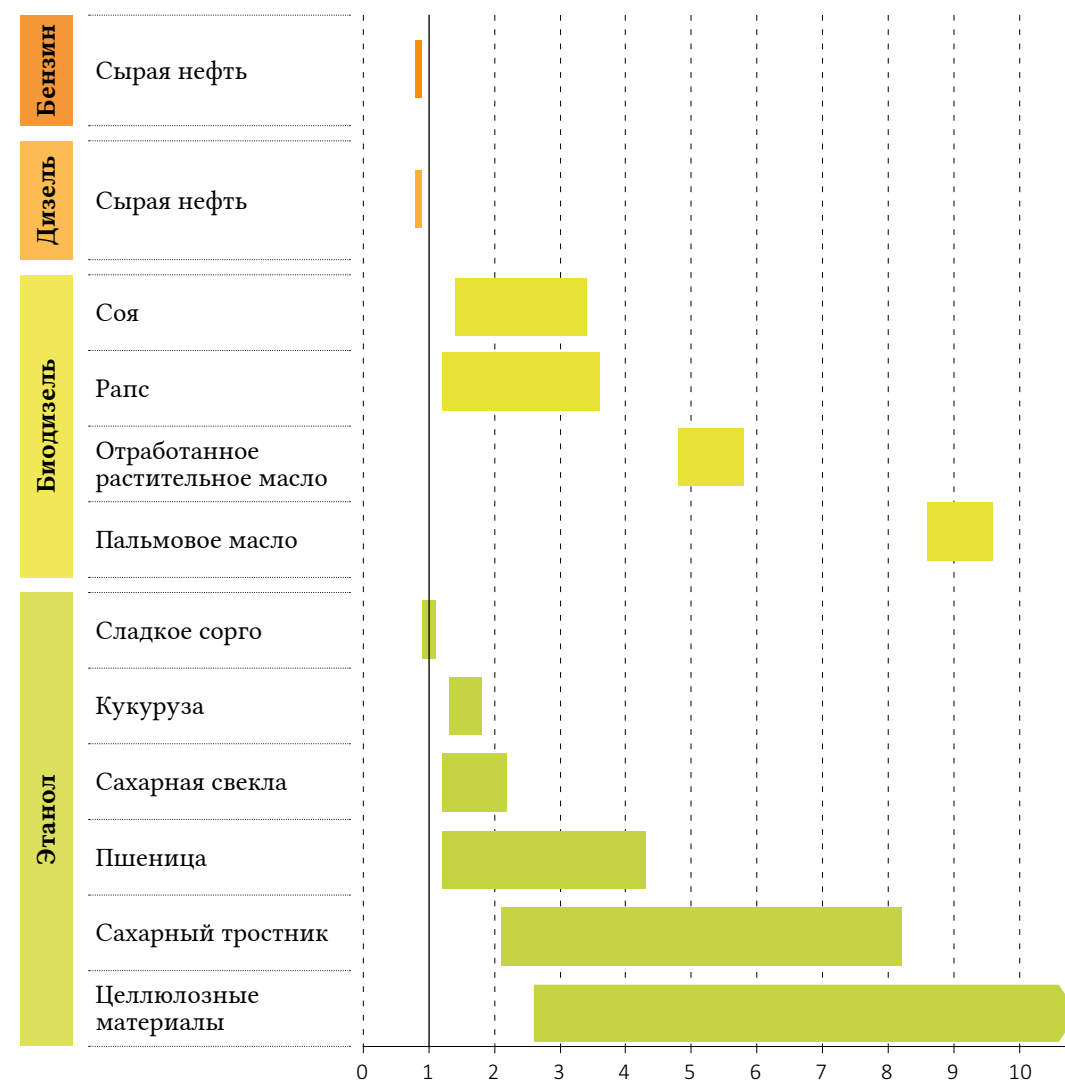


Рис. 3.1. Коэффициенты энергетического баланса (энергетическая эффективность) по отдельным видам топлива относительно сырой нефти [Diouf, 2008].

В качестве энергокультур на указанных плантациях используются разные виды растений (ива, тополь, ольха, сосна, мискантус, сахарный тростник, сахарная свекла, тритикале, рапс, соя, подсолнечник, картофель, люпин, кукуруза и др.).

Сравнение ряда растений по выходу с гектара чистой энергии (энергия биомассы минус энергия, затраченная на ее выращивание) показало, что наиболее выгодными для этих целей являются мискантус, ива, тритикале, кукуруза, люпин, которые по данному показателю значительно превосходят подсолнечник, рапс, лен, картофель.

По удельной теплоте сгорания (МДж/кг) биомасса мискантуса (17,2), ивы (16,1), тритикале (14,3), узколистной люпина (15,8) превосходит таковую торфа (8,1), дров (10,2), приближаясь к каменному углю (22,0) [Шпаар, 2006; Ильина, 2008; Купцов, 2008; Гелетуха, 2015].

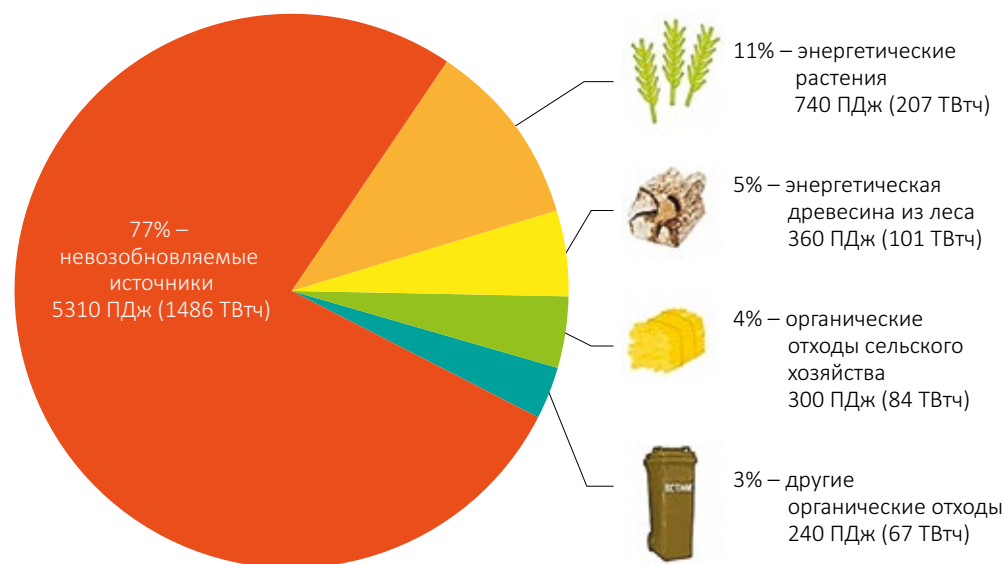


Рис. 3.2. Распределение источников производства энергии и потенциала биомассы в Германии [Биоэнергия, 2012].

На современном этапе развития этого нетрадиционного вида производства биомассы наиболее распространенным и выгодным, как с экономической, так и с экологической точек зрения, является использование в сельскохозяйственном лесоводстве энергоплантаций быстрорастущих древесно-кустарниковых культур. В настоящее время выделяется около 20 видов быстрорастущих растений, которые можно выращивать на сельскохозяйственных угодьях для получения биомассы в качестве сырья для биоэнергетики. К такому типу растений отнесены следующие: ива (*Salix spp.*), тополь (*Populus spp.*), осина (*Populus tremula L.*), сосна конторта (*Pinus contorta Douglas ex Loudon*), ольха (*Alnus spp.*), береза (*Betula spp.*), (псевдо)акация (*Robinia spp.*), эвкалипт (*Eucalyptus spp.*), бамбук (*Bambusa spp.*) и другие [Bassam, 2003; Шпаар, 2006].

В западной литературе существует специальный термин для энергоплантаций быстрорастущих культур – SCR (short rotation coppice), который можно перевести как «плантации с коротким оборотом (циклом)». Плантации быстрорастущих растений, в отличие от обычных (традиционных) насаждений, убирающихся на биомассу через 15–20 лет (и более), обеспечивают максимально эффективный выход биотоплива на 3–4 года с начала их закладки и в дальнейшем эксплуатируются в течение 20–25 лет. Оборота рубки спелой древесины (сбор урожая биомассы) – 1–3 года [Шпаар, 2006; Родькин, 2011, 2013].

Возделывание быстрорастущих древесных насаждений позволяет получать древесину, которая используется как возобновляемый источник энергии, что обеспечивает «нейтральность» по отношению к выбросам CO₂. Такие энергоплантации успешно возделываются на малопродуктивных почвах различного механического состава, в том числе и на

сработанных торфяниках, а также для восстановления нарушенных земель. Энергоплантации обладают высоким природоохранным потенциалом, сохраняя биоразнообразие, защищая почву от водной и ветровой эрозий, способствуя снегозадержанию и др. Кроме того, деревья не требуют такого количества пестицидов для успешного культивирования, как традиционные сельскохозяйственные культуры (рапс, кукуруза, пшеница и др.). Многолетние древесные культуры имеют хорошо развитую корневую систему, глубоко проникающую в почву, эффективно используют воду и питательные вещества. Отсутствие необходимости постоянной обработки почвы энергоплантации способствует улучшению ее плодородия и накоплению гумуса. Следует подчеркнуть, что при производстве биосырья на возобновляемой основе и его использования выбросы CO₂ не учитываются как квоты в соответствии с требованиями Киотского протокола [Громова, 2011].

В качестве примера рассмотрим энергоплантации ивы, которые подробно описаны в работах [Шпаар, 2006; Клочков, 2009; Родькин, 2011, 2013; Цыганов, 2012]. Так, урожай сухой биомассы ивовой плантации – 10–12 тонн с 1 га, что эквивалентно 7–9 тонн каменного угля. После каждой вырубki (оборота) деревьев (кустов) образуется новая поросль (фото 3.3).

В среднем однократно заложённая плантация может быть использована для получения 5–7 урожаев древесины без значительного снижения продуктивности.

Результаты проведенных в странах ЕС исследований по оценке себестоимости биотоплива, полученного на основе ряда энергокультур, выявили явное преимущество по данному показателю «короткоцикловых энергоплантаций», и особенно ивовых (фото 3.4) – 4–5 евро за 1 ГДж. Энергоплантации на основе ивы ежегодно удобряют в расчете 100–300 кг/га д.в. NPK с преобладанием азота. Проектная жизнь ивовой энергоплантации с момента закладки составляет 25–30 лет [Шпаар, 2006; Родькин, 2013].



Фото 3.3. Уборка ивы на энергоплантации.



Фото 3.4. Энергоплантация ивы корзиночной после уборки с использованием пресс-подборщика фирмы Biobaler (Канада).

Создание энергоплантаций быстрорастущих древесно-кустарниковых пород в Беларуси предусматривалось Национальной программой развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 годы.

Большой практический опыт выращивания древесных пород на таких плантациях имеется в Швеции (>16000 га) и Великобритании (~13000 га, Германии (~1700 га), проводятся соответствующие опыты и в Австрии [Шпаар, 2006; Родькин, 2011].

Целенаправленная селекция быстрорастущих клонов ивы, дающих высокий урожай древесины и выход энергии, была реализована в рамках программ, инициированных в Швеции (1987 г.) и Великобритании (1996 г.). Высокопродуктивные сорта, предлагаемые для создания промышленных плантаций, получены в основном у трех видов ивы: корзиночной (*Salix viminalis*), Шверина (*Salix schwerinii*), шерстистопобеговой (*Salix dasyclados*), относящихся к группе евроазиатских бореальных географических элементов флоры. В условиях Балкан Сербским институтом лесоводства и охраны окружающей среды совместно с Нови-Садским университетом выявлен высокий потенциал продуктивности у ивы белой, на основе которой создано большинство культурных клонов. Ряд перспективных клонов ивы белой был передан сербской стороной в Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова (МГЭУ) для их всестороннего изучения в условиях Беларуси. По результатам сортоиспытания три сорта ивы белой (Волмянка, Бачка, Дрина) включены в Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород Республики Беларусь с 2013 года [Родькин, 2013].

Мировой опыт показал, что конкурентоспособность производства древесины на плантациях короткого оборота зависит от развития цен на ископаемые носители энергии, так как теплоэлектростанции, использующие древесину в качестве топлива, должны конкурировать с теми, которые работают на газе, нефти или угле.

Культурные сорта ивы предпочтительно выращивать на структурных легких и среднесуглинистых или супесчаных почвах. На тяжелых почвах возрастает риск подтопления, а на легких возможна гибель растений вследствие засухи. Риск засухи особенно актуален из-за изменения климата в Беларуси за последние годы. Возрастает температура и неуклонно уменьшается среднее количество выпадающих осадков. Почва должна быть достаточно плодородной. На качество почвы и на ее обеспеченность питательными веществами ива реагирует достаточно сильно, что сказывается прежде всего на ее росте. Ива любит хорошо дренированные почвы с хорошей аэрацией и не переносит застойной воды [Клочков, 2009; Родькин, 2011, 2013; Цыганов, 2012].

Чаще всего для закладки плантаций по выращиванию быстрорастущих древесных пород на топливо отводят непригодные для сельскохозяйственного использования и малопригодные для выращивания высокопродуктивных лесных насаждений участки. При подборе участка для плантаций при прочих равных условиях необходимо стремиться, чтобы они находились вблизи транспортных путей и имели хорошие подъезды, что необходимо для удобной и экономичной транспортировки орудий, механизмов и рабочей силы, подвозки удобрений, химикатов и других материалов, а также вывоза готовой продукции.

Для максимальной оптимизации работ по размещению отдельных видов, форм и клонов ивы, механизированному уходу за насаждениями, подвозу удобрений, учету урожая и транспортировке готовой продукции целесообразно разделение плантации на кварталы соподчиненной дорожной сетью. Величина и форма кварталов зависят от размера и конфигурации участка. Эффективная работа механизмов может быть обеспечена на достаточно больших по площади участках с линейными очертаниями, позволяющих деление полей (кварталов) протяженностью не менее 200 м [Клочков, 2009; Родькин, 2011, 2013; Цыганов, 2012].

Для временного хранения заготовленной продукции, заготовки компоста, временной прикопки черенков и прутьев должны быть предусмотрены специальные технологические площадки. Участок не должен иметь замкнутых понижений во избежание застаивания весенних, осенних и ливневых вод. Под культуру ивы можно с успехом использовать и торфянистые почвы, но только после предварительной осушки и достаточной минерализации торфа. Деградивировавшие торфяные почвы и выработанные торфяники со слабой степенью разложения торфа и низким плодородием могут использоваться только после предварительной подготовки. Под плантацию следует выбирать участок ровной поверхности, без западин и углублений, в которых может застаиваться вода, лучше всего с уклоном до 5 градусов. Почва участка должна быть относительно рыхлой и водопроницаемой, не сильно оподзоленной и незасоленной. Хороший рост культурных ив наблюдается на относительно кислых почвах (рН 5–6). Почвы с кислотностью рН<5 необходимо предварительно известковать. Для закладки промышленных плантаций, в том числе по производству древесины и древесной массы, наиболее экономически целесообразно выбирать участки площадью не менее 30 га, т. к. такой размер позволяет эффективно использовать технику и получать прибыль. Следует отметить, что густота посадки (количество черенков на гектар) не является стабильным показателем и во многом зависит от схемы посадки. Традиционно за рубежом ива на биотопливо высаживается ленточным способом с расстоянием между лентами 150 см, между рядками в ленте – 75 см и между растениями – 60 см. Таким образом, густота посадки составляет около 15 тысяч черенков на гектар. Такая схема во многом обусловлена сложившимися в стране технологиями. Например, картофель и другие пропашные культуры в Северной Америке и странах ЕС высаживаются с расстоянием между рядами 150 см. Под такое расстояние и настраивается сельскохозяйственная техника. Тем не менее, по сложившейся еще во времена СССР традиции, в Беларуси, так же как и в России, междурядное расстояние составляет 140 см. Такая схема посадки обуславливает несколько большее количество черенков на гектар (до 18 000). Важное значение для расчетов имеет стоимость посадочного материала. Стоимость оригинального черенка ивы шведской селекции составляет около 0,1 цента. В настоящее время в нашей стране внедрены собственные сорта сербско-белорусской селекции, что позволяет ориентироваться на стоимость черенка не более 0,05 цента США [Родькин, 2011, 2013].

По сведениям зарубежных исследователей, однократно заложенная плантация ивы позволяет получать не менее 7 урожаев без существенного снижения продуктивности. Как упоминалось выше, средний срок промышленной эксплуатации такой плантации 20–25 лет.

Разработаны две технологии возделывания ивы: традиционная и раздельная. При традиционной технологии биомасса убирается прямым комбайнированием (например, комбайнами типа CLAAS, JAGUAR) с одновременным измельчением и дальнейшей доработкой. Недостатком является необходимость дополнительной сушки биомассы для снижения ее влажности, для чего требуются дополнительные ресурсы и соответственно финансы. При раздельной уборке биомасса срезается и убирается специальным прессом в тюки с последующей сушкой в полевых (естественных) условиях, доработкой и измельчением.

Другой пример, энергоплантации на основе мискантуса (фото 3.5), которые у нас также широко используются [Bassam, 2003; Шпаар, 2006; Купцов, 2008; Клочков, 2009; Caslin, 2011; Цыганов, 2012]. Обычно они начинают эксплуатироваться с 3-го года жизни и ежегодно на протяжении 15–20 лет обеспечивают урожай сухой биомассы 10–14 т/га, что эквивалентно 8–11 тоннам каменного угля. Энергоплантации мискантуса первые 3–4 года удобряются в расчете 100–200 NPK по д. в. с преобладанием азота. В последующие годы нормы внесения удобрений уменьшаются.



Фото 3.5. Энергоплантация мискантуса (Kellogg Biological Station of Michigan State University, USA).

Следует подчеркнуть, что мискантус, например, в сравнении с пшеницей, требует в 2,3 раза меньше энергозатрат (табл. 3.1).

В настоящее время развиваются и энергоплантации на основе топинамбура, показавшие свою экономическую эффективность [Рейнгатт, 2008], в частности, при использовании урожая биомассы для производства биотоплива (этанола, табл. 3.2).

Энергоплантации топинамбура ежегодно удобряются NPK по д.в. с преобладанием азота и могут эксплуатироваться в течение 3–5 лет.

Таблица 3.1. Сравнение различных культур по потреблению и выходу энергии*

Культура	Потребление энергии, МДж/га	Выход энергии, МДж/га	Показатель эффективности
Мискантус**	9 224	300 000	+ 32,53
Ива	6 003	180 000	+ 29,99
Тростник	13 298	112 500	+ 8,46
Пшеница	21 465	189 338	+ 8,82
Рапс	19 390	72 000	+ 3,76

* По данным английской фирмы BICAL, выращивающей мискантус и производящей из него топливные гранулы.
** При условии средней урожайности 15 т/га и стоимости урожая 49 евро/т.

Имеют перспективы энергоплантации на основе тритикале и люпина, которые по урожайности и сбору биоэнергии с гектара приближаются к таковым на основе мискантуса, но высеваются и убираются ежегодно. Под энергоплантации на базе тритикале вносятся удобрения NPK в количестве 250–300 кг/га по д.в. с преобладанием азота. Под плантации люпина вносятся только фосфорно-калийные удобрения в расчете 150–200 кг/га по д.в. Дорогостоящие азотные удобрения не вносятся, т. к. люпин обеспечивает себя азотом, усваивая его из воздуха [Шпаар, 2006; Купцов, 2006; 2008].

Изложенное выше свидетельствует о том, что энергоплантации будут играть существенную и долгосрочную роль в сокращении глобальных выбросов CO₂.

Научная общественность рассматривает энергоплантации как самый энергоэффективный способ редукции углекислого газа и наиболее дешевый биоисточник энергии, особенно при использовании в качестве энергокультуры азотфиксирующих видов растений и их

Таблица 3.2. Выход этанола с 1 га посадок топинамбура в сравнении с другими культурами [Рейнгатт, 2008].

Культура	Урожайность, ц/га	Выход спирта	
		%	литры
Зерновые (пшеница, ячмень)	40	30	1200
	50	30	1500
	60	30	1800
Картофель (клубни)	300	8	2400
	350	8	2800
	400	8	3200
Топинамбур (клубни)	300	10	3000
	400	10	4000
	500	10	5000
Топинамбур (стебли)	400	5	2000
	500	5	2500
	600	5	3000

выращивании по «беспахотной» технологии, в т. ч. в системе экологического земледелия.

В странах, имеющих выход к морю, особенно с теплым климатом, эффективно эксплуатируются энергоплантации водорослей – альгаэнергоплантации (альгакультура).

В ближайшие 30–40 лет Международными экспертами прогнозируется бурное развитие биоэнергетики на основе культур водорослей (акваэнергоплантации, фотобиореакторы) [Шпаар, 2006; Oncel, 2013; Sasongko, 2015]. Дело в том, что отсутствие у водорослей твердой оболочки и практически лигнина, технологически делает их переработку в жидкие топлива более простой и эффективной, чем переработку биомассы из любого наземного сырья. Существуют водоросли, способные удваивать свою массу несколько раз в день (растущие по экспоненте). Кроме того, у некоторых видов водорослей количество триглицеридов (основы растительного масла) составляют >50 % их массы. Это указывает на то, что ни одно из существующих наземных растений не в состоянии конкурировать с водорослями по интенсивности фотосинтеза, лежащего в основе урожайности, а также по содержанию масел в биомассе и энергетической ценности урожая.

Водоросли для получения биомассы культивируют в емкостях, в специальных бассейнах или системах прозрачных труб с пресной и/или морской водой (фото 3.6).



Фото 3.6. Общий вид системы альгаэнергоплантации (открытых прудов) с использованием культивируемых в них водорослей.

Примечательно, что водоросли в производстве биоэнергии превращают углекислый газ из проблемы в фактор прибыли. Производство биотоплива из водорослей настолько многообещающе, что во многих странах (Германии, Финляндии, Канаде, США, Японии и др.) лавинообразно растет количество компаний и организаций, занимающихся переработкой водорослей в энергоносители, например в фотобиореакторах (фото 3.7).



Фото 3.7. Фотобиореактор на водорослях из стеклянных прозрачных труб.

Таим образом, преимущества использования водорослей для получения биоэнергии очевидны. В самом деле, по продуктивности водоросли намного превосходят традиционные полевые и лесные культуры. Например, годовой объем синтезируемого в фотобиореакторе масла составляет в пересчете на один гектар не менее 15000 литров, что в 10 раз больше, чем у рапса. Сравнение потенциалов урожайности масла из энергокультур дает следующий ряд: урожайность масла кукурузы равна 172 л/га/год, масличной пальмы – 5950 л/га/год, а «энерго»-водорослей – до 95000 л/га/год (при выращивании их в открытых водоемах) [Sasongko, 2015]. Водоросли не нуждаются в плодородных почвах, их можно культивировать на многоуровневых закрытых системах (резервуарах с рециркуляцией с искусственным или естественным освещением), занимающих при той же продуктивности значительно меньшую площадь (их можно размещать и в пустыне). Необходимо особо подчеркнуть, что при получении биотоплива на альгаплантациях углекислый газ следует рассматривать не как выбрасываемый «вредный» парниковый газ, а как питательный элемент, потребляемый для производства биомассы. Поэтому фотобиореакторы из водорослей встраиваются как потребители выделяемого CO₂ в системы предприятий (нефтехимические производства, ТЭЦ, цементные заводы и др., работающие на невозобновляемых ресурсах), что заметно снижает экологические нагрузки.

Глава 4

Типы биотоплива

Традиционная биомасса (топливная древесина, древесный уголь, хворост, навоз и др.) продолжают оставаться важным источником биоэнергии во многих регионах мира [Грачев, 2008; Рейнгарт, 2008; Sikkema, 2011; Kloos, 2013]. Биомасса различных видов энергорастений обладает высокой удельной теплотой сгорания, приближающейся к таковой угля (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Показатели сжигания различных видов биомассы*

Вид биомассы	Удельная теплота сгорания, МДж/кг	Содержание золы, %
Мискантус	17,6	3,9
Древесина тополя	18,5	1,8
Древесина ивы	18,4	2,0
Древесина ели	18,8	0,6
Солома ржи	17,4	4,8
Солома пшеницы	17,2	5,7
Солома тритикале	17,1	5,9
Солома ячменя	17,5	4,8
Солома рапса	17,1	6,2
Каменный уголь (для сравнения)	20,6	5,1

* https://en.wikipedia.org/wiki/Pellet_fuel

В настоящее время современные и эффективные технологии конверсии позволяют производить из биомассы растений качественное биотопливо трех типов, различающихся между собой по фазовому составу (табл. 4.2):

- твердое – топливные гранулы, брикеты, щепа;
- жидкое – этанол, дизельное топливо, BtL-топливо (БтЛ), бионефть и др.;
- газообразное – биогаз, биометан, генераторный газ и др.

Самые важные и наиболее распространенные разновидности твердого биотоплива – дрова и пеллеты, жидкого биотоплива – биоэтанол и биодизель, газообразного – биогаз и биометан [Шпаар, 2006; Ильина, 2008; Клочков, 2009; Гелетуа и др., 2015].

Биотопливо представляет собой энергоноситель, который содержит энергию, полученную из биомассы. Биотопливо является возобновляемым источником энергии, так как оно представляет собой одну из форм преобразованной солнечной энергии. Биотопливо подразделяется на первичное (необработанное) и вторичное (обработанное). Первичное биотопливо представляет собой органический материал, который используется в своей природной форме (древесина, щепа, гранулы, брикеты). Вторичное биотопливо – это биоэтанол, биодизель, биогаз, биометан и другие виды, которые получены в результате промышленной обработки биомассы растений.

Жидкое биотопливо, получаемое на основе сахаро- и крахмалистых культур (этанол) и масличных (биодизель), называют «биотопливо первого поколения», а таковое, производимое из лигноцеллюлозной биомассы – «биотопливо второго поколения».

Поэтому разработки технологий получения (биохимических, термохимических и др.) биотоплива второго поколения являются самыми перспективными. Прогнозы экспертов показывают, что сырье и биотопливо второго поколения смогут резко сократить выбросы парниковых газов, связанные с жизненным циклом как ископаемого невозобновляемого

топлива, так и биотоплива первого поколения. Сегодня в мире имеется лишь несколько экспериментальных установок превращения биомассы растений в биотопливо второго поколения. Специальные энергетические культуры (ива, тополь, ольха, мискантус и др.) весьма перспективны в качестве источника биомассы для технологии производства биотоплива второго поколения. По сравнению с традиционными сахаро-, крахмалистыми и масличными культурами они способны производить больше биомассы на гектар земли, так как в качестве сырья для переработки в биотопливо используется все растение, а не отдельные его органы.

Таблица 4.2. Сравнительные характеристики различных видов топлива [Биоэнергия, 2012].

Вид топлива	Плотность, кг/л	Удельная теплота сгорания		Вязкость при 20 °С, мм²/с	Цетановое число	Октановое число	Температура возгорания (°С)	Эквивалент топлива (л)
		МДж/кг	МДж/л					
Бензин	0,74	43,90	32,48	0,6	—	92	< 21	1
Рапсовое масло	0,92	37,60	34,59	74,0	40	—	317	0,96
Дизельное топливо	0,83	43,10	38,87	5,0	50	—	80	1
Биодизель	0,88	37,10	32,65	7,5	56	—	120	0,91
Биоэтанол	0,79	26,70	21,06	1,5	8	> 100	< 21	0,65
Биометанол	0,79	19,70	15,56	—	3	> 110	—	0,48
БтЛ (BtL)*	0,76	43,90	33,45	4,0	> 70	—	88	0,97
Биометан	0,72***	50,00	36,00**	—	—	130	—	1,4****
Водород GH ₂	0,016	120,00	1,92	—	—	< 88	—	2,8

* Показания по Фишеру-Тропшу;

** МДж/м³;

*** Биометан в кг;

**** (кг/м³).

4.1. Твердые биотоплива

Топливные гранулы (пеллеты) – биотопливо, получаемое в настоящее время преимущественно из биомассы энергокультур. Топливные пеллеты имеют форму цилиндрических или сферических гранул диаметром 8–23 мм и длиной 10–30 мм. Впервые в мире производство топливных гранул началось в 1947 году. Сырьем для производства гранул могут быть также торф, некачественная древесина и древесные отходы: кора, опилки, щепа и иные отходы лесозаготовки, сельского хозяйства: пожнивные остатки кукурузы, солома, шелуха крупяного производства, лузга подсолнечника, куриный помет и т. д. [Шпаар, 2006; Родькин, 2011; Goh, 2013; Мельниченко, 2014].

Биомасса энергокультур и другое сырье (опилки, кора и т.д.) поступают в дробилку, где измельчаются до состояния муки. Полученная масса поступает в сушилку, а из нее в пресс-гранулятор, где муку сжимают в гранулы (фото 4.1). Сжатие во время прессовки повышает температуру материала, в результате чего лигнин, содержащийся в биомассе, размягчается и склеивает частицы в плотные цилиндрики. На производство тонны гранул уходит 2,3–2,6 м³ растительной биомассы, плюс еще 0,6 м³ ее сжигается на каждую тонну произведенной продукции для энергообеспечения самого производства. Готовые гранулы охлаждают, пакуют в различную упаковку: от небольших пакетов (2–20 кг) до большой промышленной упаковки («биг-бэг» весом ≤ 1 т) или доставляют потребителю россыпью.

В ряде стран выпускаются торрефицированные пеллеты. При торрефикации твердая биомасса обжигается без доступа кислорода при 200–330 °С. Торрефицированные, или биоугольные (черные), пеллеты обладают рядом достоинств по сравнению с обычными, иначе называемыми белыми: отталкивают влагу, хранятся под открытым небом (не требуют крытых хранилищ) не гниют, не плесневеют, не разбухают и не рассыпаются; имеют лучшие показатели сжигания (близкие к углю; отсюда и название – биоуголь).

Топливные гранулы – экологически чистое топливо с содержанием золы, ≤ 3 %. Они не вызывают аллергическую реакцию у людей (т.к. не содержат пыли и спор) и отличаются от обычной древесины сухостью (влажность ~ 8–12 %, а влажность сырых дров ~ 30–50 %) и в 1,5 раза большей плотностью, чем дрова. Гранулы менее подвержены самовоспламенению. Эти качества обеспечивают их высокую удельную теплоту сгорания (14,5–17,8 МДж/кг) по сравнению со щепой (6...11 МДж/кг) или дровами (до 10,2 МДж/кг). Для эффективного использования топливных гранул требуется специальный вид печи: пеллетный котел.



Фото 4.1. Агрегат для производства топливных пеллет фирмы Murska Biopellet (Финляндия) производительностью 0,5–2 т/ч энерго-пеллет и внешний вид пеллет из разных видов биомассы.

Одно из важнейших преимуществ гранул – высокая и постоянная насыпная плотность, позволяющая относительно легко транспортировать этот сыпучий продукт на большие расстояния. Гранулы благодаря правильной форме, небольшому размеру и однородной консистенции легко пересыпаются через специальные рукава, что позволяет автоматизировать процессы погрузки-разгрузки и сжигания этого вида топлива. В структуре расходов в процессе производства гранул из растительного сырья наиболее затратными являются сырье (22–26 %) и сушка (электроэнергия и др. 18–21 %). Заработная плата, погрузочно-разгрузочные работы и амортизация занимают ~11 %. Рентабельность составляет около 27 %.

В разных странах приняты различные стандарты производства топливных гранул. В США действует Standard Regulations & Standards for Pellets in the US: The PFI (pellet). Стандартом разрешено производство гранул двух сортов: «Премиум» и «Стандарт». «Премиум» должен содержать не более 1 % золы, а «Стандарт» не более 3 %. «Премиум» может применяться для отопления любых зданий. На сорт «Премиум» приходится около 95 % производства гранул в США. Стандарты определяют также плотность, размеры гранул,

влажность, содержание пыли и других веществ. Например, в Германии на топливные гранулы принят стандарт DIN 51731: длина – не более 5 см, диаметр – от 4 до 10 мм. Влажность не более 12 %, содержание пыли – не более 0,5 % и т.д. Гранулы высокого качества (белые и серые) используют для отопления жилых домов путем сжигания в pelletных котлах, печах и каминах. Они, как правило, бывают диаметром 6-8 мм и длиной менее 50 мм, в Европе их часто продают в мешках по 15–20 кг.

Спрос на пеллеты, оборудование для их сжигания и производства растет пропорционально ценам на такие традиционные виды топлива, как нефть и газ. Во многих странах Европы, где рынок альтернативных источников энергии наиболее развит, гранулами отапливается до 2/3 жилых помещений. Такое широкое распространение объясняется экологичностью этого вида топлива – при сгорании выбросы CO_2 равны поглощению этого газа во время роста растения, а выбросы NO_2 и летучих органических компонентов значительно снижены благодаря использованию современных технологий сжигания.

Темные гранулы с большим содержанием коры сжигают в котлах большей мощности с целью получения тепла и электроэнергии для населенных пунктов и промышленных предприятий. Темные гранулы могут быть большего диаметра. Их продают навалом партиями от двух-трех тысяч тонн и более.

В конце 2013 года мировой объем потребления пеллет составлял около 22,5 млн. тонн. Крупнейшие производители пеллет: Германия, Австрия, Швеция, Финляндия, Канада, США, Китай, Россия [Cocchi, 2011; Goh, 2013].

Необходимо отметить, что в 2010 году Университет Вагенингена (Wageningen, Нидерланды) представил результаты исследований в области биотоплива. Согласно им, в Европе в ближайшие 25 лет спрос на топливные гранулы увеличится до 200 млн. тонн в год. В Австрии к 2020 году ежегодный объем производства пеллет составит более 2 млн. тонн. Китай к 2020-му намеревается производить 50 млн. тонн гранул ежегодно [Goh, 2013]. В 2012-м ООО «Группа компаний «Русский биоуголь» объявила о программе строительства 52 заводов в России суммарной мощностью до 10 млн.тонн топливных гранул в год, в частности, 9 заводов торрефицированных пеллет компания собирается построить в Подмосковье.

Топливные брикеты – прессованные изделия из биомассы энергоплантаций быстрорастущих пород растений (мискантуса, тополя, эвкалипта и др.), а также из отходов (опилок, щепы, коры, тонкомерной и некондиционной древесины, порубочных остатков при лесозаготовках), соломы, отходов сельского хозяйства (лузги подсолнечника, ореховой скорлупы, навоза, куриного помета), торфа и другой биомассы. Брикеты используют в качестве твердого топлива в котельных, печах, каминах, грилях. Удельная теплота сгорания брикетов ~19,2–20,5 МДж/кг [Шпаар, 2006; Ключков, 2009; Родькин 2011].

В основе технологии производства топливных брикетов лежит процесс прессования биомассы под высоким давлением (при нагревании или без него). Основное оборудование для производства топливных брикетов – это ударный пресс для брикетов. Получаемые топливные брикеты не включают в себя никаких связующих веществ, кроме одного натурального – лигнина, содержащегося в сырье. Температура, присутствующая при прессовании, способствует оплавлению поверхности брикетов, которая благодаря этому становится более прочной, что немаловажно для транспортировки брикета.

Одним из наиболее популярных методов получения топливных брикетов является экструзия с использованием специальных экструдеров (фото 4.2), создающих удельное давление до 500 МПа. Брикеты экструзии получили наименование – БРЭКС (брикет экструзионный). Производительность разных брикетных прессов до 80 т/ч в зависимости от габаритов пресса, плотности материала и пр.



Фото 4.2. Экструдер шнековый EB-350-50M с сушильным комплексом фирмы «Пини-Кей» (Австрия) и его продукция – брикеты.

Различают 3 основных типа брикетов: прямоугольные (они же RUF-брикеты, по форме – небольшой кирпич, изготавливаются на гидравлических прессах при давлении 30–40 МПа), цилиндрические брикеты (с радиальным отверстием или без него, изготавливаются на гидравлических или ударно-механических прессах при давлении 40–60 МПа) и 4- или 6-гранные брикеты с радиальным отверстием, изготавливаются посредством сочетания высокого давления (100–110 МПа) и термической обработки на механических (шнековых) прессах, например брикеты фирмы «Пини-Кей» (Pini-Kay, Австрия), имеющие черный или темно-коричневый цвет поверхности. Их достоинства: стойкость к механическим повреждениям, высокая влагостойкость и др.

Топливные брикеты – экологически чистое топливо, обладающее высокой калорийностью и длительным временем горения (табл.4.3).

Таблица 4.3. Технические характеристики брикетов экструдера EB-350-50M*

Параметр	Значение
Плотность брикетов, т/м ³	1,0–1,2
Теплотворность, МДж/кг	19,2–20,5
Зольность брикетов, %	0,5–1,5

* <http://www.ekko.com.ua/index.php?do=static&page=Extruder%20EV%20350-50>

Древесная щепа производится путем измельчения древесины энергоплантаций или порубочных остатков при лесозаготовках непосредственно на лесосеке или отходов деревообработки на производстве с помощью мобильных рубительных машин или стационарных рубительных машин (шредеров) различной мощности и производительностью от 10 до 120 м³/ч (фото 4.3). Удельная теплота сгорания щепы варьирует в пределах ~6–11 МДж/кг. В Европе щепу в основном сжигают на крупных теплоэлектростанциях мощностью от одного до нескольких десятков мегаватт.

Древесная щепа (фото 4.3) – удобный вид топлива для любой местности. Уступая в объемной теплотворности древесным пеллетам, щепа выигрывает в стоимости и в условиях хранения. Она обладает способностью самостоятельно высыхать в короткий срок. Главным условием хранения щепы является наличие крыши над складом и достаточная естественная вентиляция. Свежая щепа, полученная на шредерах, имеет влажность 50 % и более.

Щепа, помещенная под навес, при естественной вентиляции уже через 2 месяца приобретает влажность около 30 % и становится пригодной для сжигания. В дальнейшем при



Фото 4.3. Древесная щепа и агрегаты по ее производству.

тех же условиях хранения происходит высыхание щепы до 15–20 % влажности, и она может храниться годами.

Дрова – древнейшее топливо, используемое человечеством. В настоящее время во многих странах мира для производства дров используют энергоплантации, состоящие из быстрорастущих пород (бамбука, тополя, эвкалипта и др.). В России на дрова в основном идет древесина, не подходящая по качеству для производства пиломатериалов. Удельная теплота сгорания дров ~10,2 МДж/кг.

4.2. Жидкие биотоплива

Жидкие биотоплива, такие как биодизель, этанол и растительные масла, уже сейчас частично замещают бензин и дизельное топливо [Шпаар, 2006; Kloos, 2013]. Их производство в мире в последнее десятилетие постоянно растет (рис. 4.2.1). Кроме того, они используются вместо топочного мазута в котлах частных домов, многоквартирных жилых зданий и в когенерационных установках, которые производят электричество и тепло в муниципалитетах. Это связано с высокой энергетической плотностью жидких биотоплив и их преимуществами для транспортировки и хранения. Большая часть современной инфраструктуры налажена на потребление жидких источников энергии, поэтому при распределении указанных биотоплив могут использоваться имеющиеся доступные транспортные и складские системы. В то время как электроэнергия и тепло производятся в основном из твердого биотоплива и биогаза, которые менее конкурентоспособны в отношении мобильности.

Жидкие биотоплива вносят в процесс снижения выбросов парниковых газов решающий вклад. Так, из 53 млн. тонн бензина и дизельного топлива, потребленных в Германии в 2012 году, примерно 5,7 % (по энергосодержанию) были заменены биотопливами – главным образом «присадками». При объеме продаж жидкого биотоплива в 3,8 млн. тонн Германия занимает лидирующие позиции в рамках ЕС. Продажа биотоплива является относительно стабильной. Заметим, чтобы помочь выходу на рынок, чистые биотоплива первоначально в значительной степени освобождались от налогов. Однако с января 2013-го налоговая льгота больше не распространяется на биодизель и растительные масла как чистые топлива. Тем не менее и с учетом этого до 2020 года прогнозируется значительное увеличение использования биотоплива.

Биодизель – биотопливо на основе жирных, реже эфирных масел различных растений, а также продуктов их этерификации [Шпаар, 2006; Клочков, 2009; Цыганов, 2012; Kloos, 2015]. Используются следующие масла: в Европе – рапсовое, в США – соевое, в Канаде – канола (рапсовое), в Индонезии – пальмовое, на Филиппинах – пальмовое и кокосовое, в Индии – яatroфовое, в Африке – соевое, в Бразилии – касторовое и соевое. Также на производство биодизеля идут масла водорослей, отработанные пищевое масло и животные жиры и т.д.

В странах Евросоюза биодизель начал производиться в 1992 году. В 2008-м в США работали уже 149 заводов суммарной мощностью примерно 7,7 млрд. литров в год. В странах ЕС в 2010-м работали 245 заводов по производству биодизеля суммарной мощностью 22 млн. тонн. Мировое производство биодизеля в 2010-м достигло 19 млрд. литров (рис. 4.4).

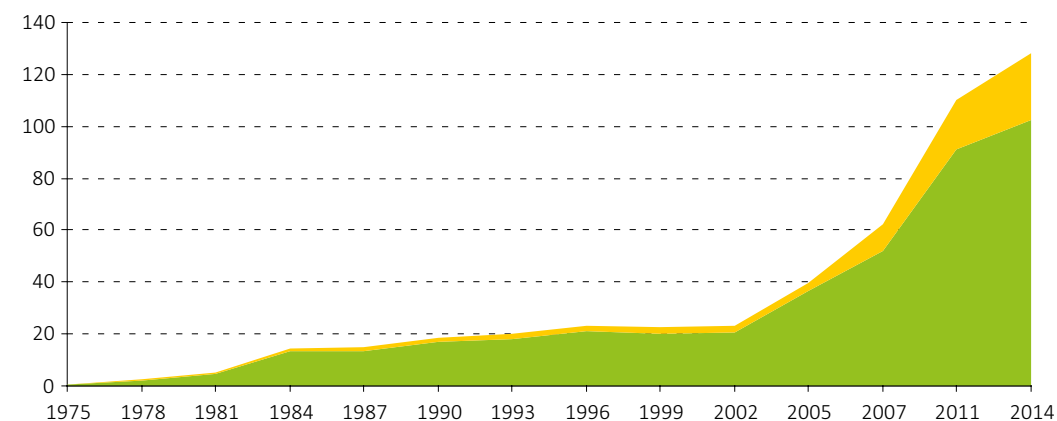


Рис. 4.4. Мировое производство в 1975-2012 годах биоэтанола и биодизеля (млрд. л) [http://www.worldwatch.org/biofuel-production-declines-1].

Сегодня биодизель занимает наибольшую долю рынка жидких биотоплив, например его потребление в Германии составляет ~65 %. На более чем 30 производствах он производится из растительных масел и жиров – в первую очередь из рапсового масла; так называемый метиловый эфир рапсового масла (RME).

В процессе производства содержащиеся в масле три жирные кислоты отделяют от глицерина в присутствии катализатора, а затем этерифицируют метанолом. Хранить биодизель более 3 месяцев не рекомендуется из-за его разложения.

Биодизель используется на автотранспорте в чистом виде и в виде различных смесей с дизельным топливом. Требования к качеству устанавливаются стандартом DIN EN 14214, который действует по всей Европе. Начиная с 2004-го, нефтяные компании смешивают до 5 % биодизеля с традиционным дизельным топливом, а с 2010 года до 7 % – отсюда и название топлива «B7». В настоящее время доля немецкого биодизеля, продаваемого в качестве добавки, составляет более 90 %.

Для получения биодизеля растительное масло переэтерифицируется метанолом, реже этанолом или изопропиловым спиртом (приблизительно в пропорции на тонну масла 200 кг метанола + гидроксид калия или натрия) при температуре 60 °C и нормальном давлении. Для получения качественного продукта необходимо выдержать ряд требований:

- после прохождения реакции переэтерификации содержание метиловых эфиров должно быть выше 96 %;
- для быстрой и полной переэтерификации метанол берется с избытком, поэтому метиловые эфиры необходимо очистить от него;
- использовать метиловые эфиры в качестве топлива для дизельной техники без предварительной очистки от продуктов омыления недопустимо. Мыло засорит фильтр и образует нагар, смолы в камере сгорания. При этом сепарации и центрифугирования недостаточно. Для очистки необходима вода или сорбент. Заключительный этап – сушка метиловых эфиров жирных кислот, ибо вода приводит к развитию микроорганизмов в биодизеле. Последние способствуют образованию свободных жирных кислот, вызывающих коррозию металлических деталей.

В настоящее время ведущими производителями биодизеля являются Германия, Франция, США, Бразилия, Аргентина, Индонезия (табл. 4.4).

Табл. 4.4. Долевое распределение мирового производства биодизеля за 2014 г.*

Страна	Объем производства биодизеля, млрд. л/год
Австралия	0,1
Аргентина	2,9
Бельгия	0,7
Бразилия	3,4
Германия	3,4
Индонезия	3,1
Испания	0,8
Канада	0,3
Китай	1,1
Колумбия	0,6
Нидерланды	0,7
Польша	0,8
США	4,7
Франция	2,1
Тайланд	1,2
Всего	25,9

* <http://www.statista.com/statistics/271472/biodiesel-production-in-selected-countries/>

В США смесь дизельного топлива с биодизелем обозначается буквой «В»; число после буквы означает процентное содержание биодизеля. В2 – 2 % биодизеля, 98 % дизельного топлива. В100 – 100 % биодизеля.

Применение смесей не требует внесения изменений в двигатель, так как топливо адаптируется под необходимые характеристики двигателя с помощью этерификации. Для сравнения приведем значения цетановых чисел: а) для минерального дизтоплива 42–45; б) для биодизеля (метиловый эфир жирных кислот) ≥ 51 .

Плотность разных видов биодизеля колеблется в диапазоне 0,86–0,90 кг/л, а, соответственно, удельная теплота сгорания биодизеля 37,1 МДж/кг (варьирует в пределах 36,2–42,5 МДж/кг).

Для биодизеля Европейской организацией стандартов разработан стандарт EN14214.

Кроме него, существуют стандарты EN590 (или EN590:2000) и DIN 51606. Первый описывает физические свойства всех видов дизельного топлива, реализуемого в ЕС, Исландии, Норвегии и Швейцарии. Этот стандарт допускает содержание 5 % биодизеля в минеральном дизеле; в некоторых странах (например, во Франции) все дизтопливо содержит 5 % биодизеля. DIN 51606 – германский стандарт, разработанный с учетом совместимости с двигателями почти всех ведущих автопроизводителей, поэтому он является самым строгим.

Большинство видов биодизеля, производимых для коммерческих целей на Западе, соответствует ему или даже превосходит.

При сгорании биодизеля выделяется ровно такое же количество углекислого газа, которое было потреблено из атмосферы растением, являющимся исходным сырьем для производства масла, т.е. он нейтрален по отношению к выбросам в атмосферу CO_2 .

Биодизель, в сравнении с обычным дизельным топливом, почти не содержит серы, что хорошо с точки зрения экологии.

Точка воспламенения для биодизеля превышает 100 °С, что позволяет назвать биотопливо относительно безопасным веществом.

Так, биодизель, как показали опыты, при попадании в воду не причиняет вреда растениям и животным, т.к. он подвергается практически полному биологическому распаду в почве и воде. Микроорганизмы за 28 дней перерабатывают 99 % биодизеля.

Следовательно, исходя из сказанного выше, можно прийти к заключению минимизации возможных загрязнений биодизелем рек и озер.

Необходимо отметить, что побочным продуктом производства биодизеля является глицерин, который имеет широкое применение в промышленности. Очищенный глицерин используют для производства технических моющих средств (например, мыла).

После глубокой очистки получают фармакологический глицерин, тонна которого на рынке стоит порядка тысячи евро.

При добавлении фосфорной кислоты к глицерину можно получить фосфорные удобрения.

Напомним еще раз и о недостатках биодизеля:

- во-первых, он долго не хранится – около 3 месяцев;
- во-вторых, в холодное время года необходимо подогревать топливо, идущее из топливного бака в топливный насос, или применять смеси 20 % биодизеля и 80 % солярки марки В20.

Еще одним источником «чистого» биотоплива являются растительные масла [Шпаар, 2006; Клочков, 2009; Эденхофер, 2011; Цыганов, 2012; Kloos, 2015]. Удельная теплота сгорания растительных масел варьируется ~ 37–41 МДж/кг (табл. 4.5).

В основном в сельском и лесном хозяйстве этот вариант топлива используется в модифицированных двигателях. В то время как в случае биодизеля топливо адаптируется под необходимые характеристики двигателя с помощью этерификации, в случае использования растительного масла в качестве топлива необходимо адаптировать сам двигатель. Соответствующие дистрибьюторы предлагают специальное оборудование для ис-

Таблица 4.5. Характеристика растительных масел [Биоэнергия, 2012].

Растительное масло	Плотность (15 °С) кг/л	Удельная теплота сгорания, МДж/кг	Коэффициент вязкости (20 °С) мм ² /с	Цетановое число	Температура застывания (°С)	Температура возгорания (°С)	Йодное число
Рапсовое масло	0,92	37,6	72,3	40	0 ↔ 15	317	94 ↔ 113
Подсолнечное масло	0,93	37,1	68,9	36	-16 ↔ -18	316	118 ↔ 144
Соевое масло	0,93	37,1	63,5	39	-8 ↔ -18	350	114 ↔ 138
Кокосовое масло	0,87	35,3	21,7*	–	14 ↔ 25	–	7 ↔ 10
Льняное масло	0,93	37,0	51,0	52	-18 ↔ -27	–	169 ↔ 192
Оливковое масло	0,92	37,8	83,8	37	-5 ↔ -9	–	76 ↔ 90
Пальмовое масло	0,92	37,0	29,4*	42	27 ↔ 43	267	34 ↔ 61
Пальмоядровое масло	–	35,5	21,5*	–	20 ↔ 24	–	14 ↔ 22
Хлопковое масло	0,93	36,8	89,4	41	-6 ↔ -14	320	90 ↔ 117
Яatroфовое масло	0,91	40,7	71,0	51	2 ↔ 3	240	103

* кинематическая вязкость при 50 °С.

пользования этого вида биотоплива. Так как качество масла и, соответственно, топлива имеет решающее влияние на безупречную работу двигателя, то большое значение имеет соблюдение топливных стандартов (например, на рапсовое масло – DIN 51605). Как и для производства биодизельного топлива, сниженная ставка энергетического налога не применялась к рапсовому биотопливу до декабря 2012-го. Напротив, в сельском и лесном хозяйстве использование чистого топлива освобождается от энергетического налога. Нынешний ограниченный уровень конкурентоспособности по сравнению с обычным дизельным топливом вызвал спад продаж масляного растительного топлива с 840 тыс. тонн (2007 г.) до < 25 тыс. тонн (2012 г.).

Растительные масла используются не только в качестве топлива для двигателей, а также для выработки электроэнергии и тепла. Например, в Германии за 2010 год около 1400 когенерационных установок (ТЭЦ или мини-ТЭЦ), используя растительное масло в качестве топлива, произвели около 1,8 млрд. кВт·ч электроэнергии. При среднем потреблении электроэнергии одним домохозяйством в Германии около 3600 кВт·ч в год, это соответствует производству электроэнергии для 500 тысяч домохозяйств. Когенерационные установки на растительном масле, как правило, имеют высокую общую эффективность по выработке тепла (более чем 80 %).

В последние годы, несмотря на высокую эффективность когенерационных установок по выработке электрической энергии из растительного масла, высокие цены на это сырье, а также отсутствие компенсационных выплат в соответствии с Законом о возобновляемых источниках энергии, сделали экономически невыгодным их дальнейшее использование. Вполне возможно, эта форма использования биомассы в будущем не получит широкого распространения.

В то же время спрос на **биоэтанол** (этанол, производимый из биомассы растений) продолжает увеличиваться, как и его производство (фото 4.5). Дело в том, что в то время как растительное масло и биодизель обеспечивают топливом дизельные двигатели, биоэтанол может заменить бензин наивысшего качества [Шпаар, 2006; Клочков, 2009; Эденхофер, 2011; Цыганов, 2012]. Этанол образуется при анаэробном сбраживании углеводов, которые присутствуют в культурах, содержащих крахмал (картофеле, кукурузе, зерне) или сахара (сахарной свекле, сахарном тростнике). При помощи дрожжей и ферментов этот сахар преобразуется в этанол и CO_2 . Для использования получаемого продукта в качестве топлива содержание в нем этанола затем повышается до 99,7 % (посредством дистилляции и фильтрации в несколько этапов).



Iowa, USA



Zörbig, Germany

Фото 4.5. Предприятия по производству биоэтанола из растительной биомассы.

Один (1) литр биоэтанола содержит примерно 65 % энергии, обеспечиваемой литром бензина, но имеет более высокое октановое число и, при сжигании одновременно с бензином, улучшает его показатели. Кроме того, биоэтанол улучшает сгорание топлива в

транспортных средствах, тем самым уменьшая выбросы окиси углерода, несгоревших углеводородов и канцерогенов. По сравнению с бензином этанол содержит лишь следовые количества серы, следовательно, смесь «бензин/этанол» снижает выбросы окислов серы, компоненты кислотных дождей и канцерогенов. Однако сжигание этанола вызывает активную реакцию с азотом в атмосфере, что приводит к незначительному увеличению газообразных окислов азота.

Удельная теплота сгорания биоэтанола составляет 26,7 МДж/кг.

В Германии в настоящее время производство этанола (главным образом из зерна злаков и коренеплодов сахарной свеклы) достигло 0,6 млн. тонн в год и его планируется увеличивать, так как производственные мощности построенных в этом «локомотиве Европы» шести крупных и нескольких небольших заводов достигают >1 млн. тонн этанола в год. К примеру, уже в 2012 году промышленность Германии реализовала ~1,2 млн. тонн биоэтанола, почти весь объем которого был использован в качестве присадки к топливу категории Super (Super E5, Super E10), в то же время «чистого топлива» марки E85 на немецких заправочных станциях было продано лишь 17 тыс. тонн в год.

В то время как до 2010 года максимум 5 % биоэтанола примешивали к нефтяным топливам в Германии (в объемных показателях), с января 2011-го биогенную долю увеличили до 10 %. Биоэтанол смешивают с базовым бензином на нефтеперерабатывающих заводах. Оттуда он поступает на заправочные станции. E10 – это новый термин, используемый для этого типа на бензоколонках – совместим с двигателями более 90 % бензиновых автомобилей. Остальные автомобили, по существу, не подходят для работы на E10 из-за несовместимости материалов. Именно поэтому заправочные станции в Германии продолжают реализовывать бензин из категории Super с добавкой этанола до 5 % (E5). Никаких признаков негативных последствий в плане того, как подходящие транспортные средства работают на бензине E10 не выявлено (например, проблемы холодного пуска, выходная мощность). Также 10-процентное содержание биоэтанола в бензине не оказывает существенного влияния на расход топлива по сравнению с обычным бензином. С одной стороны, разница по энергосодержанию является небольшой, особенно по сравнению с бензином E5; с другой, любые потери, возникающие в соответствующих двигателях, в значительной степени компенсируются за счет выгодных характеристик этанола (например, высокий уровень скрытой теплоты испарения, высокое октановое число).

Необходимо отметить, что в Германии с 2005-го эксплуатируются также автомобили с гибким выбором топлива (FFV). Двигатели их способны использовать топливо с более высоким содержанием этанола (E85), а также обычный бензин. E85 – это топливная смесь, состоящая из 85 % этанола и 15 % бензина. Поскольку этанол имеет более низкое энергосодержание, то при использовании E85 увеличиваются нормы расхода топлива на 10–30 % по сравнению с E10. Однако дополнительное потребление частично уравнивается более низкой ценой топлива. E85 доступен на более чем 300 автозаправочных станциях в Германии.

4.3. Жидкие биотоплива второго поколения (биоэтанол из целлюлозы, BtL, бионефть)

В ближайшем будущем по-прежнему будут использоваться метиловые эфиры растительных масел (рапсового, соевого, пальмового) и биоэтанол (из зерна, кукурузы, сахарного тростника и сахарной свеклы) в качестве составной части топливных смесей. В перспективе ожидается, что биометан и новые типы биотоплива 2-го поколения, в том числе биоэтанол из лигноцеллюлозы или синтетические биотоплива (BtL-топливо) и бионефть заметно расширят и дополнят этот ассортимент [Шпаар, 2006; Клочков, 2009; 2012; Эденхофер, 2011; Цыганов, 2012].

Этанол из лигноцеллюлозной биомассы получают путем переработки целлюлозы. Необходимо отметить, что лигно- и гемицеллюлозная биомасса более устойчивы к расщеплению, чем крахмал, сахар и масло. Переработка целлюлозы в биоэтанол включает две стадии. На первой расщепляются целлюлозный и гемицеллюлозный компоненты. Эта стадия технически очень сложна, однако уже разработаны эффективные способы осуществления этого процесса в экспериментальных установках. Необходимо подчеркнуть, что в случае биоэтанола второго поколения энергия для процессов переработки обеспечивается за счет, главным образом, лигнина. На второй стадии целлюлозные компоненты биомассы расщепляются до сахаров, которые затем ферментируются для получения этанола. Направление использования биоэтанола из целлюлозы аналогично таковым из сахароносных и крахмалоносных культур.

В настоящее время этанол из целлюлозной биомассы в промышленных масштабах практически не производится.

BtL (BmL)-топливо (БтЛ) производится путем газификации любой биомассы на основе процесса Фишера-Тропша [Эденхофер, 2011]. Процесс Фишера-Тропша – химическая реакция, происходящая в присутствии катализатора (содержащего железо и кобальт), в которой монооксид углерода (CO) и водород H_2 преобразуются в различные жидкие углеводороды (метанол и др.), используемые в качестве синтетического топлива с желаемыми параметрами, а также для получения смазочных жидкостей.

Удельная теплота сгорания BtL-топлива составляет 43,9 МДж/кг.

Такое биотопливо имеет ряд преимуществ:

- для его производства подходит широкая база природных биоматериалов;
- при его получении биомасса используется в полном объеме, а не только отдельные составные части и вещества растения, такие как семена, корнеплоды, стебель, масло, крахмал, сахар;
- легкое приспособление к разным видам двигателей, т. е. не надо переоборудовать двигатели, и им можно заправить автомашины на всех заправочных станциях;
- возможность путем изменения давления, температуры и подбора катализаторов при синтезе и последующей переработке производить бензин и дизельное топливо с заданными свойствами (топливо «Дизайнер»);
- эффективное сжигание обуславливает очень низкий выход вредных выхлопных газов.

Бионефть – биотопливо (вязкая жидкость), получаемое путем пиролиза из биомассы энергоплантаций, а также из отходов растительных материалов, производства бумаги, путем глубокой химической переработки [Шпаар, 2006; Клочков, 2009; 2012; Эденхофер, 2011; Цыганов, 2012]. Пиролиз – это термическое разложение органических соединений биомассы в отсутствие кислорода (275–350 °C и выше) с последующим сбором продуктов пиролиза. Пиролиз энергетически самообеспечен за счет использования химического тепла разных газообразных и твердых продуктов термодеструкции. При быстром пиролизе из 100 кг биомассы получается до 65 кг жидкого биотоплива. Биотопливо используется как альтернативное топливо малой и коммунальной энергетики либо как химическое сырье.

Стоимость барреля (~159 л) бионефти составляет ~ 60 долларов США.

Поскольку производство бионефти максимально приближено к местам ее потребления, то расходы на транспортировку сводятся к минимуму, что обеспечивает значительное уменьшение ее цены (тем самым повышает рентабельность).

Следует также отметить, что при сжигании бионефти количество образующегося NO_2 вдвое меньше, чем при сжигании ископаемой нефти.

Удельная теплота сгорания бионефти варьирует в пределах 16–20 МДж/кг.

4.4. Газообразные биотоплива

Биогаз – основной вид газообразного биотоплива [Шпаар, 2006; Клочков, 2009; Цыганов, 2012; Kloos, 2013]. В среднем удельная теплота его сгорания составляет 18,2 МДж/кг.

Биогаз – это результат метанового брожения биомассы, происходящего во влажной среде и без доступа кислорода в биогазовых установках. Выход и состав биогаза варьируются в зависимости от состава исходного сырья, а также технологического процесса. Биогаз можно получить из многочисленных органических исходных материалов.

В сельскохозяйственных биогазовых установках таким сырьем являются в основном энергетические культуры, выращиваемые специально для этой цели, а также отходы растениеводства и животноводства, которые служат в качестве субстратов. Культуры, которые используются в качестве возобновляемых ресурсов, включают кукурузу, зерновые, травы, сахарную свеклу и многие другие.

Однако большая доля в настоящее время приходится на кукурузу благодаря ее высокой урожайности и высокому выходу биогаза, а также самым низким удельным затратам. Различные субстраты имеют разные выходы биогаза; также различны и уровни содержания метана в биогазе. Таким образом, в зависимости от состава входного субстрата выход газа и содержание метана также колеблются.

Помимо возобновляемых ресурсов, сельскохозяйственных побочных продуктов и отходов, также существуют определенные несельскохозяйственные субстраты, пригодные для производства биогаза: к ним относятся отходы пищевой промышленности (например, жмых, барда, отходы жиросовлаживателей), растительные отходы на оптовых рынках, пищевые отходы, скошенная трава, материал от деятельности по сохранению ландшафтов и органические отходы со свалок бытовых отходов.

Всего в мире в настоящее время используется или разрабатывается ~ 60 разновидностей биогазовых технологий. Расчеты показывают, что использование всей биомассы растений энергетического назначения для получения биогаза по сравнению с производством биодизеля (используются только семена) и биоэтанола (используются углеводы) имеет высокую энергетическую эффективность.

Для производства биогаза применяют разнообразные по конструкции биогазовые установки (рис. 4.6). Они отличаются друг от друга содержанием сухого вещества в субстрате, способом его подачи и/или количеством этапов процесса получения. Соответственно, в зависимости от содержания сухого вещества различают сухое и мокрое анаэробное сбраживание. Почти все сельскохозяйственные биогазовые установки работают по схеме мокрого анаэробного сбраживания, при рабочей температуре в диапазоне (32–42 °C) с хорошо знакомыми круглыми контейнерами и газосборными куполами. При использовании твердой биомассы, ее хорошо измельчают и делают пригодной для дальнейшего перекачивания и перемешивания. В отличие от мокрого анаэробного сбраживания, в случае сухого анаэробного сбраживания невозможно ни перекачивать материал для последующего сбраживания, ни заставить его течь; также невозможно осуществлять постоянное перемешивание. Однако для запуска биологического процесса анаэробного сбраживания необходимо наличие влажной среды. Достигается это путем перемешивания сырья с технологической жидкостью до начала процесса сбраживания или путем постоянного распыления технологической жидкости с ферментирующей жидкостью в процессе анаэробного сбраживания.

Схема (фото 4.6) показывает, как работает биогазовая установка и как расположены ее основные элементы – предварительный резервуар/загрузка субстрата, метантенк с перемешивающим блоком, газосборник, резервуар последующего брожения и утилизация биогаза (варианты: очистка биогаза, когенерационный блок или другое). В предварительном резервуаре происходит временное хранение субстратов, перед этим измельченных, раз-

жиженных и перемешанных; оттуда, они затем направляются в изолированный и обогреваемый метантенк. Это – ключевой элемент установки: он должен быть водонепроницаемым, газонепроницаемым и непроницаемым для света. Соответствующая технология перемешивания гарантирует однородность субстрата и поддерживает процесс газообразования. Биогаз поступает в газосборник, в то время как сброженный субстрат транспортируется в резервуар брожения, последний также обычно служит в качестве резервуара вторичного брожения. Если в смеси, которая подвергается сбраживанию, присутствуют субстраты, которые вызывают беспокойство в плане предотвращения заболеваний – например, отходы со скотобойни или другие пищевые отходы, то материал дезинфицируется, для чего подвергается термической обработке в течение не менее одного часа при температуре более 70 °С.

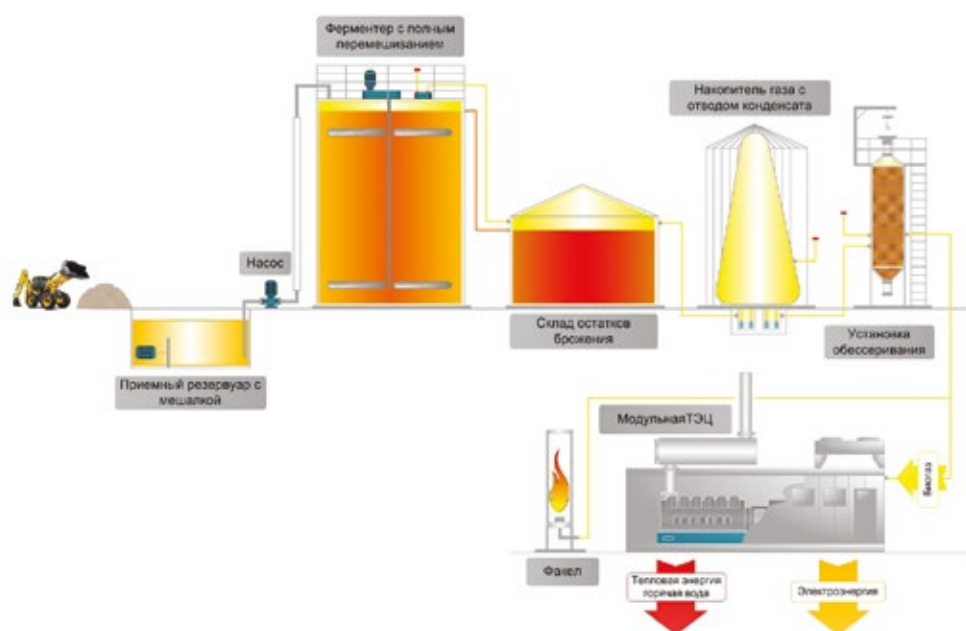


Фото 4.6. Технологическая цепочка производства биогаза из биомассы и внешний вид завода фирмы BIOGAS NORD.

Жидкий или твердый отработанный материал процесса сбраживания характеризуется как (влажный или сухой) сброженный субстрат, который в основном используется в

качестве органического удобрения из-за высокого содержания питательных веществ. Что касается питательных веществ, то их состав колеблется в зависимости от используемого входного субстрата. Биогаз предлагает множество вариантов для применения. Он может быть использован для производства электроэнергии и тепла, а также в качестве топлива и замены природного газа. Биогаз можно хранить и транспортировать по газопроводной сети, что обеспечивает его доступность в любое время, независимо от места его происхождения. Производство энергии из биогаза не зависит от времени суток, времени года или погодных условий, поэтому ее производство может происходить постоянно в зависимости от спроса. В настоящее время, например, в Германии благодаря фиксированным ставкам тарифа на электроэнергию из биогаза производство электрической и тепловой энергии осуществляется в непосредственной близости от биогазовой установки, и это является основным способом использования биогаза. Энергия производится в когенерационных (КГУ) установках, которые обеспечивают одновременное производство электроэнергии и тепла. Когенерационная установка состоит из двигателя внутреннего сгорания, работающего на биогазе и приводящего в движение генератор для производства электроэнергии.

Помимо электроэнергии, КГУ производит тепло в качестве второго продукта. Сама биогазовая установка в зависимости от типа и времени года использует 20–40 % сбросного тепла для нагрева метантенка. С экологической точки зрения и для экономически оправданного функционирования установки крайне важно использовать оставшееся тепло целенаправленно. Одним из вариантов использования тепла КГУ является отопление жилых и хозяйственных построек. Если же использование тепла в непосредственной близости от биогазовой установки не представляется возможным, оно может быть доставлено потребителям с помощью децентрализованных тепловых сетей. Таким образом, помимо отопления жилых домов, можно также отапливать муниципальные объекты, такие как бассейны или больницы, а также предприятия. В случае больших расстояний, сам биогаз можно транспортировать по магистральным газопроводам в так называемую «спутниковую» когенерационную установку для производства электроэнергии и тепла по месту спроса. В принципе, биогаз также подходит в качестве источника энергии для топливных элементов, двигателей Стирлинга и газовых микротурбин. Срок окупаемости (амортизации) биогазовых установок колеблется от 4 до 7 лет.

Биометан – более качественный по теплотворной способности вид газообразного топлива. Его получают из биогаза по следующей технологии: мокрая очистка под давлением, адсорбция при переменном давлении, процессы физико-химической очистки, а также мембранная технология [Клочков, 2009; Kloos, 2013].

Современные физико-химические (в т.ч. мембранная) технологии позволяют фракционировать и очищать биогаз, отделяя метан от других сопутствующих газов.

Таким образом, путем отделения от углекислого газа и других газов (по необходимости) доля метана в биогазе повышается с примерно 50 % до уровня, необходимого для соответствующей газовой сети, а именно 85–98 %. Удельная теплота сгорания биометана достигает 50,0 МДж/кг.

Компримированный (сжатый) природный метан (сокр.: КПГ, СПГ или англ. CNG) – один из наиболее качественных видов моторного топлива (октановое число метана = 105), к тому же при правильной регулировке газотопливной аппаратуры он благоприятно влияет на работу двигателя, т.к. увеличивает срок его службы.

Биометан соответствует природному газу по химическим характеристикам и может транспортироваться по имеющейся инфраструктуре газовой сети на любое расстояние, в места с высокой потребностью в отоплении круглый год. Газовая сеть управляет потенциалом транспортировки и хранения. В то же время использование газовой сети уменьшает потребность в расширении высоковольтных электрических сетей.

Расчеты показывают, что использование всей биомассы растений энергетического назначения для получения биометана и возможности его поставки в общую газовую сеть с дальнейшим различным использованием (для получения холода, тепла, электроэнергии и горючего) существенно повышают энергетическую эффективность процесса производства данного типа газа. По этой причине именно производство биометана оказалось в центре внимания исследователей и разработчиков многих стран.

Биометан используется в качестве топлива в газовых двигателях, и его использование предпочтительнее природного газа. Так, природный газ сгорает сравнительно «чисто», но будучи ископаемым топливом, он производит дополнительные выбросы CO_2 . Биометан, напротив, из-за своего растительного происхождения обеспечивает высокий потенциал экономии по итоговому балансу CO_2 . Подсчитано, что 25-процентная доля биометана в природном газе снижает выбросы CO_2 на 20 %.

Генераторный газ – это смесь газов: легковоспламеняющихся угарного газа (CO 26–30 %) с водородом (H_2 13–15 %) и не воспламеняющихся азота (N_2 45–55 %) и углекислого газа (CO_2 5–8 %). Эта смесь получается в газогенераторных печах при неполном сгорании биомассы в воздухе или паре (газификация) [Клочков, 2009]. Удельная теплота сгорания генераторного газа варьирует в пределах 10–13,4 МДж/м³. Следует подчеркнуть, что для его изготовления не требуется сложного оборудования. Генераторный газ может использоваться для получения тепла, электроэнергии и жидких видов топлива.

К генераторному газу близок по свойствам Синтез-газ (смесь монооксида углерода и водорода), который получают газификацией угля с паровой конверсией и парциальным окислением метана. В зависимости от способа получения соотношение $\text{CO}:\text{H}_2$ варьируется от 1:1 до 1:3. Кроме того, Синтез-газ получают попутно с ацетиленом в процессах окислительного пиролиза природного газа.

Глава 5

Виды энергетических растений

Выбор культур для производства биоэнергии, в первую очередь, определяется почвенно-климатическими условиями того или иного региона. Например, в Северной Америке наиболее активно используется соя, в Южной Америке – сахарный тростник, в Азии – эвкалипты, ятрофа и масличная пальма, в Европе – кукуруза, тритикале, рапс, специальные быстрорастущие сорта: ив, ольхи, сосны, тополя, мискантуса и др. [Bassam, 2003; Шпаар, 2006; Купцов, 2006; 2008; Клочков, 2009; Родькин, 2011; 2013]

5.1. Ива корзиночная (*Salix viminalis* L.)

Ива корзиночная («энергетическая верба») из рода Ива (*Salix*) семейства Ивовых (*Salicaceae*). В умеренной климатической зоне Европы для энергоплантаций лучше всего подходят сорта быстрорастущей ивы корзиночной или «энергетической вербы». Ива корзиночная для промышленных плантаций высаживается саженцами. Количество саженцев на 1 га зависит от планируемого цикла сбора будущего урожая [Bassam, 2003; Шпаар, 2006; Клочков, 2009; Родькин, 2011; 2013].

Ива корзиночная – это высокий кустарник или дерево до 8 м высотой с желтовато-буровой корой, на вкус вяжущей, слегка горьковато-кисловатой (фото 5.1).



Фото 5.1. Ива корзиночная.

Ветви длинные, прутьевидные, ломкие в сочленениях. Годовалые побеги также очень длинные, прутьевидные, желтовато-буроватые, коротковолосистые, с заметными чечевичками. Цветковые почки яйцевидно-продолговатые, длиной 7–12 мм и шириной 2–3 мм, сероволосистые, реже почти голые, прижатые к побегу. Листовые почки 3–5 мм длиной, длинноволосистые и тоже прижатые к побегу. Зачатков листьев чаще всего 2. Листовой рубец, как и у всех ив, с 3-мя листовыми следами. Сердцевина рыжевато-белая, поверхность древесины под корой без рубцов.

Листья ланцетные или линейно-ланцетные длиной 10–15 см. Основания клиновидные или закругленные, к верхушке постепенно суженные. Черешки короткие длиной 0,3–1 см. Края цельные или слегка волнистые, завороченные на нижнюю сторону. Несущие железки бурые. Лист сверху зеленый, почти голый, снизу с густым серебристо-белым опушением, видна центральная жилка и 25–30 пар боковых жилок.

Цветок с 2-мя ярко-желтыми тычинками. Завязь яйцевидно-коническая, почти сидячая, опушенная густыми шелковистыми волосками.

Распространена почти на всей территории России, кроме районов лесотундры, а также в Западной Европе, на Кавказе, в Монголии и в некоторых районах Юго-Восточной Азии. Растет в поймах рек и прежде всего в прирусловой пойме (на прирусловом валу и его склонах). В этих местах, как правило, откладываются песчаные и другие грубые поймен-

ные наносы, на которых формируются обширные, лентовидные заросли корзиночной и других видов ив.

Помимо энергетических целей, ива корзиночная также очень эффективна для целей рекультивации и обогащения почв. Так, промышленные плантации ивы корзиночной предупреждают эрозию почв, способствуют обогащению почвы микроэлементами и минералами, улучшению экологии и биологического разнообразия окружающей среды. Характеристики ивы корзиночной:

- средний прирост: 1,5–2 метра в год;
- сбор урожая: каждые 2–3 года;
- количество циклов сбора урожая с одной посадки – 7–8 раз, после чего можно проводить рекультивацию земли под посадку других культур или закладывать новую плантацию ивы;
- требования к почве: почвы среднего качества с большой влажностью;
- потребность растения в минеральных удобрениях: для подкормки растений в почву вносят NPK-удобрения, их количество зависит от качества почв, однако значительно меньше потребностей других сельскохозяйственных культур;
- период сбора урожая: с ноября по февраль, когда уже опадают листья, но еще не началась весенняя вегетация.

Среди всех энергетических растений в мире именно *Ива корзиночная* сегодня используется в качестве основной энергетической культуры для производства твердого топлива. Наибольший опыт ее выращивания и переработки имеют такие страны, как Швеция, Англия, Ирландия, Польша, Дания.

В настоящее время крупнейшие плантации ивы корзиночной (фото 5.2) расположены в Швеции (18 000–20 000 га). В Польше плантации ивы корзиночной занимают ~ 6 000 га.



Фото 5.2. Плантации быстрорастущей ивы корзиночной.

Промышленное производство тепловой и электрической энергии из твердого биотоплива в два раза дешевле по сравнению с использованием газа. Урожайность ивы корзиночной является наибольшей среди других энергетических растений и достигает 12 тонн сухой массы с 1 га. Установлено, что один гектар плантации ивы корзиночной поглощает из воздуха свыше 200 тонн углекислого газа за год, т.е. столько, сколько углекислого газа выбрасывают в атмосферу в течение года сто автомобилей.

Согласно данным специальных исследований, проведенных Европейской лесной комиссией в 2004 году, 75–95 % корневой системы ивы корзиночной располагается в верхних слоях почвы (до 40 см глубины), а регулярный сбор урожая существенно сдерживает развитие корневой системы. Именно поэтому учеными был сделан вывод, что вывод куль-

туры *Salix viminalis* из севооборота не вызывает серьезных проблем и наиболее эффективно происходит по следующему алгоритму: после последнего сбора урожая необходимо дать иве корзиночной подрасти на 15–20 см, после чего молодые побеги опрыскиваются глифосатом. После отмирания вегетативных органов культуротехнические работы на плантациях ивы корзиночной проводят по системе кардинального улучшения сенокосов и пастбищ, предусматривающей уничтожение древесно-кустарниковой растительности. После проведения таких работ на этих площадях можно выращивать другие сельскохозяйственные культуры.

Как известно, ежегодная вспашка пахотных земель приводит к уменьшению уровня углерода в почве за счет аэрации поверхностного слоя земли. Специальными исследованиями установлено, что почвы на плантациях ивы корзиночной имеют значительно более высокие показатели содержания углерода. Так, пахотные земли под зерновыми имеют средний показатель содержания углерода около 32 т/га, в то время как для плантаций ивы эта цифра достигает почти 70 т/га. Такой эффект объясняется большим количеством листьев (примерно 4–5 т/га), которое опадает на землю, а также созданием благоприятных условий для перемещения в верхние слои почвы мицелия грибов, которые отвечают за усвоение углерода. Выращивание любой культуры неизбежно приводит к истощению почвы, в связи с чем необходимо ежегодно ее удобрять. Степень же ее истощения для разных культур различна. Так, установлено, что плантация ивы корзиночной за 5-летний период роста выводит из земли 18–54 кг/га азота, 10–70 кг/га кальция, от 3 до 9 кг/га фосфора, 6–36 кг/га калия и до 5 кг/га магния. Для сравнения: озимая пшеница при средней урожайности забирает из почвы 160–190 кг/га азота, 55–70 кг/га фосфора, 80–100 кг/га калия. Как видно из приведенного сравнения, степень истощения почвы ивой корзиночной значительно меньше, чем зерновыми. Следует отметить, что примерно 60–80 % питательных веществ возвращаются на плантациях *Salix viminalis* в землю вместе с опавшей листвой. Что касается способности ивы корзиночной к фиторемедиации, то на практике этот вопрос, в сравнение с другими, изучен недостаточно основательно. Тем не менее, в научной литературе отмечается, что *Salix viminalis*, как и любая древовидная культура, имеет достаточно высокие способности к поглощению тяжелых и редких металлов, таких как свинец, медь, цинк, никель, хром и др. Целенаправленная селекция быстрорастущих сортов ивы корзиночной, дающей высокий урожай древесины и выход энергии, была успешно реализована в рамках специальных программ, инициированных в Швеции в 1987 году и Великобритании в 1996-м, а затем в Польше и других странах. Предлагаемые для создания энергоплантаций высокопродуктивные сорта были получены в основном у этого вида ивы.

5.2. Ива белая (*Salix alba* L.)

Ива белая из рода Ива (*Salix*) семейства Ивовых (*Salicaceae*). Ареал вида – Европа (за исключением Крайнего Севера), Западная Сибирь, Малая Азия, Иран. Ива белая натурализовалась в Северной Америке и Средней Азии. Обычное дерево Средней России (фото 5.3) [Родькин, 2011; 2013].

Ива белая светолюбива, морозостойка, малотребовательна к почвам (хотя предпочитает влажные), хорошо переносит городские условия, живет ~ 100 лет. Произрастает на плавнях, по берегам рек, арыков, прудов и водоемов, вдоль дорог и около жилья. Широко применяется в декоративном садоводстве, особенно в композициях больших парков и лесопарков, расположенных на берегах водоемов.

Размножается семенами. В культуре легко размножается черенками. Корневую поросль дает редко, но после рубки может принимать форму кустарника. Дерево с широкоокруглой, нередко плакучей кроной, мощным стволом (зачастую стволов несколько),



Фото 5.3. Ива белая.

покрытым темно-серой корой, горькой на вкус, высотой 20–30 м. Молодые побеги оливково-зеленые или красно-бурые, на концах серебристо-пушистые. Более старые побеги голые, гибкие, неломкие, блестящие, желтовато-красно-бурых тонов. Нижние ветви часто склоняются до самой земли.

Почки ланцетные, красновато-желтые, шелковистые, сплюснутые, с хорошо заметными боковыми киями, острые длиной 6 мм, шириной около 1,5 мм, прижаты к побегу. Почечная чешуя одна в виде колпачка. Листья очередные, узколанцетные или ланцетные, мелкопильчатые или цельнокрайние (края не завернуты книзу), с заостренной верхушкой длиной 5–15 см, шириной 1–3 см, при распускании – беловатые, опушены прижатыми серебристыми волосками; позже – сверху темно-зеленые, голые, снизу серебристые, опушенные. Прилистники мелкие, узколанцетные, железистые, рано опадающие, серебристо-пушистые. Черешок листа длиной 0,2–1 см, с одной парой железок возле основания пластинок. Осенью листья приобретают бронзово-желтую окраску, держатся на ветвях долго.

Цветки собраны в рыхлые цилиндрические, довольно толстые сережки длиной 3–5 см. Плоды – коробочки длиной 4–6 мм, на ножках длиной до 1 мм. Цветет в апреле-мае одновременно с распусканием листьев. Семена созревают в мае-июне.

Ядровая древесина рассеяннососудистая, мягкая, легкая. Заболонь, узкая, белая; ядро нежно-розоватое или буровато-красное. Годичные кольца на поперечном и радиальном разрезах различаются довольно ясно. Древесина используется как поделочный (корыта, посуда, челноки) и изредка как строительный материал. Из лубяных волокон коры изготавливают веревки и канаты. Прутья употребляются для изготовления изгородей.

Быстрый рост позволяет успешно использовать иву белую для закладки энергоплантаций. Необходимо подчеркнуть, что особенно высокий потенциал урожайности древесины энергоплантаций ивы белой отмечен в условиях Балкан. В Сербии у этого вида ивы создана большинство энергосортов, три из которых внесены в Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород Республики Беларусь с 2013 года [Родькин, 2011; 2013; 2015].

Сорт *Волмянка* (гибрид № 378 *Salix alba*) отличается устойчивостью к затоплению и листовой ржавчине, а также высокой зимостойкостью. Он пригоден для выращивания на всех типах почв, кроме песчаных, характеризуется хорошим побегообразованием и эффективным использованием воды.

Сорт *Бачка* (гибрид № 282 *Salix alba*) малотребователен к почвам, влаголюбив. Он устойчив к затоплению, демонстрирует интенсивный прирост биомассы и хорошую зимостойкость. Период от начала весенней вегетации до времени максимального накопления биомассы 170–175 дней. Содержание золы в древесине – 0,55 %.

Сорт *Дрина* (гибрид № 73-64/8 *Salix alba*) характеризуется средней засухо- и зимостойкостью, но и хорошей устойчивостью к затоплению и листовой ржавчине. Скорость отращения биомассы высокая. Быстро восстанавливается после уборки. Содержание целлюлозы в древесине свыше 50 %, удельная теплота сгорания 17,7 Мдж/кг. Сорт имеет низкий коэффициент накопления тяжелых металлов и может использоваться в целях ремедиации загрязненных почв.

Указанные сорта ивы белой в условиях Беларуси характеризуются оптимальными хозяйственно-полезными и морфометрическими показателями. Кроме того, каждый из районированных сортов обладает определенной спецификой, что позволяет оптимально использовать его в конкретных условиях. Следует подчеркнуть, что результаты экспериментов, проведенных в различных условиях Беларуси сотрудниками МГЭУ им. А.Д. Сахарова, показали необходимость широкого внедрения экономически обоснованных плантаций энергетических сортов на основе разработки адаптивных технологий [Родькин, 2011; 2013].

5.3. Тополь (*Populus*)

Тополь – двудомные листопадные быстрорастущие деревья рода *Populus* семейства Ивовых (*Salicaceae*). Всего в мире произрастает порядка 110 видов тополя. На территории России – около 30, из них 12 видов были завезены из Европы, Америки, Индии и Китая. Некоторые виды (осокорь, тополь душистый и лавролистный) произрастают за Полярным кругом. Наибольшее распространение тополь имеет в лесной и лесостепной зонах, а в степной и полупустынной зонах растет в поймах рек и у озер.

Среди быстрорастущих пород тополю принадлежит первое место. Эта культура прижилась практически на всей территории Евразии и занимает большие площади. Например, сегодня в России площадь, занятая тополями, составляет примерно 19,75 млн. га с запасом древесины 2 614,81 млн. м³. В ряде регионов возможна успешная организация быстрорастущих тополевых плантаций [Цивенкова, 2005], которые позволят выращивать большие объемы древесины на единице площади с получением среднегодового прироста в размере 30–40 м³/га. Решение этой задачи облегчается тем, что уже выведены и широко культивируются высокопродуктивные и ценные по своим качествам сорта тополя. Учитывая биологические и экологические особенности тополя, были определены зоны его рационального выращивания и использования, которые указаны в табл. 5.1.

Так, например, в зоне хвойно-широколиственных лесов целесообразно высаживать культуры, устойчивые к гнили: осину, тополь бальзамический, волосистоплодный, берлинский, душистый, белый, черный, серый и Петровский тополь. В степи лучше приживаются тополя: канадский, белый, черный, пирамидальный, Боллеана и лавролистный тополь. Род тополей подразделяется на четыре секции: туранговые, черные, белые и бальзамические. Каждый вид отличается присущими ему биологическими особенностями и проявляет высокую энергию роста только в определенных почвенно-климатических условиях. Существует также большое количество гибридных культур тополя, выведенных с целью получения лучших форм быстрорастущих пород. Для промышленного выращивания древесины на энергетических плантациях и для получения биомассы были выведены следующие сорта тополя: Градежский, Тронко, Гулливер, Стреловидный, Келибердинский и др.

С 2000 года на территорию России было завезено 13 новых селекционных экземпляров тополя, выведенных на территории Армении. Уникальность данных видов тополя заключалась в том, что за максимально короткий срок их рост достигал 13,5 м при диаметре ствола до 0,2 м и общим весом порядка 100 кг.

Таблица 5.1. Основные виды тополя, распространенные в Северном полушарии Земли*.

Вид тополя	Высота, м	Диаметр, м	Вид размножения	Территория произрастания
Тополь разнолистный	10–15 (до 28)	0,5	Семена и корневые отпрыски	Поймы рек Средней Азии, тугайные заросли, Китай
Тополь белый серебристый	до 35	до 2	Семена, корневые черенки, корневые отпрыски, посадка кольев	Европейская часть России, Западная Сибирь, бассейны рек Оби и Иртыша
Тополь Болле	до 35	до 0,8	Стеблевые черенки	Область Ростова-на-Дону, Северный Кавказ, юг Нижнего Поволжья
Тополь дрожащий, осина	30–35	до 1	Семена, корневая поросль, корневые отпрыски	Почти вся территория бореальной зоны Северного полушария Земли
Тополь Советский пирамидальный	до 22	до 0,35	Стеблевые черенки	Лесостепная и степная зоны
Тополь черный, осокорь	30–35	до 4	Семена, пневая поросль, корневые отпрыски	Западная и Восточная Сибирь, Прикарпатье
Тополь итальянский пирамидальный	> 30	до 1	Стеблевые черенки	Ростовская, Астраханская области, Кавказ, Закавказье
Тополь дельтовидный канадский	45	2	Стеблевые черенки	Западная часть России, Прибалтика
Тополь Симона	20–25	0,5	Стеблевые черенки	Алтайский край, европейская часть России
Тополь бальзамический	до 35	до 4	Семена, стеблевые и зеленые черенки	От Приполярья до южных границ России, Западная Сибирь

В ряде стран, таких как Швеция, Италия, Германия, Аргентина, Польша и др., на сегодняшний день широко практикуется создание энергетических плантаций быстрорастущих пород тополя (фото 5.4).

Фото 5.4. Энергоплантации тополя дельтовидного (*P. deltoides*).

В Северной Индии посадки быстрорастущих тополя (вместе с эвкалиптом) занимают 50–60 тыс. га. Ежегодно на таких плантациях заготавливается ~ 3,7 млн. тонн древесины общей стоимостью 222 млн. долларов США. Беларусь, имеющая значительные площади малоценных и низкоплодородных почв, на которых в настоящее время возделывание традиционных сельскохозяйственных культур невыгодно, может задействовать их для закладки энергоплантаций, как с целью наращивания древесной массы, так и для восстановления сельскохозяйственного значения посадочных площадей.

Из изложенного следует:

- быстрорастущий тополь является одной из лучших культур для энергоплантаций;
- использование сортового посадочного материала позволяет существенно повысить продуктивность и качество культур и плантаций, сократить сроки выращивания древесины этих пород;
- энергоплантации способствуют оздоровлению ландшафтов и восстановлению экосистем, дают возможность рекультивации непригодных для сельского хозяйства почв;
- транспортные и заготовительные средства, используемые в лесозаготовительных предприятиях, могут быть переведены на топливо из древесной биомассы путем оснащения их газогенераторными установками, что обусловлено экологической политикой (древесина тополевых пород – CO₂-нейтральный вид топлива) и экономической целесообразностью применения местных видов топлива;
- развитие автотранспортных, газогенераторных технологий повысит энергетическую обеспеченность того или иного региона за счет организации поставок топлива на базе местных возобновляемых ресурсов, улучшит экологическую ситуацию;
- создание энергоплантаций тополя, помимо экономического, имеет и важный социальный аспект – дает возможность создавать новые рабочие места и повышать качество жизни людей.

5.4. Ольха серая (*Alnus incana* L.)

Ольха серая (белая, седоватая) входит в семейство Березовых (*Betulaceae*). Дерево высотой до 20 м или кустарник с узко-яйцевидной кроной и стволом диаметром до 50 см. Ствол редко прямой и цилиндрический, часто с продольными впадинами и горбами. Одна из наиболее быстрорастущих пород. До 10–15 лет растет быстро, после чего прирост замедляется. Доживает до 40–60, изредка до 100 лет.

Корневая система поверхностная, в почве расположена в верхнем слое (10–20 см). На корнях содержатся клубеньковые наросты, содержащие микроорганизмы, способные усваивать азот из воздуха. Образует многочисленные корневые отпрыски и пневую поросль.

Кора светло-серая, всегда гладкая и не образует наружного коркового слоя. Побеги сначала зеленоватые, позднее бурые или черновато-серые, не клейкие, но покрытые серым пушком или войлоком и светлыми чечевичками. Почка стебельчатая, яйцевидная или яйцевидно-шаровидная, на вершине слегка притупленная, пушистая. Листья расположены в три ряда, очередные, овальные, овально-ланцетные или яйцевидно-округлые, реже эллиптические, длиной 4–10 см, шириной 3,5–7 см, с округлым или слабо сердцевидным основанием, остро-двоякопильчатые. Молодые листья густо-опушенные, не липкие, а взрослые сверху почти голые, снизу серо-зеленые, без боронок в углах нервов, на мягковолосистых или войлочных черешках длиной 1–3 см (фото 5.5).



Фото 5.5. Ольха серая.

Тычиночные сережки вершинные, собраны по 3–5 вместе, сидячие или на коротких пушистых ножках, содержат при каждой чешуйке по три цветка. Цветение в марте-апреле, до появления листьев.

Плоды – обратно-яйцевидные орешки с узкими, перепончатыми крыльями, 10 мм длиной и 7–8 мм шириной, созревающие в шишках. Созревают осенью. В 1 кг 1430000 орешков; вес 1000 орешков – 0,5–0,9 г.

Плодоношение ежегодное, обильное.

Семенные экземпляры начинают плодоносить с 8–10 лет; порослевые с 5–7 лет.

Предпочитает богатые, влажные, хорошо дренированные почвы. Растет по берегам рек, ручьев, на травянистых болотах, у подножия возвышенностей. Ольха может мириться также с любыми по богатству и влажности почвами и заселять сухие, бедные, песчаные и щебнистые, а также тяжелые, глинистые почвы.

Ольха, будучи азотфиксатором и продуцентом веществ, ингибирующих патогенные организмы и увеличивающих популяции микроорганизмов-антагонистов, является эффективным эдификатором (улучшает почву).

Ольха серая используется в энергоплантациях как компонент ивовой энергоплантации (в качестве эдификатора), так и в чистом виде.

5.5. Сосна конторта (*Pinus contorta* L.)

Сосна конторта (скрученная, широкохвойная) – растение рода Сосна (*Pinus*) семейства Сосновых (*Pinaceae*). В естественных условиях растет в западных районах Северной Америки (фото 5.6). Кустарник или дерево до 50 м высотой. Ствол прямой либо изогнутый, толщина до 90 см. Крона у разных экземпляров различна в зависимости от генетического происхождения; нижние ветви часто опущены, верхние раскидисты либо приподняты. Кора серо-, красно- либо просто коричневая, с пластинчатой или бороздчатой структурой, толщина варьирует между популяциями или внутри популяции. Ветви тонкие, мутовчатые, шершавые, оранжевые или красно-коричневые, с возрастом становятся коричневыми.



Фото 5.6. Сосна конторта.

Занимает большие площади на западе Северной Америки вдоль побережья Тихого океана от Аляски до Мексики и в Скалистых горах (до 3 500 м над уровнем моря), низкорослая форма приурочена к болотам, песчаным дюнам, низким берегам озер, континен-

тальные популяции встречаются в различных условиях произрастания. Сосна конторта достигает лучшей продуктивности на глубоких, хорошо дренированных почвах, на которых она растет вместе с другими видами сосны, пихты, псевдотсуги.

Сосна конторта дает на 40 % больше древесины с единицы площади, чем обычная европейская сосна, она устойчива к заболеваниям, а цитрусовый аромат делает ее непривлекательной для лосей, уничтожающих значительную часть посадок леса (молодых сосен). Сосна конторта интродуцирована в Европу, где изучается во многих странах. В настоящее время в Швеции, Финляндии, Латвии она широко используется для закладки и эксплуатации энергоплантаций [Hagner, 1983; Jansons, 2013]. Например, в 70-е годы в Швеции ежегодно высаживалось 35–40 млн., а в Финляндии – 1,5 млн. ее саженцев.

5.6. Пальма масличная (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Масличная пальма (фото 5.7) или африканская масличная пальма, или элеис гвинейский, – растение семейства Пальмовых (*Arecaceae*), вид рода Масличная пальма (*Elaeis*). Родиной этого растения считаются прибрежные районы экваториальной Западной Африки от 16 с.ш. до 15 ю.ш. Выращивается, кроме Африки, и в других странах с тропическим климатом (Малайзия, Индонезия и др.) для получения ценного пищевого и технического масла.



Фото 5.7. Пальма масличная.

В дикорастущем виде масличная пальма – дерево высотой до 20–30 м, в культуре она редко бывает выше 10–15 м. Ствол появляется лишь на 4-й–6-й год жизни, а под пологом леса иногда только через 15–20 лет. Диаметр ствола у взрослого дерева достигает 25 см. Корневая система мощная, но залегает обычно неглубоко. У взрослых растений от основания ствола отходят многочисленные придаточные корни, у некоторых экземпляров они густо покрывают ствол до высоты 1 м. Листья крупные, перистые, длиной до 6–7 м. В кроне взрослого растения их 20–40 штук, причем до 20–25 листьев ежегодно отмирает, заменяясь новыми. На черешках листьев имеются крупные буроватые шипы. Соцветия крупные (длиной до 70 см), расположены в пазухах листьев. Обычно мужские и женские соцветия образуются на одном растении, хотя изредка встречаются и двудомные растения. Иногда в одном соцветии можно обнаружить цветки обоих полов, чаще это бывает у молодых пальм. Мужское соцветие содержит до 150 тысяч цветков и производит огромное количество пыльцы: до 1 млрд. пыльцевых зерен с одного соцветия. Ось женского соцветия значительно толще, чем у мужского. На нем развивается до 600–800 плодов, общая масса плодовой кисти 10–30 кг, иногда и больше. В год на одном растении образуется 3–6, иногда до 10 таких кистей. Плод масличной пальмы – простая

костянка величиной со сливу (3–5 см длиной), массой в среднем 6–8 г. Окраска скорлупы обычно оранжевая, хотя встречаются растения с фиолетовыми и черными плодами. Дикорастущие пальмы зацветают и дают плоды лишь на 10–20-й год жизни, в культуре растения начинают плодоносить на 3–4-й год после посадки. Максимальной урожайности достигает в возрасте 15–18 лет. Срок жизни этого растения составляет 80–120 лет. Масличная пальма растет в жарком и влажном экваториальном климате, оптимальная средняя годовая температура для этого растения составляет 24–28 °С. Оптимальное годовое количество осадков: 1500–3000 мм. Она также очень светолюбива, развитие значительно задерживается и урожайность падает в условиях даже незначительного затенения. Как показали наблюдения, в дождливый сезон при недостаточном солнечном освещении образуется больше мужских соцветий, а интенсивное освещение способствует появлению женских. К почвам масличная пальма довольно нетребовательна и может расти почти на любых типах почв тропической зоны.

В настоящее время подавляющее количество пальмового масла употребляется в пищу, однако благодаря своим уникальным свойствам оно также используется для производства экологически устойчивого биодизельного топлива.

Выход (урожайность) пальмового масла, включая пальмоядровое, к примеру, в Индонезии сегодня составляет 4 т/га и более. Использование новых более урожайных сортов масличной пальмы и переход на более эффективные технологии ее возделывания позволяют удвоить эту цифру. По экспертным оценкам ЕС, к 2020 году на долю биотоплива на основе пальмового масла будет приходиться около 17 % рынка биодизеля, тогда как в настоящее время эта цифра составляет 4 %. Такой позитивный прогноз обусловлен значительно более высокой (в ≥5 раз) урожайностью масла пальмы по сравнению с другими культурами (рапсом, соей, подсолнечником). Пальмовое масло-сырец, получаемое путем отжима плодов масличной пальмы, переэтерифицируется спиртами в метиловый эфир пальмового масла (биодизель), который при сгорании производит вдвое меньше углекислого газа, чем традиционное дизтопливо или бензин. В результате химической реакции получают биодизель и глицериновую фазу, используемые в других отраслях, например, для производства лекарственных средств и косметики. Органические отходы, получаемые в процессе переработки (скорлупа и др.), гранулируются в биотопливные пеллеты. Необходимо подчеркнуть, что ~ 40 % плантаций масличных пальм выращивается мелкими фермерами и приносят в 10 раз больше доходов на 1 га, чем рис посевной (*Oryza sativa* L.).

Таким образом, производство пальмового масла стимулирует развитие инфраструктуры сельской местности, создает востребованные рабочие места, развивает сектор услуг, а в целом, дает как экономические, так экологические выгоды.

5.7. Сальное дерево (*Triadica sebifera* (L.) Small)

Сальное дерево (*Triadica sebifera* (L.) Small), или сапиум салоносный (*Sapium sebiferum* (L.) Dum.Cours.), – растение семейства Молочайных или Эуфорбиевых (*Euphorbiaceae*) (фото 5.8). Выращивается в Китае, Индии и Японии с давних времен в качестве декоративного растения, источника меда, а также масла для производства красок.

В настоящее время интродуцирован в США: (Луизиана, Техас, Калифорния). При этом сальные деревья высаживают с плотностью до 400 шт./га. Сапиум салоносный относительно толерантен к затоплению, засухе и кислотности, т.к. растет на почвах кислых (рН 5,6–6,0) и нейтральных (рН 6,6–7,5). Высота деревьев – 9–12 м. Средняя урожайность семян ~ 14 т/га, сбор масла – 1,04 т/га, воска – 1,13 т/га, белка – 0,64 т/га, что значительно превосходит таковые показатели сои, подсолнечника. Высокое содержание в плодах воскоподобного жира делает рентабельным производство из них биодизеля. Так, в штате Лу-



Фото 5.8. Сальное дерево и его плоды.

изиана создаются коммерческие плантации сального дерева на площади до 200 тыс. га с выходом масла ~ 223 млн. литров.

5.8. Эвкалипт (*Eucalyptus*)

Эвкалипт – обширный род вечнозеленых древесных растений семейства Миртовых (*Myrtaceae*). Русские названия эвкалипта – камедистое дерево, дивное дерево (фото 5.9). Вечнозеленые кустарники или деревья высотой до 100 м. Ствол прямой или искривленный, часто покрыт выделениями камеди, называемой кино. Крона разнообразная – широко пирамидальная, яйцевидная, почти шатровидная, плакучая и ряд других форм.



Фото 5.9. Внешний вид и плантация эвкалипта.

По строению коры различают следующие группы эвкалиптов:

- гладкокорые (камедные деревья) – кора ствола почти до основания и на крупных ветвях гладкая, корковый слой спадает лентами или кусками;
- волокнистокорые – корковый слой толстый, коричневый, волокнистый, сохраняется на стволе и крупных ветвях;
- железнокорые (бородчатокорые) – корковый слой толстый, твердый, хрупкий, с глубокими бороздами, сохраняется на стволе и крупных ветвях;
- чешуйчатокорые – корковый слой прорезан бороздками, снаружи чешуйчатый, сохраняется на стволе и, обыкновенно, на крупных ветвях;
- перечномятные – корковый слой отчасти сходен с чешуйчатым корковым слоем, но более волокнистый и сильнее бороздчатый, снаружи большей частью серый;
- складчатокорые – ствол со складками чешуйчатого коркового слоя.

Листовая пластинка стоит ребром, она расположена из-за скручивания черешка в одной плоскости с ветвью, вследствие чего деревья почти не дают тени. Листья почти у всех видов гетерофильные и проходят обычно три стадии развития: молодые листья, промежуточные и взрослые. Взрослые листья очередные, черешковые, яйцевидные, ланцетные, часто серповидно изогнутые, заостренные, зеленые, сизые или сизоватые.

Цветы эвкалипта начинают в зависимости от возраста с 2–10 лет. Цветочные почки возникают в конце весны – начале лета. Цветки правильные, обоеполые, сидячие или на ножках, собраны в пазушные зонтики или верхушечные метелковидные или щитковидные соцветия. Эвкалипты – перекрестноопыляемые растения, в естественных условиях дающие ряд гибридов. Плод – коробочка, большей частью гладкая, реже бороздчатая, ребристая или бугорчатая. Созревание плодов длится один год. Выход семян в зависимости от вида составляет от 2 % до 17 % от веса плодов. Средний вес 1000 семян составляет от 0,3 г до 20 г.

Большая часть видов произрастает в лесах Австралии, Новой Зеландии и Тасмании, образуя своеобразные леса (до 80 % всех деревьев леса); несколько видов найдены в Новой Гвинее и Индонезии; один вид встречается на Филиппинах. Только 15 видов растут за пределами Австралии. Эвкалипт радужный – единственный вид, в диком виде произрастающий в Северном полушарии.

Эвкалипты – растения теплого тропического или субтропического климата; ряд видов из умеренно холодных, горных субтропических областей. В роде имеются как теплолюбивые виды, не выдерживающие минусовой температуры, так и виды, выдерживающие понижение температуры от -1°C до -14°C . В высокогорных районах встречаются виды, выдерживающие морозы от -20°C до -24°C .

Эвкалипты относят к жестколистным (склерофильным) растениям, образующим влажные или сухие жестколистные леса. На родине растут в местностях с годовыми осадками от 200–250 до 4000 мм в год. Распространены во влажных лесных и сухих (степях, саваннах, пустынях) областях. Они произрастают на красных и бурых глинистых и песчаных почвах, на подзолистых желтоземах, каштановых, торфяных и других видах почв. На слишком влажных или заболоченных совсем не растут, хотя отдельные виды могут выдерживать временное затопление. Многие виды не переносят засоления и высокого содержания извести в почве. Встречаются на низменностях, склонах гор, в ущельях, на обрывах.

Эвкалипты – весьма светолюбивые растения. Под пологом других деревьев не растут и длительного затемнения не выдерживают, отличаются быстротой роста (к концу первого года высота растений достигает 1,5–2 м, к трем годам – 6–8 (до 10) м, к десяти – 20–25 м при диаметре ствола 25–30 см). Быстрый рост характерен для первых 10–15 лет жизни, когда прирост высоты сильно превышает прирост диаметра ствола, в последующие годы прирост высоты снижается, но увеличивается прирост ствола. Быстрота роста обусловливается мощным развитием корневой системы и непрерывным ростом в благоприятных условиях. В культуре на юге Европы через 9 лет после посадки дерева вида эвкалипта шаровидного (*Eucalyptus globulus* Labill.) достигают высоты 20 м и диаметра ствола 1 м. Вследствие такого роста и в связи с сильным испарением листьями влаги эвкалиптам приписывают способность быстро осушать заболоченные почвы. Они обладают большой порослевой способностью – погибшая надземная часть дерева восстанавливается путем развития порослевых побегов. Восстановление утраченных частей дерева происходит за счет вторичной меристемы (каллюсной ткани), которая образуется при каждом повреждении или закладывается у основания ветвей в виде древесных бугорков и сохраняется в течение нескольких лет.

Размножают эвкалипты семенами, которые высеивают осенью – зимой в парники и теплицы. При температуре $18\text{--}20^{\circ}\text{C}$ семена прорастают на 5–7-й день, при появлении пер-

вых листочков растения пикируют, а при достижении высоты 25–30 см высаживают на постоянное место.

Вегетативно эвкалипты можно размножать черенками, взятыми с молодых деревьев. В настоящее время эвкалипт разводится во многих странах не ради приписываемой ему способности обеззараживать воздух, а ради его быстрого роста и способности осушать болотистые местности. Плантации эвкалипта можно встретить в сырых, болотистых местах Южной Франции, Испании, Португалии, Греции, Израиля, Индии, Саудовской Аравии, Южной и Северной Америке, Северной и Южной Африке, на Кубе, Кавказе, Южном берегу Крыма и в других местах.

Древесина обыкновенно плотная и твердая, почти белая, желтоватая, сероватая или коричневая, идет на постройку судов, на шпалы, рукояти для разных инструментов (топорища и т.п.) и производство бумаги. В Австралии 1 гектар полновозрастного леса дает в среднем 1350 м^3 древесины, в редких случаях до 8400 м^3 . В качестве строевого леса 60–70 видов эвкалипта имеют экономическое значение.

Благодаря быстрому росту и высокому качеству древесины эвкалипт во многих странах используется для выращивания биотоплива на энергоплантациях.

5.9. Ятрофа (*Jatropha curcas* L.)

Ятрофа куркас относится к роду Ятрофа (*Jatropha*) семейства Молочайных (*Euphorbiaceae*) (фото 5.10). Род Ятрофа включает 150–175 видов суккулентов, кустарников и деревьев. Название происходит от др.-греч. *iatros* – врач и *trophe* – питание. Кустарник высотой до 5–6 м. Листья очередные, овальные, заостренные, у основания сердцевидные, 3–5-дольчатые, 6–40 см длиной и 6–35 см шириной, сидят на черешках 2,5–7,5 см длиной, зеленые или светло-зеленые, блестящие. Цветки желтоватые, чашковидные. Женские многочисленные, собраны в зеленоватые щитки. Мужские цветки одиночные. Плод – трехстворчатая капсула 2,5–4 см длиной. Как и многие другие представители Молочайных, ятрофа содержит соединения, которые являются весьма токсичными. Ядовиты все части растения, но особенно – семена. Тем не менее, после детоксикации масло из семян годно в пищу.



Фото 5.10. Ятрофа.

Естественным ареалом ятрофы является Центральная Америка, но сегодня она произрастает во многих тропических и субтропических районах, в том числе в Индии, Африке и Северной Америке. Из Карибского бассейна ятрофа распространилась в качестве ценного растения для живых изгородей в Африке и Азии португальскими торговцами. Ятрофа хорошо переносит высокие температуры, устойчива к засухе и вредителям. Ее выращивание технологически просто и требует сравнительно небольших капиталовложений.

Поэтому ятрофа выращивается преимущественно в засушливых регионах на деградированных почвах, которые мало подходят для сельскохозяйственных целей. Корни низкорастущих деревьев ятрофы достигают воды, находящейся глубоко в почве. Поверхностные корни способствуют связыванию почвы и тем самым замедляют темпы ее разрушения. Ее семена содержат 27–40 % масла, которое широко используется для производства биодизеля. Пожнивные остатки и жмых ятрофы служат также местным топливом.

В 2008 году ятрофой засадили ~ 0,9 млн. га по всему миру, из которых 760 000 га пришлось на Азию, 120 000 га – на Африку и 20 000 га – на Латинскую Америку. К 2015 году ожидаемые площади посадок ятрофы составят 12,8 млн. га. По объему производства ятрофы в Азии первое место займет Индонезия, в Африке – Гана и Мадагаскар, в Латинской Америке – Бразилия.

Растение стало широко известным после того, как эксперты Goldman Sachs (банковской группы США) указали на ятрофу как на один из лучших кандидатов для производства биодизеля.

Многие страны, в т.ч. Индия и Китай, начали масштабные посадки ятрофы (0,9 млн. га на 2008 год с планами посадки на 12,8 млн. га на 2015 год).

В докладе ФАО ООН (Рим, 22.07.2010) отмечается, что возделывание ятрофы как источника сырья для производства биодизеля выгодно в полувасушливых и отдаленных регионах развивающихся стран, где производство продовольствия нерентабельно из-за высоких цен на полив, удобрения, пестициды, транспорт. Кроме того, ятрофа способствует мелиорации деградированных земель указанных регионов. Однако, чтобы получать высокие и стабильные урожаи на деградированных почвах и солончаках в засушливых регионах, вода и удобрения являются необходимыми элементами. В докладе ФАО ООН подчеркивается, что ятрофа все еще является «диким» растением, крайне нуждающимся в селекционном улучшении.

5.10. Бамбук (*Bambusa*)

Бамбук – род многолетних вечнозеленых растений (рис. 5.11) семейства Мятликовых (*Poaceae*). Род включает ~ 130 видов, растущих в основном из тропических и субтропических регионов Азии (особенно влажных тропиков).



Фото 5.11. Бамбук.

Одревесневающие стебли (соломины) – высотой до 35 м, в верхней части сильно разветвленные. Растут очень быстро (до 0,75 м в сутки), представители рода (как и подсемейства) – одни из наиболее быстрорастущих растений на Земле. Листья ланцетные, с очень короткими черешками. Колоски многоцветковые, расположены по одному или в группах на особых ветвях, которые обычно несут лишь чешуевидные листья. Цветки обоеполые, анемофильные (ветроопыляемые). Зерновки обычно выпадают из цветковых чешуй, рас-

пространяются водными потоками или животными. Каждая группа, клон или вся популяция в районе цветут раз в течение нескольких десятилетий, причем одновременно и очень обильно, после плодоношения, как правило, отмирают полностью или погибают только наземные побеги, а корневища сохраняются.

Биомасса бамбука как энергорастения используется для получения топливных пеллет, брикетов и в качестве дров.

5.11. Кукуруза (*Zea mays* L.)

Кукуруза сахарная, или маис, – однолетнее травянистое культурное растение, единственный культурный представитель рода Кукуруза (*Zea*) семейства Мятликовых (*Poaceae*). Помимо культурной кукурузы, род Кукуруза включает еще пять видов – *Zea diploperennis* Iltis, Doebley & R.Guzmán, *Zea perennis* (Hitchc.) Reeves & Mangelsd., *Zea luxurians* (Durieu & Asch.) R.M.Bird, *Zea mexicana* (Schrader) Kuntze, *Zea nicaraguensis* Iltis & B.F.Benz. Считается, что кукуруза – самое древнее хлебное растение в мире (введена в культуру 8–9 тысяч лет назад на территории современной Мексики). Кукуруза относится к ксерофитным растениям с C_4 путем фотосинтеза.



Фото 5.12. Кукуруза.

Кукуруза – высокорослое растение, достигающее высоты 3 м и более (фото 5.12). Имеет хорошо развитую мочковатую корневую систему, проникающую на глубину 100–150 см. На нижних узлах стебля могут образовываться воздушные опорные корни, предохраняющие стебель от падения и снабжающие растение водой и питательными веществами.

Стебель прямостоячий, до 7 см в диаметре, без полости внутри (в отличие от большинства других злаков).

Листья крупные, линейно-ланцетные, ≤10 см шириной и 1 м длиной. Их число от 8 до 42.

Растения однодомные с однополыми цветками: мужские собраны в крупные метелки на верхушках побегов, женские – в початки, расположенные в пазухах листьев. На каждом растении обычно 1–2 початка, редко больше. Длина початка от 4 до 50 см, диаметр от 2 до 10 см, масса от 30 до 500 граммов. Початки плотно окружены листообразными обертками. Наружу на верхушке такой обертки выходит только пучок длинных пестичных столбиков. Ветер переносит на их рыльца пыльцу из мужских цветков, происходит оплодотворение, и на початке развиваются крупные плоды-зерновки.

Форма зерновок кукурузы весьма своеобразна: они не вытянутые, как у пшеницы, ржи и многих других культурных злаков, а кубические или округлые, плотно прижаты друг к другу и расположены на стержне початка вертикальными рядами. В одном початке может быть до 1000 зерновок. Размеры, форма и окраска зерновок различаются у разных сортов;

обычно зерновки желтого цвета, но бывает кукуруза с красноватыми, фиолетовыми, синими и даже почти черными зерновками.

Вегетационный период длится приблизительно 90–150 суток. Всходит кукуруза на 10–12-е сутки после посева. Является теплолюбивым растением. Оптимальная температура для ее выращивания – 20–24 °С. Кроме того, нуждается в хорошем солнечном освещении.

Можно утверждать, что американские цивилизации – Ольмекская культура, майя, ацтеков и др. – обязаны своим появлением и расцветом прежде всего кукурузе, потому что именно она легла в основу высокопродуктивного земледелия, без которого не могло возникнуть развитое общество. До прихода европейцев эта культура из Центральной Америки успела распространиться как на юг (в Южную Америку), так и на север (Северную Америку). Кукуруза является после пшеницы второй по продаваемости зерновой культурой в мире. Мировой экспорт кукурузы в 2009 году составил около 100 миллионов тонн, из которых 47,6 % пришлось на США, после которых шли Аргентина (8,5 %) и Бразилия (7,7 %).

Средняя урожайность зерна кукурузы составляла в США в 1860-е–1940-е годы ~ 16 ц/га. С середины 1950-х по 1990 год урожайность выросла с 20 до 70 ц/га. С середины 1990-х внедряются трансгенные сорта кукурузы с устойчивостью к вредителям, что обеспечило рост урожайности с 80 до 100 ц/га (2010-е годы).

В настоящее время в большинстве стран, возделывающих кукурузу, значительная часть ее биомассы идет на изготовление этанола, спрос на который последние годы существенно вырос в связи с бурным развитием биоэнергетики.

5.12. Тритикале (**Triticosecale*)

Тритикале – злаковая культура семейства Мятликовых (*Poaceae*) – гибрид ржи и пшеницы (от лат. *Triticum* – пшеница и https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA *secale* – рожь). Создана в конце XIX века, сегодня используется и как продовольственная, фуражная и техническая культура (фото 5.13). В настоящее время имеются четыре вида тритикале: **Triticosecale blarighemii* A.Camus, **Triticosecale neoblarighemii* A.Camus, **Triticosecale schlanstedtense* Wittm., **Triticosecale semisecale* (Mackey) K.Hammer & Filat.



Фото 5.13. Тритикале.

Обладает повышенной морозостойкостью (больше, чем у озимой пшеницы), устойчивостью против грибковых и вирусных болезней, пониженной требовательностью к плодородию почвы. Потенциальная урожайность зерна – 10–12 т/га.

Содержание белка в зерне тритикале выше, чем у пшеницы на 1–1,5 % и на 3–4 %, чем у ржи, однако количество глютенина меньше. Зерно имеет также более высокий уровень лизина (3,8 %), содержит 2–4 % жира.

Основные производители тритикале – Польша, Германия, Франция, Беларусь, Австралия и др. Является перспективной энергокультурой для получения биоэтанола и биотоплива второго поколения.

5.13. Сахарный тростник (*Saccharum officinarum* L.)

Сахарный тростник культивируемый, или благородный, – вид растений рода Сахарный тростник (*Saccharum*) семейства Мятликовых (*Poaceae*), ранее классифицировались как Злаковые (*Gramineae*). Используется, наряду с сахарной свеклой, для получения сахара.

Сахарный тростник культивируемый – многолетнее травянистое растение, разводимое в многочисленных разновидностях в тропиках от 35 с.ш. до 30 ю.ш., а в Южной Америке поднимающееся в горы на высоту до 3000 м (фото 5.14).

Центр происхождения сахарного тростника – Северная Индия, где встречаются формы с наименьшим хромосомным набором. Дикая форма *Saccharum spontaneum* встречается в Восточной и Северной Африке, на Среднем Востоке, в Индии, Китае, на Тайване, в Малайзии и Новой Гвинее.



Фото 5.14. Сахарный тростник.

Культура сахарного тростника берет начало в глубокой древности. Китайцы научились рафинировать сахар уже в VIII веке. В XII веке арабы перевезли его в Египет, Сицилию и на Мальту. В 1492 году из Европы сахарный тростник был перевезен в Америку, где позже начал широко возделываться. В Европе, после того как стали получать сахар из свеклы, возделывание сахарного тростника было прекращено. Основные современные плантации его находятся в Юго-Восточной Азии (Индии, Индонезии, на Филиппинах), на Кубе, в Бразилии и Аргентине.

Размножается сахарный тростник черенками. Возделывание его требует тропического или субтропического климата при минимум 600 мм годовых осадков. Сахарный тростник – одно из наиболее эффективно использующих фотосинтез растений, способно конвертировать более 2 % солнечной энергии в биомассу. В регионах, где тростник является приоритетной культурой, таких как Гавайи, урожай составляет до 20 кг с квадратного метра.

Для добывания сахара срезают стебли до их цветения. Они содержат до 8–12 % клетчатки, 18–21 % сахара и 67–73 % воды (солей и белковых веществ). Срезанные стебли раздавливают железными валами и отжимают сок. К сырому соку прибавляют свежесжатой извести для отделения белков и нагревают до 70 °С, затем фильтруют и выпаривают до кристаллизации сахара.

Из сахарного тростника получают до 65 % мирового производства сахара. Сахарный тростник – одна из основных экспортных статей многих стран. До 1980 года лидером по возделыванию сахарного тростника являлась Индия, а с 1980-го – Бразилия. В настоящее время сахар этой культуры массово используется для получения биоэтанола, а биомасса – для приготовления пеллет.

5.14. Сахарная свекла (*Beta vulgaris* L.)

Сахарная свекла (свекла обыкновенная, или свекловица) – растение классифицируется входящим в семейство Маревых (*Chenopodiaceae*), род Свекла (*Beta*) (фото 5.15). Таким образом, сахарная свекла – разновидность обыкновенной корнеплодной свеклы. Происхождение ее – регионы Малой Азии и Средиземноморья.



Фото 5.15. Сахарная свекла.

Сахарная свекла – двулетнее корнеплодное растение. В первый год формирует розетку прикорневых листьев и утолщенный мясистый корнеплод, в котором содержание сахара достигает $\geq 20\%$ в зависимости от условий выращивания и сорта.

Любит тепло, свет и влагу. Оптимальная температура для прорастания семян $10-12^\circ\text{C}$, роста и развития $20-22^\circ\text{C}$. Всходы чувствительны к заморозкам (погибают при минус $4-5^\circ\text{C}$). Количество сахара в плодах зависит от числа солнечных дней в августе–октябре.

Это техническая культура, в корнях которой содержится много сахарозы, поэтому возделывается в основном для получения сахара.

Современные сорта и интенсивные технологии позволяют получать в среднем урожайность сахарной свеклы $500-700\text{ ц/га}$ с содержанием сахара в корнеплодах $17-19\%$ и заводским выходом до $13,5-14,0\%$.

В настоящее время сахарная свекла используется в качестве энергокультуры для получения биоэтанола.

5.15. Соя (*Glycine max* L., Merr.)

Соя культурная – однолетнее травянистое растение, вид рода Соя (*Glycine*) семейства Бобовых (*Fabaceae*). Культурная соя широко возделывается в Азии, Южной Европе, Северной и Южной Америке, Центральной и Южной Африке, Австралии, на островах Тихого и Индийского океанов на широтах от экватора до $56-60^\circ$ (фото 5.16).

Семена культурной сои, не совсем точно называемые «соевыми бобами» (англ. Soybean, soybean), – широко распространенный продукт, известный еще в третьем тысячелетии до нашей эры. Популярность пищевой сои обусловлена следующими характеристиками: высокая урожайность, высокое (до 40%) содержание полноценного белка, наличие в составе витаминов группы «В», железа, кальция, калия и незаменимых полиненасыщенных жирных кислот (линолевой и линоленовой), возможность профилактики остеопороза и сердечно-сосудистых заболеваний, обладает уникальными свойствами, позволяющими производить из нее широкий спектр разнообразных продуктов. В связи с этим соя часто используется как недорогой и полезный заменитель мяса и молочных продуктов. Также соя входит в состав кормов с/х животных.



Фото 5.16. Соя.

Стебли культурной сои – от тонких до толстых – опушенные или голые. Высота стеблей от низких (от 15 см) до высоких – до 2 и более метров. У всех видов рода Соя, включая вид культурной сои, листья тройчатосложные, изредка встречаются 5 , 7 и 9 -листочковые, с опушенными листочками и перистым жилкованием. 1 -й надсемядольный узел стебля имеет 2 простых листа (примордиальные листья). Венчик цветка фиолетовый различных оттенков и белый.

Плод сои представляет собой боб, вскрывающийся двумя створками по брюшному и спинному швам и обычно содержащий $2-3$ семени. Бобы преимущественно крупные $4-6\text{ см}$ длиной, как правило, устойчивые к растрескиванию.

Основная форма семян сои овальная, различной выпуклости. Размеры семян варьируют от очень мелких (масса 1000 семян $60-100\text{ г}$) до очень крупных (более 310 г) с преобладанием семян среднего размера – $150-199\text{ г}$. Семенная оболочка плотная, нередко блестящая, которая часто оказывается практически непроницаемой для воды, образуя т. н. «твердые» или «твердокаменные» семена. Под семенной оболочкой располагаются занимающие центральную и наибольшую часть семени крупные осевые органы зародыша – корешок и почечка. Окраска семян преимущественно желтая, изредка встречаются формы с черными, зелеными и коричневыми семенами.

Соя является одним из самых древних культурных растений. История возделывания ее исчисляется, по меньшей мере, пятью тысячами лет. Первые ее исследования в США были проведены в 1804 году в штате Пенсильвания и в 1829 -м в штате Массачусетс. К 1890 -му большинство опытных учреждений этой страны уже ставили опыты с соей. В 1898 -м в США было завезено большое количество сортов образцов ее из Азии и Европы, после чего началась целенаправленная селекция и промышленное выращивание этой культуры. В 1907 году площади под соей в США уже составляли около 20 тыс. га. В начале 30 -х годов XX века площади под соей в этой стране превысили 1 млн. га.

Соя является не только источником белка, но и масла, содержание которого в семенах колеблется от 16 до 27% . В состав сырого масла входят триглицериды и липоидные вещества. Масло сои в настоящее время широко используется для производства биотоплива.

5.16. Тарви, или люпин изменчивый (*Lupinus mutabilis* Sweet)

Растение тарви, или люпин изменчивый, рода Люпин (*Lupinus*) семейства Бобовых (*Fabaceae*) – древняя американская маслично-белковая культура [Майсурян, Атабекова, 1974 ; Купцов, 2008]. Тарви введен в сельскохозяйственную культуру в Южной Америки людьми доинкской цивилизации Чавин (Chavin) более 3000 лет тому назад. Семена тарви содержат $12-28\%$ масла, $40-54\%$ белка, $1,0-4,2\%$ алкалоидов. Как в древние времена, так и в настоящее время он в ряде стран Южной Америки возделывается преимущественно

на семена, которые после вымывания в горячей воде алкалоидов (обезгорчивание) используются в пищу. Раствор алкалоидов применяется как биоинсектицид. Высокий сухой стеблестой после уборки семян утилизируется в качестве дешевого высоко-теплотворного биотоплива. Используется в парфюмерии и ароматическое вещество цветков тарви, т.к. оно обладает приятным запахом, напоминающим аромат белой акации, точнее робинии (*Robinia pseudoacacia* L.). На исключительную важность тарви для человека в древние времена указывает факт воздвижения (при цивилизации Чавин) обелиска в память об этой культуре, который в настоящее время находится в Национальном музее Перу в Лиме. В XVII столетии тарви был интродуцирован в Европу, а затем в Африку и Австралию в качестве декоративной и сидеральной культуры.

Тарви – однолетнее прямостоячее растение до 2 м высотой (фото 5.17). Стебель имеет хорошо выраженный восковый налет. Ветвление преимущественно симподиальное. Облиственность растения умеренная. Число листьев по главному стеблю от 11 до 18 штук. Лист крупный, состоит из 5–10 удлинненно-овальных или удлинненно-обратнояйцевидных листочков, длиной от 5 до 10 см и шириной от 1,5 до 2 см. Черешок вдвое длиннее листа. Прилистники мелкие, голые, шиловидные.

Цветки крупные с очень приятным запахом. Соцветие – кисть. Мутовок в кисти 9–12 и более (по 5 цветков в мутовке). Окраска цветков разная: синяя, фиолетовая, сиреневая, розовая, бело-розовая, розово-белая и белая. В процессе вегетации она сильно варьируется. Окраска вегетативных органов – зеленая, темно-зеленая, пурпурная (антоциановая).



Фото 5.17. Цветущие растения тарви и его семена.

Семена по величине и окраске разнообразные. Кожура их гладкая, тонкая, хорошо проницаема для воды. Дикие формы его из-за наличия алкалоидов имеют горький вкус. В диком виде тарви произрастает в Южной Америке в высокогорном регионе Анд (Аргентине, Боливии, Перу, Чили, Эквадоре). Тарви по своему географическому происхождению является растением короткого дня. Традиционный регион его возделывания – земледельческий пояс Анд. Благоприятной для развития растения является почва с pH 6,5–7,5. Крупносемянные формы культуры возделываются на семена, а мелкосемянные – на зеленое удобрение. Уникальность биологии тарви заключается в его способности хорошо расти даже на малоплодородных почвах, активно усваивать азот (250–300 кг/га по д.в.) из воздуха, мобилизовать фосфор (30–50 кг/га по д.в.) из труднорастворимых соединений почвы, формировать плотный высокорослый ценоз (1,2–2,0 м), обеспечивающий сбор сухого вещества зеленой массы (до 14 т/га). Накопление в семенах тарви большого количества масла и белка обуславливает высокую удельную теплоту сгорания всей его биомассы (17,2 МДж/кг).

Энергоплантации на основе данного растения по урожайности и сбору биоэнергии с гектара приближаются к таковым на основе мискантуса, но высеваются и убираются ежегодно.

Под плантации вносятся только фосфорно-калийные удобрения в расчете 150–200 кг/га по д.в. Дорогостоящие азотные удобрения не вносят, поскольку растение обеспечивает себя азотом из воздуха.

Энергосорта тарви создаются с комплексной устойчивостью к болезням, вредителям и экстремальным факторам среды с потенциальной урожайностью сухой биомассы 14 т/га, зерновой части – 3 т/га, с удельной теплотой сгорания всей сухой биомассы ~ 17,2 МДж/кг.

5.17 Подсолнечник (*Helianthus annuus* L.)

Подсолнечник однолетний, или масличный, относится к роду Подсолнечник (*Helianthus*) семейства Сложноцветных (*Compositae*) Это – однолетнее травянистое растение (фото 5.18). Родина подсолнечника однолетнего – Северная Америка. Археологические раскопки подтверждают, что индейцы культивировали это растение более 2000 лет назад. Первые сеянцы растения были привезены в Европу испанцами, возвращавшимися из экспедиции в Новую Мексику, и посеяны в 1510 году в Мадридском ботаническом саду, а первое описание подсолнечника было дано Л'Обелем в 1576-м под наименованием «цветок солнца». Первоначально его стали выращивать в садах как декоративное растение. Иногда он использовался в медицине, а позднее и как огородное растение (на семена). Считается, что из Испании он проник в Италию и Францию, а к концу XVI века его выращивали в Бельгии, Англии, Голландии, Швейцарии, Германии, Польше и России. В настоящее время производство подсолнечника и масла из него распространено практически по всему миру. Основные площади посевов в Аргентине, Румынии, Турции, Испании, США; в России – в Поволжье, на Северном Кавказе и Алтае.

Корневая система подсолнечника масличного стержневая, проникает в почву на 2–3 м, что позволяет ему использовать влагу глубоких горизонтов. Стебель до 5 м (у масличных сортов 0,6–2,5 м), прямостоячий, преимущественно неветвящийся, покрыт жесткими волосками. Листья очередные, на длинных черешках, верхние сидячие, нижние супротивные, зеленые, овально-сердцевидные с заостренными концами, с пластиной до 40 см длиной, опушенные короткими жесткими волосками (что обеспечивает ему большую засухоустойчивость), с пильчатыми краями. Цветки в верхушечных, очень крупных соцветиях-корзинках, окруженных оберточными листьями, 30–50 см в диаметре, как и бутоны, «тянутся» к солнцу и изменяют свое направление с востока на запад в течение дня (гелиотропизм). Краевые цветки язычковые, 4–7 см длиной, обычно бесплодные; внутренние – трубчатые, обоеполые, многочисленные (500–2000). Окраска цветков от светло-желтой до темно-оранжевой, иногда фиолетовая. Венчик пятичленный. В цветке пять тычинок со свободными нитями, но со сросшимися пыльниками. Подсолнечник масличный образует чаще одно соцветие, но бывают и дополнительные отростки с малыми соцветиями.



Фото 5.18. Подсолнечник.

Цветет в июле–августе в течение 30 дней. Перекрестноопылитель (с помощью пчел, других насекомых и ветра). Пыльца золотистого цвета. Плоды – продолговато-яйцевидные семянки, слабогранистые, слегка сжатые, 8–15 мм длиной и 4–8 мм шириной, с кожистым околоплодником, белые, серые, полосатые или черные. Состоят из околоплодника (кожуры, или лузги) и белого семени (ядра), покрытого семенной оболочкой. В семенах содержится масло (около 40 %, иногда до 50–52%), белки (до 20 %), углеводы (до 25 %), стерины, каротиноиды, фосфолипиды. В семенах содержатся витамин PP и E, а также полиненасыщенные жирные кислоты (особенно линолевая) и др.

Общая потребность подсолнечника в тепле в зависимости от продолжительности вегетации различна: для короткоспелых сортов и гибридов САТ равна 1850, для раннеспелых – 2000, для среднеспелых – 2150. Средняя урожайность семян однолетнего растения составляет 10 ц/га, а максимальная урожайность достигает 45 ц/га.

Подсолнечник однолетний выращивается практически во всем мире. В первую очередь – для производства из семян подсолнечного масла, которое затем употребляется для приготовления пищи, для технических нужд (лакокрасочной промышленности и др.), а также для производства биотоплива.

Стебли растения служат сырьем для получения клетчатки и бумаги. В безлесных районах их употребляют также на топливо. Лузга подсолнечника используется для производства биотоплива – топливных брикетов.

5.18. Рапс (*Brassica napus* L.)

Рапс, или канولا, – травянистое растение рода Капуста (*Brassica*) семейства Крестоцветных (*Brassicales*), естественный амфидиплоид, в происхождении которого участвовали сурепица и капуста (фото 5.19). Он является важной масличной культурой.



Фото 5.19. Рапс.

Корень стержневой, веретеновидный, утолщенный в верхней части, разветвленный. Основная часть разветвленных корней сосредоточена на глубине 20–45 см, но к периоду созревания семян может распространяться и в горизонтальном направлении. Толщина корня до 3 см, он проникает в почву до 3 м у рапса озимого и до 2 м – у ярового.

Стебель прямостоячий, округлый, разветвленный с 12–25 ветвями первого и последующего порядков. Высота стебля – 60–190 см, толщина – 0,8–3,5 см. Окраска его зеленая, темно-зеленая, сизо-зеленая, он покрыт восковым налетом.

Листья очередные, черешковые, в нижней части стебля лировидно-перистонадрезанные с овальной или округлой тупой верхней долей, иногда слабоволнистой, образуют компактную прикорневую розетку; средние листья – удлинено-копьевидные; верхние – удлинено-ланцетные, сидячие, цельнокрайние с расширенным основанием, на 1/3–2/3.

Цветки собраны в кистевидные (щитковидные) рыхлые соцветия.

Плод – узкий прямой или слегка согнутый стручок, длиной 6–12 см, шириной 0,4–0,6 см. В стручке 25–30 семян округло-шаровидной формы, слегка ячеистых, серовато-черной, черно-сизой или темно-коричневой окраски. Семена очень мелкие, диаметр семени 0,9–2,2 мм, масса 1000 семян 2,5–5 г у рапса ярового и 4–7 г – у озимого. Семена сохраняют всхожесть 5–6 лет.

Рапс – однолетнее растение длинного дня, холодостойкое, требовательное к влаге и плодородию почвы, хорошо произрастает в умеренной зоне. При укорочении светового дня вегетативная масса увеличивается, а семенная продуктивность снижается. Различают озимые и яровые формы. Размножается он семенами. Семена рапса ярового прорастают при температуре 1–3 °С, (озимого – 0,1 °С), всходы переносят заморозки до –5 °С (взрослое растение до –8 °С), оптимальная температура для прорастания 14–17 °С. Рост и развитие растений до фазы стеблевания происходят медленно. В это время образуются мощная корневая система и розеточные листья. Диаметр розетки у рапса озимого должен быть 30–60 см, недостаточно развитые растения погибают зимой.

Рапс озимый сильно повреждается ледяной коркой, страдает от выпирания, вымокания, бактериоза корней. Весной через 2 недели после отрастания начинаются фазы стеблевания и бутонизации. Период бутонизации – цветения продолжается 20–25 дней, цветение – 25–30 дней. От конца цветения до созревания семян проходит 25–35 дней. Вегетационный период у рапса озимого составляет 290–320 дней, у ярового – 80–120. Сумма активных температур, необходимая для формирования урожая семян, 1800–2100 °С, зеленой массы – 780–800 °С. За период вегетации рапс потребляет в 1,5–2 раза больше воды, чем зерновые культуры. Поэтому в засушливые годы его урожайность сильно снижается, хорошие урожаи он дает на умеренно засоленных почвах с кислотностью в диапазоне pH 6,5–6,8.

По способу опыления рапс – факультативный самоопылитель. Перекрестное опыление в разных условиях выращивания достигает 30 %. Пыльца переносится в основном насекомыми.

Относительно места происхождения культуры до сих пор нет единого мнения. Большинство ботаников относят род *Brassica* и, в частности, рапс к Средиземноморскому центру происхождения культурных растений. Дикорастущий рапс неизвестен, но во многих странах Европы, Азии, Америки и Северной Африки он встречается в одичалом состоянии как сорняк. По мнению Е.Н. Синской, растение происходит из Европы. Его родина – Англия и Голландия, откуда он в XVI веке распространился в Германию, затем в Польшу и Западную Украину. В России как масличную культуру его начали возделывать с начала XIX века.

В настоящее время основные направления в селекции рапса – пищевое, техническое и кормовое. Экономическое его значение к концу XX века существенно выросло в связи с тем, что он начал использоваться для получения биодизеля. Для энергетического использования селекционируются сорта, которые содержат в семенах повышенное количество масла.

Лучшие почвы для выращивания культуры – глубокие структурные суглинистые и глинистые с большим запасом микроэлементов и питательных веществ, с водопроницаемой подпочвой. При недостаточном количестве микроэлементов и питательных веществ (бедные и истощенные почвы) необходимо вносить макроудобрения (NPK) и микроудобрения. Нормы высева всхожих семян рапса на 1 га для сортов – 0,8–1,2 млн. шт., а гибридов – 0,5 млн. шт.

В связи с тенденцией роста цен на ископаемое топливо производство биодизеля на основе рапсового масла становится все более привлекательным. В пятерку крупнейших его производителей входят Европейский союз, Китай, Канада, Индия и Украина.

5.19. Горчица белая (*Sinapis alba* L.)

Горчица белая, или синапис, – растение семейства Крестоцветных (*Brassicales*). Родиной ее считается Азия. Название рода *Sinapis* происходит от греч. σίνος (sinos) – вред и ὄψις (opis) – зрение, так как при растирании семян с водой выделяется эфирное горчичное масло, которое вызывает слезотечение.

Горчица белая – однолетнее травянистое растение с цельными или лировидными листьями (фото 5.20). Чашелистики отстоящие. Лепестки желтые, отгиб обратно-овальный, ноготок короче отгиба. Внутри у основания коротких тычинок по одной почковидной или прямоугольной медовой железке и по одной языковидной железке перед каждой парой длинных тычинок. Завязь сидячая. Столбик постепенно переходит в носик зева. Рыльце большое, слегка двухлопастное.

Плод – двустворчатый стручок с длинным, немного сжатым с боков или обоюдо-острым носиком. Створки стручка с 3–5 продольными жилками, твердые, выпуклые, бугорчатые. Перегородка толстоватая, с очень толстостенными, многоугольными стенками эпидермиса. Семена шаровидные, расположены в один ряд. Семядоли двулопастные, корешок зародыша лежит в желобке, образованном сложенными вдоль семядолями. Волоски простые.



Фото 5.20. Горчица белая.

Семена содержат до 35 % жирного масла и приблизительно 1 % эфирного аллилового масла.

Горчица белая к условиям окружающей среды неприхотлива, растет почти на всех видах почв, за исключением легких песчаных. Корневая система имеет способность усваивать питательные вещества из труднорастворимых форм калия и фосфора, поэтому может расти на низкоплодородных почвах с слабокислой реакцией. Культура холодостойкая, семена прорастают при температуре 1–3 °С, всходы в фазе розетки выдерживают кратковременные весенние заморозки до минус 7–9 °С. Оптимальная влагообеспеченность – 350–450 мм за вегетационный период. Благодаря ранним срокам посева она наиболее эффективно использует осенне-зимние запасы влаги.

Горчица – ценный предшественник для зерновых колосовых культур: рано покидает поле; ее мощная корневая система, проникая на глубину более 1,5 метра, хорошо дренирует почву и обогащает ее органическими веществами; корневые и пожнивные остатки угнетают развитие болезней, возбудители которых хранятся в почве.

В хозяйственных целях, в том числе и для получения биотоплива (из масла семян), используется преимущественно горчица белая или английская (*Sinapis alba* L.). Она выращивается во многих странах мира. Канада является крупнейшим в мире производителем

семян горчицы, за ней следуют Китай и Индия. Урожайность их ~ 18 ц/га, урожайность зеленой массы – 250–300 ц/га.

В некоторых странах горчицей (англ. mustard) называют и выращивают другие виды растений – oriental mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.) и black mustard (*Brassica nigra* (L.) K.Koch).

5.20. Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.)

Топинамбур (земляная груша, иерусалимский артишок) – клубненосное многолетнее растение семейства Сложноцветных (*Compositae*), которое является нетрадиционной для Европы сельскохозяйственной культурой [Горный, 2000; 2007; Рейнгардт, 2008; Зеленков, Романова, 2012; Шаззо и др., 2013]. Родина топинамбура – Северная Америка, где в настоящее время в естественных условиях близ североамериканских Великих гор он занимает обширные площади. Культура известна человеку более 4 тысяч лет. В первом тысячелетии до нашей эры топинамбур уже входил в земледелие местных индейцев. Известно, что они употребляли его в пищу. В Европу был завезен в XVII веке.

Топинамбур – неприхотливое растение. Стебель прямостоячий, хорошо облиственный, высотой до 0,8–4 метров (фото 5.21). Окраска стебля зеленая, но некоторые сорта имеют фиолетовый оттенок. На главном стебле, в зависимости от сорта и густоты посадки, может формироваться до 20 и более ветвей. Листья большие, шероховатые, овальной формы.

Соцветие – многоцветковая корзинка с яркими желтыми цветками. Плод – мелкая семянка, сходная с подсолнечником. Масса 1000 семян – 7–9 г. Корневая система мочковатая, проникает на глубину до 2 м. Стебель под землей образует многочисленные подземные побеги – столоны. На концах столонов образуются клубни. Окраска клубня в зависимости от сорта бывает белой, желтой, фиолетовой, с красным, светло-коричневым и другими оттенками. Преобладающая форма клубня грушевидная, может быть яйцевидной, продолговато-овальной и веретеновидной. Клубни, как правило, имеют неровную поверхность с наростами (детками). Новые сорта отличаются более гладкой поверхностью. Одно растение формирует до 20–30 и более клубней. Масса клубня в зависимости от сорта и условий выращивания составляет от 10 до 150 г. Отдельные клубни достигают веса 120–140 г, но в большинстве – 30–60 г. Клубни не имеют пробкового слоя, потому при хранении, если не создать необходимых условий, теряют влагу, становятся вялыми.



Фото 5.21. Топинамбур.

Для топинамбура характерны исключительно высокая холодостойкость и морозостойкость. Весной всходы переносят заморозки до минус 3–5 °С. Клубни хорошо зимуют в почве. Под снегом не погибают, переносят морозы до минус 20–40 °С и ниже. Растение устойчиво к непродолжительным засухам и относительно хорошо переносит высокие температуры воздуха. Болезнями поражается мало. Он успешно произрастает на всех видах почв, за исключением сильнокислых и заболоченных. Но особенно пригодны для него песчаные, супесчаные и легкосуглинистые. Установлено, что топинамбур отзывчив

на удобрения. Известкование, а также применение органических и минеральных удобрений на низкоплодородных почвах обеспечивают повышение урожая клубней и надземной массы в 1,5–2 раза и более.

По экспертным оценкам (ВНИИ картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха, РФ), общий энергетический баланс (отношение полученной энергии к затраченной в процессе) получения биоэтанола из топинамбура при утилизации всей побочной продукции превышает 3,5. В расчете на единицу площади посадок топинамбура и посевов зерновых (пшеницы, ячменя) выход спирта из топинамбура выше, чем у других культур. При переработке клубней величина этого показателя ~ 100 л/т, а из листостебельной массы – 50 л/т.

Топинамбур характеризуется высокой биологической продуктивностью. Хозяйственную ценность у него составляют надземная (зеленая масса) и подземная части (клубни). В США, Канаде, Бразилии, Франции, России и других странах на плодородных землях при внесении необходимых доз органических и минеральных удобрений и отношении к топинамбуру как к основной сельскохозяйственной культуре урожай зеленой массы достигает 120–150 т/га, а клубней 100–120 т/га. Суммарный сбор биомассы – от 200 до 270 т/га и более, и такие урожаи считаются нормой. Введение топинамбура в промышленную культуру сдерживается ввиду его недостаточной изученности, отсутствием технологии и системы машин, а также разработок по вопросам использования и переработки. Производству предлагались, как правило, природные видообразцы и формы, а также старые сорта, которые имели низкую продуктивность зеленой массы и мелкие с наростами клубни, непригодные для механизированной уборки и переработки. К настоящему времени в мировой практике насчитывается более 500 сортов культуры. В Российской Федерации районировано 6 сортов, Украине – 8, Беларуси – 3, один сорт районирован в 1963 году (сорт Находка) и два в 2012-м (Десертный, Сиреники 1). В Беларуси топинамбур все еще остается редкой, нетрадиционной культурой, не получившей распространения в условиях интенсивного земледелия. Следует отметить, что уже на первом международном конгрессе «Топинамбур и другие энергетические культуры», состоявшемся в Южной Корее в 1985 году с участием США, Англии, Канады и других индустриально развитых стран, одним из главных итогов было признание биомассы топинамбура в качестве одного из важнейших видов энергоресурсов. За рубежом во многих странах в последние 15 лет топинамбур изучается и рассматривается в производстве в качестве возобновляемого энергоресурса. Выработка биоэтанола из инулин-содержащего сырья, главным образом – клубней топинамбура, ставит основной целью получение этого продукта для использования как горючего, так и исходного сырья для химического синтеза различных веществ.

В ряде стран мира – Франции, Германии, Австрии, Англии, Ирландии, Италии, Испании, Норвегии, Нидерландах, США, Канаде, Бразилии, Южной Корее, Венгрии, Югославии, Австралии – особенно в последнем десятилетии развернута научно-исследовательская работа по топинамбуру в различных направлениях его использования. В настоящее время в мировом земледелии он занимает 2,5 млн. га, распространен во многих странах, особенно во Франции, где его площади достигают 250 тыс. га. В США его площади с 1981 по 1990 год выросли с 400 га до 700 тыс. га. В Германии, Польше, Венгрии его выращивают главным образом как кормовую культуру для выпаса и откорма свиней. Значительные площади занимает топинамбур в Скандинавских странах, Англии, Японии, КНР, в странах Малой Азии. В Австрии культура занимает площадь в 130 тыс. га.

5.21. Мискантус (*Miscanthus*)

Мискантус – быстрорастущий тростник семейства Мятликовых (*Poaceae*) (фото 5.22). Известно около 16 видов этого растения, которые распространены в тропической, субтропической и умеренно-теплых зонах Азии, Африки и Австралии. В Великобритании и других

странах Европы практикуется возделывание видов *Miscanthus × giganteus* J.M.Greef, Deuter ex Hodk., Renvoize и *Miscanthus sinensis* Andersson. По энергетической ценности тонна сухой массы мискантуса эквивалентна 400 кг сырой нефти. Растения мискантуса могут существовать на одном участке в течение 15–20 лет, достигать до 3,5 м в высоту и давать ежегодный урожай сухой массы 12–18 т/га. Мискантус в сравнении с пшеницей требует в 2–3 раза меньших затрат. Имеется значительное количество публикаций по сравнительному анализу эффективности возделывания, использования мискантуса и других энергетических культур в различных условиях [Булаткин, Митенко, 2007; Ключков, 2009; Цыганов, 2012].



Фото 5.22. Мискантус.

В Российской Федерации (на Дальнем Востоке) известны 2 вида мискантуса. Многолетники 0,8–3 м высотой, обычно образующие крупные, довольно рыхлые дерновины с ползучими корневищами. Для уборки урожая применяются обычные кормоуборочные комбайны или пресс-подборщики, а полученная масса может использоваться непосредственно для производства тепла, перерабатывается в топливные брикеты, пеллеты или гранулы.

Выращивание культуры выгодно только в больших масштабах (для снижения себестоимости) и при получении урожая не менее 15 т/га. Доходность также может быть повышена, если использовать часть посевов для последующего размножения культуры и продажи рассады. Так, по данным английской фирмы BICAL, мискантус при средней урожайности ≥15 т/га и стоимости урожая ≥49 евро/т имеет существенные преимущества по выходу энергии в сравнении с другими энергокультурами.

Разновидности мискантуса, которые выращиваются на энергоплантациях Европы, происходят из Азии и имеют высокий потенциал роста. Мискантус, например, выращиваемый в Великобритании, высаживается весной и после посадки может расти в течение 15–20 лет. Первый год рост недостаточен, чтобы в экономическом отношении стоило собирать его урожай. Новые побеги появляются каждый год примерно в марте, быстро развиваясь в июне-июле и производя подобный бамбуку тростник. Мискантус отмирает осенью-зимой, листья опадают, обеспечивая почву органическим веществом. Стебли мискантуса убирают зимой или в начале весны. В дальнейшем энергоплантации его обеспечивают ежегодно урожай биомассы и доходы.

При возделывании мискантуса затраты значительно ниже, чем для других сельскохозяйственных культур. Его длительное культивирование увеличивает биологическую вариативность дикой природы (разнообразие животного мира) и позволяет получать приемлемый урожай для энергетического использования.

5.22. Арундо тростниковый (*Arundo donax* L.)

Арундо тростниковый, или тростник гигантский, – многолетнее травянистое растение семейства Мятликовых (*Poaceae*) (фото 5.23). Предполагается, что место его происхождения – Восточная Азия, Индия или Средиземноморье.



Фото 5.23. Арундо.

Арундо растет часто густыми зарослями по берегам рек и на стоячих водах, в илистом грунте, а также в сухих местах. Это многолетняя трава, с высоким (до 8 м) стройным колосчатым стеблем, очень жестким и деревянистым, а внутри пустым трубчатым. Стебель прямой, диаметром 1–5 см. Междоузлия утолщены. Растение формирует короткие, но толстые, деревянистые корневища.

Его побеги ежегодно отрастают от горизонтальных корневищ и за лето вырастают до 6–8 м высоты, достигая толщины 5 см.

Листья узкие, длинные, лентообразные, как у всех злаков, обхватывают стебель почти наполовину своей длины. Каждый лист отчетливо разделен главной жилкой на две линейные части. Листья линейно-ланцетные, 30–60 см и 1–8 см шириной. Как правило, они длиннее междоузлий и не опушены, кроме небольшого числа волосков на длинном клиновидном конце листа. Лигула – 0,7–1,5 мм.

Цветы мелкие, собраны наверху стебля густой и большой пушистой метелкой, состоящей из множества мелких колосков по 2–7 цветков в каждом; кроющие чешуи почти одной длины с цветами; наружная цветочная чешуя на верхушке трехраздельная, остистая; стерженьки колосков усажены длинными волосками; столбики длинные, на верхушке перистые.

Арундо тростниковый издревле выращивался в Азии и Средиземноморье, откуда начал расширять ареал. В начале XIX века он был интродуцирован в Калифорнию и оттуда быстро распространился в другие регионы Америки. В настоящее время широко распространен в тропиках и субтропиках Старого и Нового Света, а также в Океании. Благодаря быстрому росту, высокой урожайности биомассы и неприхотливости этот вид возделывается на энергоплантациях в странах Южной Америки, США, Италии, Франции.

На 1 га зрелой плантации развиваются от 350 тыс. до 1 млн. побегов. Урожайность зеленой массы достигает 100–200 т/га, а сбор сухой массы обычно колеблется в пределах 25–50 т/га. По продуктивности 1 га плантации арундо эквивалентен 25–30 га традиционного леса. Его биомасса – прекрасный заменитель древесины, которая является высококачественным сырьем для получения различных видов биотоплива и особенно биотоплива второго поколения. Энергоплантации арундо могут эксплуатироваться до 50 лет и более.

5.23. Просо прутьевидное, или свитчграсс (*Panicum virgatum* L.)

Свитчграсс, или просо прутьевидное гигантское, относится к роду Просо (*Panicum*) семейства Мятликовых (*Poaceae*), с присущим ему C_4 путем фотосинтеза (фото 5.24). В дикой природе встречается в Северной Америке, в основном в США (кроме западных штатов).

Свитчграсс – многолетнее травянистое растение 60–180 см высотой, формирующее разрастающиеся густые кусты. Корневища ползучие с кожистыми чешуевидными листьями.



Фото 5.24. Просо прутьевидное, или свитчграсс.

Стебли многочисленные, прямостоячие, жесткие, тонкие или плотные, пурпурные или сизовато-зеленые. Листья прямостоячие, в верхней половине дуговидно поникающие, до 60 см длиной и 1,5 см шириной, линейные, плоские, голые, гладкие, зеленые, осенью приобретают желтый цвет. Метелки 20–50 см длиной и до 25 см шириной, сначала плотные, сжатые, довольно узкие, затем широко раскидистые, рыхлые, открытые, сначала зеленые, затем приобретающие пурпурный или красноватый оттенок. Веточки многочисленные, раскидистые до горизонтальных, жесткие. Колоски немногочисленные, 0,5–0,6 см длиной, яйцевидные. Нижние цветковые чешуи 0,2–0,3 см длиной, кожистые, блестящие. Цветет в августе–сентябре. Морозостойкость: выживает при понижении температуры до -28°C . В культуре с 1781 года. Довольно распространен. Имеет высокодекоративные сорта. Может расти в трудных почвенно-климатических условиях. Свитчграсс не требует высоких доз удобрений и не нуждается в средствах защиты. Урожайность биомассы – от 15 до 25 тонн с 1 га.

Биомасса свитчграсса широко используется для изготовления топливных пеллет, а также жидкого биотоплива (этанола). Например, из 1 тонны биомассы можно произвести до 380 л этанола – это ~ 9500 л этанола с 1 га (в то время как из сахарной свеклы только 6200 л/га и из кукурузы ~ 3800 л/га).

5.24. Люпин ползучий (*Lupinus repens* Kuptzov N. & Miron.)

Люпин ползучий – многолетнее корнеотпрысковое растение (фото 5.25) из рода Люпин (*Lupinus*) семейства Бобовых (*Fabaceae*) [Купцов, Такунов, 2006]. Родиной растения считается Северная Америка.

При посеве весной семенами растения ползучего люпина в первый год жизни развиваются очень медленно, образуя лишь небольшую розетку длинно-черешковых прикорне-



Фото 5.25. Люпин ползучий.

вых листьев. Лист сложный пальчатый, состоит в основном из 7–9 линейно-ланцетовидных листочков. Верхняя сторона их почти голая, нижняя – опушена редкими волосками. Прилистники шиловидные слабоопушенные, лист короче черешка в 2 раза и более. Окраска листа темно-зеленая, черешка – темно-зеленая или розоватая (антоциановая). Лист ползучего люпина имеет дорзовентральную структуру, уклоняющуюся в ксероморфную сторону. Это свойство листа способствует оптимизации водного режима и процесса фотосинтеза. К концу первого года жизни верхняя часть главного корня формирует корневую шейку, заканчивающуюся сильно укороченным главным стеблем, который располагается на уровне почвы или немного возвышается над ней. В пазухе листьев и на корневой шейке образуются почки. Растения ползучего люпина до конца вегетационного периода остаются в фазе розетки длинночерешковых листьев. К осени его стержневой корень достигает длины 30–40 см. Перед уходом под зиму листья засыхают, живыми сохраняются только корневая система, укороченный главный стебель с корневой шейкой и находящиеся на них почки.

На втором году жизни ползучий люпин начинает отрастать в середине апреля – первых числах мая. Во время вегетации второго года жизни в пазухах листьев и на корневой шейке продолжают образовываться новые почки и укороченные пазушные побеги. Стержневой корень углубляется и сильно разрастается в толщину. К концу вегетационного периода стержневой корень на глубине 5–10 см имеет два-три очень крупных боковых корня, на каждом из которых располагаются корнеотпрысковые почки. Перед уходом под зиму все листья засыхают, живыми остается укороченный главный стебель с корневой шейкой, сильно укороченные пазушные побеги, корень и находящиеся на них почки.

На третьем году жизни ползучий люпин отрастает в середине апреля – первых числах мая. В начале вегетации растение, помимо среднего размера розетки листьев, образует прямые, в поперечнике округлые слабоопушенные стебли. Кроме того, вокруг материнского растения из корнеотпрысковых почек вначале появляются розетки листьев, а потом и побеги-отпрыски. Материнское растение ползучего люпина образует вокруг себя очаг центробежно распространяющихся корневых отпрысков.

В конце мая растение зацветает. При этом первым зацветает главный стебель, образовавшийся в первый год жизни растения (в год посева), затем пазушные побеги. Последними зацветают корнеотпрысковые побеги. Главный, пазушные и корнеотпрысковые стебли почти безлистные, но каждый из них окружен розеткой листьев средних размеров.

Соцветие люпина ползучего верхушечное среднее по величине, плотное, почти мутовчатое. Цветки розовато-синие, синие, на коротких цветоножках. Это в основном перекрестно опыляющееся растение, но завязывает семена и при самоопылении. Плод – бобы небольшие, узкие, обычно 2–4-семенные. Бобы созревают в конце июня или начале июля. При созревании растрескиваются, семена из них разбрасываются. Семена мелкие, более или менее овальные, слабосдавленные с темно-коричневой или почти черной гладкой кожурой. Семена, как и зеленая масса растений, горькие, они обладают свойством твердости, и перед посевом требуется их скарификация.

Необходимо особо отметить, что к стадии бутонизации люпин ползучий формирует мощную корнеотпрысковую систему (≥ 3 т/га с.в.) и низкотравную ковровую надземную биомассу (10–20 см), не превышающую порога вредности сорняков (0,4–0,6 т/га с.в.). Это ковровое покрытие люпина ползучего представляет собой биогербицидный экран (фото 5.26), препятствующий появлению и развитию сорной растительности.

В диком виде люпин ползучий произрастает в Северной Америке. Из Американского генетического центра он был интродуцирован в XX веке в Европу, где осуществляется его натурализация, ведутся ботанические и генетико-селекционные исследования.



Фото 5.26. Биогербицидный экран, образованный люпином ползучим (фото А. Бугровой).

Основные хозяйственно-ценные признаки люпина ползучего:

- корнеотпрысковость, обеспечивающая надежное многолетие;
- низкотравность плотного ценоза;
- холодостойкость;
- раннее (в июле) созревание семян.

В настоящее время люпин ползучий может с успехом использоваться в качестве многолетней сидеральной культуры в лесоводстве (для посева в междурядьях лесных посадок), в садоводстве (посев вокруг кустарников и стволов деревьев), в полеводстве (неотъемлемый элемент ноотерры, см. гл. 7.5), а также применяться для окультуривания малоплодородных земель и как эффективное противозерозионное биологическое средство. В городском зеленом строительстве люпин ползучий может применяться как декоративное, сидеральное, пыле- и грязестабилизирующее фитосредство.

Растение также может использоваться в качестве основного рабочего биоэлемента фиксации азота из воздуха и перевода труднорастворимых соединений фосфора в легкодоступные и их накопление в биомассе на *биофазах* (фосфорно-азотно-туковых, например, использующих в качестве сырья томасшлак).

В ближайшем будущем большие перспективы для люпина ползучего открывает создание его стабильно сладких сортов, которые могут использоваться в качестве кормовых на пастбищах и в лесах.

С развитием в мире энергоплантаций культура имеет возможность стать их неотъемлемым элементом, выполняющим следующие функции:

- азотфиксатора, фосфат-мобилизатора и биогербицидного экрана;
- перманентного поставщика в почву свежего органического вещества, что является особо необходимым при постоянном применении нулевой обработки и прямого сева (No-Till-технологии, см. гл. 7.2).

Большую ценность люпин ползучий представляет собой как источник генов признака «корнеотпрысковость» для передачи их другим видам люпина.

5.25. Водоросли (альгакультура)

В последнее время многие виды водорослей начали широко использоваться в качестве экономически выгодного источника для производства биотоплива. В частности, ряд коммерческих компаний при поддержке правительственных органов разработали и построили фабрики, на которых получение биотоплива из водорослей экономически более рентабельно, чем добыча ископаемых видов топлива (нефти). Дополнительная выгода заключается в том, что водоросли при культивировании не выделяют, а поглощают CO_2 , который для них является важным питательным элементом (строительным материалом)

при фотосинтезе. В свое время мировые энергетический и продовольственный кризисы подстегнули развитие этого направления биоэнергетики (algaculture, farming algae). Мощным позитивом здесь является экологическая выгода – отсутствие вредных отходов производства биотоплива из водорослей.

В 2012 году начаты исследования следующих потенциально перспективных для производства масла видов водорослей:

Botryococcus braunii;
Dunaliella tertiolecta;
Gracilaria sp.;
Pleurochrysis carterae (CCMP647);
Sargassum sp.

Количество продуцируемого водорослями масла варьирует в зависимости от их видовой принадлежности (% сухого вещества):

<i>Ankistrodesmus</i> TR-87:	28–40 %;
<i>Botryococcus braunii</i> :	29–75 %;
<i>Chlorella sp.</i> :	29 %;
<i>Chlorella protothecoides</i> :	15–55 %;
<i>Cryptocodinium cohnii</i> :	20 %;
<i>Cyclotella</i> DI-35:	42 %;
<i>Dunaliella tertiolecta</i> :	36–42 %;
<i>Hantzschia</i> DI-160:	66 %;
<i>Nannochloris</i> :	6–63 %;
<i>Nannochloropsis</i> :	31–68 %;
<i>Neochloris oleoabundans</i> :	35–54 %;
<i>Nitzschia</i> TR-114:	28–50 %;
<i>Phaeodactylum tricornutum</i> :	31 %;
<i>Scenedesmus</i> TR-84:	45 %;
<i>Schizochytrium</i> :	50–77 %;
<i>Stichococcus</i> :	9–59 %;
<i>Tetraselmis suecica</i> :	15–32 %;
<i>Thalassiosira pseudonana</i> :	21–31 %.

Себестоимость биотоплива, произведенного из масла водорослей, за счет прогрессивной технологии становится ~ в 100 раз, чем из ископаемых видов топлива (в т.ч. на единицу производственной площади).

Глава 6

Основы технологий возделывания перспективных для условий Беларуси энергокультур

Технологии возделывания в Беларуси традиционных сельхозкультур, используемых в качестве энергокультур (рапса, сахарной свеклы, тритикале, кукурузы и др.), подробно изложены в отраслевых регламентах (Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 288 с.).

Ниже приведены в краткой форме технологии возделывания некоторых перспективных для условий Беларуси новых (нетрадиционных) энергокультур: ивы, тополя, топи-намбура, мискантуса, тарви.

6.1. Возделывание ивы

Исследования по возделыванию быстрорастущей ивы, проводимые сотрудниками кафедры энергоэффективных технологий МГЭУ им. А.Д. Сахарова с 2005 года на различных типах почв в Могилевской, Минской, Гродненской, Брестской областях, показали возможность получения высоких урожаев древесины ивы в почвенно-климатических условиях и сложившейся системе сельхозпроизводства Беларуси. В частности, полевые эксперименты были заложены на песчаных, связанных супесчаных, суглинистых почвах и на выработанных и деградированных торфяниках. Выход биомассы в среднем за 3 года в пересчете на 10-процентную влажность составил: на выработанных торфяниках – 7,6 т/га, на деградированных торфяниках – более 12 т/га, на суглинистых почвах – более 9 т/га. На основании результатов многолетних исследований [Родькин, 2011, 2013] установлены требования к выполнению технологических операций возделывания ивы для использования ее биомассы в производстве биотоплива, которые кратко приведены далее.

Технология возделывания ивы

1. Требования к почвам

1.1. Иву возделывают на дерново-подзолистых, дерново-глебоватых, среднесуглинистых, супесчаных, а также торфяно-болотных почвах (выработанных и деградированных торфяниках) с уровнем стояния грунтовых вод 1,5–4,0 м.

1.2. Непригодны для возделывания ивы песчаные почвы с низкой и неустойчивой влагообеспеченностью, тяжелые глинистые почвы, а также участки, засоренные многолетними корневищными и корнеотпрысковыми сорняками.

1.3. Оптимальные значения pH почвы в диапазоне 5,0–6,0. Растет ива также и на почвах с нейтральной реакцией (pH 7,0). Почвы с кислотностью pH ниже 5 необходимо предварительно известковать.

1.4. По содержанию подвижных элементов фосфора и калия используются почвы с низкой и средней обеспеченностью. Содержание гумуса – не менее 1,4 %.

2. Выбор предшественника

2.1. Закладку плантаций ивы следует размещать на выводных полях севооборота, так как средний срок промышленной эксплуатации однократно заложённой плантации 20–25 лет.

2.2. Выбор предшественника в конкретных условиях определяется с учетом достаточной обеспеченности почвы элементами питания и ее дренированности.

2.3. Посадку ивы лучше размещать после зерновых культур, кукурузы и на полях окультуренных сенокосов и пастбищ.

2.4. Нежелательно использовать задерненные участки природных сенокосов и пастбищ.

3. Обработка почвы

3.1. Подготовку участка необходимо начинать в год, предшествующий закладке энергоплантации ивы. Обязательным условием является внесение глифосатных гербицидов сплошного действия типа «Раундапа» или его аналогов (4–6 л/га).

3.2. После окончания периода ожидания действия гербицидов (2–3 недели), когда погибнет вся растительность, на поле зернового предшественника производится вспашка, а на участках сенокосов и пастбищ – дискование, вспашка и последующее дискование.

3.3. При кислотности почвы pH ниже 5 проводится известкование почвы. Известковые удобрения вносятся под вспашку для лучшего перемешивания с почвой и нейтрализации кислотности.

3.4. Весной перед посадкой проводится обработка участка чизелем или тяжелыми дисковыми боронами и 2–3 культивации на глубину 10–12 см.

4. Выбор сорта

4.1. Для посадки следует использовать сорта ивы, внесенные в Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород Республики Беларусь: Бачку, Дрину, Волмянку.

4.2. Для стабильного выхода древесной биомассы независимо от сложившихся на определенный период погодных условий целесообразно использовать 2–3 разных сорта ивы, что обеспечивает более высокий выход биомассы, повышает сопротивляемость к болезням, снижает воздействие паразитов.

5. Подготовка посадочного материала

5.3. Черенки для закладки плантаций заготавливают поздней осенью либо в ранневесенний период после прекращения сильных морозов и до начала распускания почек. Для производства черенков срезают 1-2-летние побеги длиной 1–2 м. Нарезку побегов проводят за 3–7 дней до посадки черенков секаторами, а очистку – коротким садовым секатором или садовым ножом. Заготовленные таким образом хлысты для простоты учета увязывают в пачки по 50 или 100 штук. Боковые ветки толщиной 7–20 мм тоже можно использовать как посадочный материал.

5.2. Заготовленный посадочный материал (хлысты) до момента нарезки на черенки хранят в специальном помещении при температуре от 0 до +6 °C и умеренной влажности для предотвращения распускания почек.

5.3. Черенки длиной по 22–25 см нарезают из хлыстов, оптимальная их толщина – 0,7–2 см. Для удобства транспортировки и расчета количества посадочного материала на участок черенки увязывают в пучки по 100 штук в каждом. Верхнюю часть нарезанных и упакованных черенков окрашивают для маркировки.

5.4. Черенки хранятся в картонных коробках в связках. Оптимальная температура хранения черенков – от 0 до +4 °C.

5.5. Перед посадкой черенки на 1–2 суток замачивают в воде с добавлением стимуляторов роста («Циркон», «Новосил»). Применение их повышает степень приживаемости черенков на 30–40 %.

6. Посадка черенков

6.1. Ива высаживается ленточным способом. Расстояние между лентами – 140–150 см, между рядками в ленте – 70–75 см, между растениями – 60 см. Густота посадки – 15–18 тыс. черенков на 1 га.

6.2. Черенки высаживаются в почву на глубину 15–20 см с оставлением над поверхностью верхушки 1–2 см. Для подготовки ровных посадочных борозд используется культиватор с дисковыми рабочими органами.

6.3. Посадка осуществляется вручную или механизированно. При ручной посадке используется меч лесовода. Для механизированной используют специальные посадочные машины (например, Step 2-6A Modular, фирмы Salisphere, Швеция).

7. Система удобрений

7.1. Получение высокой продуктивности ивы требует дополнительного применения удобрений. Объемы и вид удобрений зависят от плодородия почвы и содержания в ней питательных элементов.

7.2. Основным элементом, необходимым растениям ивы, является азот (N). Фосфор (P) и калий (K), вносятся при невысоком содержании их в почве.

7.3. Хороший эффект обеспечивает локальное внесение невысоких стартовых доз удобрений одновременно с посадкой ивы. Основным сроком внесения является второй год выращивания и первый год производственной эксплуатации плантации.

7.4. Обязательно дополнительное внесение удобрений на следующий год после каждой уборки ивы для обеспечения быстрого отрастания деревьев.

7.5. Средние дозы внесения удобрений составляют:

- при закладке плантации N30P50K70;
- на 2-й год вегетации N40P20K50;
- после каждой уборки урожая биомассы N50P30K60.

Оптимальным является локальное внесение удобрений во время междурядной обработки растений ивы.

7.6. Эффективным приемом на посадках ивы является применение микроудобрений, особенно на выработанных торфяных почвах, где их содержание невысоко.

7.7. Рациональным для посадок ивы является внесение органических удобрений, в том числе жидких навозных стоков и грязевых осадков с полей фильтрации, очистных сооружений и биологических прудов. Применение органических удобрений позволяет в несколько раз снизить потребность в минеральных удобрениях.

8. Уход за посадками

8.1. Прополка сорняков в плантации проводится дважды за период вегетации при достижении ими высоты 10–12 см. Применяют гербициды по вегетирующим растениям: «Фюзилад супер ЕС», «Тарга 10ЕС», «Тарга Супер 5ЕС».

8.2. При проведении операций по контролю за сорняками механическими способами используются пропашные культиваторы типа ОКГ-4, АК-2,8, КНО-2,8.

8.3. Защите энергоплантаций быстрорастущей ивы от вредителей (ольхового долгоносика, паутинного клещика, тополевого бражника, ивовой волнянки, тли ивовой, тополевого листоеда, ивового шелкопряда-листовертки и др.) уделяется значительное внимание. При достижении ими порога вредоносности, установленного для плантаций плодовых растений, применяются разрешенные инсектициды.

9. Подрезка растений и уборка

9.1. В первый год выращивания при благоприятных условиях высота растений составляет от 1,8 до 2,4 м, количество побегов на 1 растении – от 1 до 3. Скашивание растений ивы в конце первого года выращивания является обязательным приемом с целью стимулирования активного развития боковых побегов. Уборка первого года может проводиться в период от конца ноября до середины марта. Лучше всего убирать иву, когда почва замерзла. В противном случае корневая система недостаточно прочно удерживает растение, и оно может быть просто выдернуто из земли.

9.2. На семеноводческих плантациях побеги срезаются с оставлением на пеньке 2–3 почек, необходимых для вегетации растений на следующий год. Обрезка побегов в первый год стимулирует кущение растений ивы на второй год вегетации, что позволяет сформировать оптимальный маточный куст. Одревесневшие побеги диаметром от 7 мм и более можно использовать на черенкование в качестве посадочного материала.

9.3. К уборке древесины ивы на энергетические цели приступают по окончании периода вегетации после опадания листвы, до начала новой вегетации. Уборка проводится

при высоте среза от 5–10 см. Если срезка проводится правильно, то ива энергично отращает.

9.4. Уборка может проводиться модифицированным кукурузоуборочным комбайном марки «Ягуар», если он применяется для растений второго или третьего годов небольшого диаметра. Для уборки высокоурожайных плантаций ивы используются специализированные самоходные или прицепные комбайны. Комбайн измельчает стебли на щепу и выгружает в прицеп для дальнейшего использования в качестве биомассы. Из других средств механизации для тонких однолетних растений можно использовать кормоуборочную технику, для растений второго и третьего годов – пилы. При проведении уборки в зимний период влажность древесины ивы составляет около 50 %. Наиболее экономичный метод уборки тот, когда древесная измельченная биомасса поставляется непосредственно потребителю на тепловую станцию.

9.5. Биомасса хранится на ровной твердой поверхности. Принимают дополнительные меры, не допускающие попадания воды, в противном случае активизируются микроорганизмы, и биомасса может быстро разогреться.

9.6. В случае неблагоприятных погодных условий можно производить древесную биомассу ивы в запас. Растения убираются и размещаются на временное хранение до следующего года без предварительного измельчения. Влажность биомассы в этом случае составит от 46 % до 25 %.

Оценка жизненного цикла древесины ивы показывает [Родькин, 2013], что затраты ископаемого топлива для ее возделывания на несколько порядков ниже количества энергии, которое можно получить из ее биомассы. При средней теплоте сгорания сухой массы древесины 18 МДж/кг в пересчете на год с одного гектара плантации можно получить 4,4 тонны условного топлива. При стоимости одной тонны диоксида углерода 10 евро использование древесины ивы в качестве энергоносителя позволит дополнительно получить 3500–3700 евро с каждого гектара плантации ивы за весь срок ее эксплуатации за счет экономии квот на выбросы парниковых газов согласно Киотскому протоколу.

6.2. Возделывание тополя

Большинство процессов технологии возделывания тополя аналогично таковому ивы. В связи с этим здесь в краткой форме излагаются лишь некоторые ключевые элементы технологии его возделывания [Цивенкова, 2005].

Технология возделывания тополя

Основным условием получения успешной культуры тополей является правильный выбор площадей для их выращивания, а также подбор видов и сортов, наиболее приспособленных к конкретным климатическим условиям [Цивенкова, 2005]. Современные сорта тополей, созданные в Швеции, Америке и России, хорошо приживаются и имеют наибольшую жизнестойкость на плодородных, преимущественно легкого или среднего механического состава, хорошо аэрируемых почвах с pH 5,5–8 и достаточным, но не застойным увлажнением. Наиболее подходящими являются участки с проточными грунтовыми водами, залегающими на глубине 1–1,5 м и обогащенными питательными веществами и известью. На бедных и недостаточно увлажненных почвах тополь хотя и растет, но продуктивность его низкая. Поэтому при планировании площадей под культуры тополя необходимо проводить их предварительное обследование.

Система подготовки почвы, в том числе и глубина вспашки, зависят от механического состава почв и степени ее задернения (количества в почве густо переплетенных корней и корневищ растений). На незаливаемых участках грунта с сильным задернением под-

готовку почвы следует вести по системе черного или занятого пара, а при слабом – путем зяблевой вспашки. Глубина вспашки на почвах легкого механического состава выбирается в пределах 40–50 см, а на более тяжелых и плотных – 50–60 см.

Лучшим посадочным материалом являются однолетние укорененные черенковые саженцы, выращенные из зимних стеблевых черенков, которые заготавливают на «маточных» плантациях. Согласно лабораторным исследованиям польских и шведских ученых, у черенков, сохраняемых в течение зимы в траншеях, подвалах, на льду или в снегу, снижается приживаемость на 10–15 %. В дальнейшем они имеют меньшую энергию роста. Допустимая усушка побегов без потери качества не должна превышать 2–3 % их массы в свежезаготовленном виде. Наибольшую приживаемость имеют черенки с диаметром верхнего среза 0,8–1,5 см и длиной 25–30 см, заготовленные со средней части побега.

При посадке шейки корня следует заглублять на 12–15 см в почву. В засушливых условиях хорошее влияние на повышение приживаемости и рост растений оказывает срезка саженцев на пень высотой 5–10 см сразу после посадки. На пеньке оставляют один самый сильный побег.

Сроки и техника посадки определяются особенностями участков, на которых разбивается энергоплантация, а также видом применяемого посадочного материала. На незаливаемых участках грунта лучшим временем посадки черенков и укорененных черенковых саженцев является ранняя весна. На рано и длительно затопляемых участках проводят осеннюю посадку укорененных черенковых саженцев. Черенки высаживают лесопосадочными машинами в плужные борозды. Крупномерные укорененные черенковые саженцы высаживают в борозды или в ямы глубиной от 40 см до 2 м.

На тополевых энергоплантациях с коротким возрастом рубки используют густое размещение растений – 2,5×2,5 м или 3×3 м.

Густота посадки – 1,1–1,6 тыс. черенков на 1 га.

Наиболее целесообразным является квадратное размещение растений по площади, обеспечивающее механизированный уход за почвой в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

В странах Западной Европы большое распространение получили комбинированные энергоплантации тополя. При использовании данного метода выращивание тополевой древесины совмещается с одновременным использованием широких междурядий для выращивания сельскохозяйственных культур (пшеницы, горчицы и т. д.).

В Швеции на быстрорастущих энергетических плантациях годичный прирост дерева тополя достигает 1,5 м при средней плотности до 0,45 г/см³. В Америке этот показатель доходит до 1,75 м при средней плотности до 0,49 г/см³, а в России годичный прирост дерева селекционной культуры может достигать до 1,9 м при средней плотности до 0,51 г/см³.

Одним из важнейших условий хорошего роста и сохранности культуры тополя является качественный и своевременный уход за почвой. Неудовлетворительный уход приводит к уплотнению и задернению почвы и, как результат, к резкому ухудшению роста деревьев. Поэтому по мере появления сорных культур почву необходимо регулярно рыхлить. Помимо культивации, очень желательна ежегодная осенняя обработка междурядий на глубину 20–25 см. Это обеспечивает накопление влаги в почве и хорошую ее аэрацию. Кратность уходов определяется местными условиями, но в первые 2–3 года после посадки культур необходимо проводить не менее 3–4 уходов на протяжении вегетационного периода. Значительное влияние на усиление роста тополей и повышение их общей устойчивости оказывает внесение удобрений, в первую очередь азотных.

Выполнение всех требуемых технологических мероприятий обеспечит урожайность биомассы (древесины) 12–14 т/га сухого вещества. Тополевая древесная биомасса имеет высокие экологические показатели технологий ее сжигания. Широкое использование то-

полевой древесины вместо ископаемых топлив вносит существенный вклад в снижение парникового эффекта на планете.

6.3. Возделывание топинамбура

В мировой литературе разработке и усовершенствованию технологий возделывания и переработки топинамбура посвящен ряд работ [Варламов и др., 2000; Зеленков, Романова, 2012; Шаззо и др., 2013].

В Беларуси исследования по выращиванию топинамбура на зеленую массу и клубни, в том числе клубней на семена, проводились в 1995–2000 годах в Белорусском государственном аграрном техническом университете и в Белорусском НИИ овощеводства. В результате проведенных исследований разработана технология возделывания топинамбура [Горный, 2000], основные положения которой в сжатой форме приведены ниже.

Технология возделывания топинамбура

1. Требования к почвам

1.1. Топинамбур, как и любая другая сельскохозяйственная культура, отзывчив на плодородие и высокие урожаи клубней и зеленой массы. Предпочтительно его возделывать на дерново-подзолистых, хорошо аэрируемых окультуренных почвах. По механическому составу лучшими являются супесчаные, подстилаемые мореной, а также легкие и средние суглинки, чистые от камней и пригодные для комбайновой уборки клубней.

1.2. Не следует проводить посадку топинамбура на тяжелосуглинистых и глинистых, сильно уплотняющихся и избыточно увлажненных, каменистых и сильно засоренных пыреем и заселенных проволочником почвах.

1.3. Оптимальные агрохимические показатели почв для возделывания топинамбура: pH 6,0–6,5, обеспеченность гумусом – не менее 2,0 %, содержание: подвижного фосфора и обменного калия – не менее 150–200 мг на 1 кг почвы.

2. Выбор предшественника

2.1. Для топинамбура лучшими предшественниками являются зернобобовые, озимые зерновые, сидеральные культуры, а также многолетние и однолетние злаковые травы.

2.2. Не следует размещать топинамбур после подсолнечника, крестоцветных, корнеплодных культур, поражаемых склеротинией, ризоктонией и другими болезнями.

2.3. В целях предупреждения и накопления болезней и вредителей, закладывать плантации на прежнем поле рекомендуется не ранее чем через 4–5 лет.

3. Обработка почвы

3.1. Система обработки почвы включает основную и предпосевную и изложена в отраслевом регламенте «Обработка почвы. Типовые технологические процессы» (Сб. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов: Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 288 с.).

3.2. Обработка почвы при возделывании топинамбура сводится к созданию оптимального водно-воздушного и питательного режима, объема гребня, невысокой плотности и комковатости в зоне клубнеобразования растений, равномерности распределения удобрений и уничтожению сорной растительности.

3.3. Основные этапы подготовки почвы сводятся к общепринятым приемам подготовки почвы под картофель: разделке стерни (КПМ-4, КПЧ-6), осенней вспашке (ППО-4), ранневесеннему закрытию влаги боронованием, предпосадочной культивации, нарезке гребней.

3.4. Весной проводят культивацию в два следа на глубину 12–14 см, перед посадкой можно проводить нарезку гребней (АК-2,8; АКГ-4; КГО-3; ПАН-3). В условиях сухой весны на почвах легкого механического состава нарезку гребней проводить необязательно.

4. Система удобрений

4.1. Известкование кислых почв при возделывании топинамбура обязательно. Оно способствует повышению эффективности плодородия почв и вносимых минеральных удобрений.

4.2. На формирование 100 ц клубней и соответствующего количества зеленой массы требуется 53–87 кг азота, 16–28 кг фосфора и 71–124 кг калия.

4.3. Расчет норм минеральных удобрений проводят с учетом почвенного плодородия и планируемой урожайности.

4.4. Под культивацию вносятся полные дозы минеральных удобрений: азотных (60–90 кг/га д.в.), фосфорных (60–90 кг/га д.в.), серосодержащих калийных (90–120 кг/га д.в.) с помощью МГТ-4У; РУ-3000; РУ-600; РДУ-1500.

4.5. Хлорсодержащие калийные удобрения вносят под основную обработку почвы осенью в дозах (90–120 кг/га д.в.) в зависимости от обеспеченности почвы доступным калием.

5. Подготовка посадочного материала

5.1. Для посадки используют сорта, внесенные в Госреестр сортов Республики Беларусь (Находка, Десертный, Сиреники 1).

5.2. Клубни перед посадкой сортируют и калибруют.

5.3. Семенной материал сортируют на фракции по весу и отбирают для посадки: средние (40–50 г) и крупные (70–90 г). В каждой фракции может быть не более 3 % по массе клубней смежных фракций. Нетипичные для сорта клубни, нестандартные, больные, загнившие и примеси удаляют.

5.4. Семенные клубни обрабатывают препаратами инсектицидно-фунгицидного действия и микроудобрениями.

6. Посадка

6.1. Возможны два срока посадки: осенний (сразу после уборки урожая) и весенний (перезимовавшими в почве клубнями или хранившимися).

6.2. Лучшими для посадки являются свежевыкопанные клубни. Если они находятся долго на воздухе, то быстро теряют влагу и сморщиваются. Поэтому перед посадкой их надо смочить водой.

6.3. Для временного хранения клубни присыпают влажным песком или землей.

6.4. Клубни из почвы выкапывают перед посадкой или за несколько дней до посадки.

6.5. К посадке приступают при прогревании почвы до +7–8 °С.

6.6. Посадку проводят в гребни или на подготовленных полях без гребней поперек направления предпосадочной обработки почвы, предпочтительнее с севера на юг картофелесажалками (СК-4 и др.).

6.7. Способ посадки – рядовой с междурядьями 70 см, а в ряду на расстоянии 25–30 см.

6.8. Норма расхода посадочного материала клубней, густота посадки – 45–55 тыс. шт./га.

6.9. Глубина посадки клубней (от верхней части клубня до вершины гребня) или заделки почвой: на легких суглинистых почвах – 6–8 см; на супесчаных и песчаных – 8–10 см. Отклонение от средней глубины посадки не должно превышать ± 2 см.

6.10. Требования к посадке: прямолинейность рядка; высота гребней – 12–14 см, считая от дна борозды; отклонение ширины междурядий не более ± 2 см; стыковых – ± 5 см.

7. Уход за посадками первого года

7.1. Первое довсходовое рыхление междурядий проводят через 5–7 дней после посадки для уничтожения основной массы однолетних сорняков.

7.2. Вторая обработка – после прорастания сорняков, через 7–8 дней после первой.

7.3. Третью междурядную обработку проводят, когда растения достигнут высоты 10–15 см.

7.4. При обнаружении повреждения растений болезнями и насекомыми проводят защитные мероприятия, максимально ограничивающие возможность распространения болезней и вредителей.

8. Уборка топинамбура

8.1. Уборку зеленой массы топинамбура проводят до повреждения ее заморозками, независимо от фазы.

8.2. Высота скашивания – 15–20 см.

8.3. Используют КСК-100А, «Полесье-3000» и другие специальные силосоуборочные комбайны.

8.4. Уборку клубней проводят осенью и весной. Осенью используют картофелекопатели КТН-1А, КТН-2Б с ручным подбором клубней.

8.5. Весной целесообразно использовать картофельные копатели-погрузчики КП-2, КСТ-1,4, КПК-2; картофелеуборочные комбайны ПМК 2-02 и др.

9. Послеуборочная доработка клубней

9.1. Послеуборочная доработка включает: транспортировку; очистку от примесей; отделение дефектных клубней; калибрование.

9.2. Клубни нестандартные, больные, загнившие и примеси отбирают вручную или на переборочных столах сортировального пункта (ПКСП-25 и др.).

9.3. Клубни топинамбура для транспортировки упаковывают в ящики, ящичные поддоны, мешки, соответствующие ГОСТам.

9.4. Клубни топинамбура, в зависимости от массы, калибруют на фракции:

- крупную – 81 г и более;
- средне-крупную – 61–80 г;
- среднюю – 31–60 г,
- мелкую – 30 г и менее.

9.5. Требования к отсортированным клубням топинамбура:

- примесь клубней смежных фракций не должна превышать по массе 3 %;
- примесь почвы, комков, камней и растительных остатков – не более 2 %;
- клубней, поврежденных механизмами, допускается не более 5 %.

10. Хранение клубней

10.1. В связи со слаборазвитым пробковым слоем клубней топинамбура их рекомендуется оставлять (хранить) на зиму в почве, что исключает какие-либо существенные повреждения.

10.2. При необходимости клубни хранят вне поля в чистой таре в хорошо проветриваемых помещениях или в холодильных камерах с послойной пересыпкой песком: влажность песка – 60–65 %, относительная влажность воздуха – 85–90%, температура хранения – от –1 °С до +4 °С.

10.3. Применяется хранение клубней в регулируемой газовой среде в переоборудованных газовых хранилищах.

10.4. При необходимости для хранения клубней используют траншеи шириной 1 м, длиной 3 м и глубиной 0,75 м. В траншеях клубни укладывают рядами и пересыпают землей. Когда температура в клубневой массе опустится до +6–8 °С, их укрывают землей либо торфом, либо другими изоляционными материалами толщиной 20–30 см.

11. Уход за посадками второго года и последующих лет

11.1. Весной до появления всходов вносится полная доза минеральных удобрений: азотных (60–90 кг/га д.в.), фосфорных (60–90 кг/га д.в.), серосодержащих калийных (90–120 кг/га д.в.) с помощью МГГ-4У; РУ-3000; РУ-600; РДУ-1500.

11.2. Весной топинамбур при установившейся среднесуточной температуре воздуха +5 °С до появления всходов боронуют с помощью БСН (БСО) или БРУ 0,7.

11.3. Рыхление междурядий пропашными культиваторами типа КНО 2.8, ОКГ 4 и др. проводят при высоте растений ≤15 см.

11.4. Дальнейший уход за посадками топинамбура такой же, как и в первый год пользования.

12. Продолжительность использования плантаций

12.1. Период использования плантаций топинамбура определяется направлениями использования надземной массы и клубней, их урожайностью и плодородием почвы.

12.2. На одном месте топинамбур может давать высокие урожаи в течение 3–5 лет.

13. Ликвидация плантаций

13.1. После уборки клубней (осенью или весной) поле культивируют и проводят вспашку.

13.2. После топинамбура на участках проводят основной и поукосный посевы трав в течение 1–2 лет на зеленый корм и силос (пелюшки, вико-овсяной и др. кормовыми смесями).

13.3. Уборку надземной массы однолетних трав и всходов послеуборочного топинамбура проводят в июле, когда запасы питательных веществ в оставшихся в почве клубнях уже закончились и они разложились, а новые клубни еще не образовались.

13.4. После уборки зеленой массы проводится вспашка и снова посев однолетних бобово-злаковых трав на силос или зеленые корма.

13.5. На второй и последующие годы после топинамбура проводят посев яровых зерновых с применением гербицидов.

Проведение этих мероприятий позволяет достаточно эффективно очистить участки от клубней и поросли топинамбура, не оставляя поле под чистым паром.

Соблюдение требований к выполнению технологических операций возделывания топинамбура обеспечивает урожайность зеленой массы 400–500 ц/га; клубней 300–400 ц/га.

6.4. Возделывание мискантуса

Технологии возделывания мискантуса изложены в ряде зарубежных работ [Шумный и др., 2010; Caslin, 2011; Williams, Douglas, 2011; Булаткин, Митенко, 2013], а также в публикациях белорусских авторов [Клочков, Кацер, 2009; Цыганов, Клочков 2012], ключевые положения которых приведены ниже.

Технология возделывания мискантуса

1. Требования к почвам

1.1. Для возделывания мискантуса наиболее пригодны дерново-подзолистые, дерново-глебоватые, суглинистые, супесчаные, подстилаемые моренным суглинком, а также деградированные низинные торфяники с устойчивой по годам в течение вегетационного периода влагообеспеченностью.

1.2. Не следует закладывать плантации мискантуса на песчаных почвах с низкой и неустойчивой влагообеспеченностью, а также на почвах с высокой засоренностью многолетними корневищами и корнеотпрысковыми сорняками.

1.3. По содержанию подвижных элементов фосфора и калия можно использовать почвы с низкой и средней обеспеченностью.

1.4. Оптимальное значение pH для минеральной почвы – 5,5–7,5 и для торфяной – pH 5,0–6,0 и выше.

2. Выбор поля

2.1. Закладку плантаций мискантуса следует размещать на выводных полях севооборота, а также на полях выродившихся природных и окультуренных сенокосов и пастбищ.

3. Обработка почвы

3.1. Система обработки почвы включает основную и предпосевную под культуры ярового сева и детально изложена в отраслевом регламенте «Обработка почвы. Типовые технологические процессы» (Сб. «Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов: Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 288 с.).

3.2. При закладке плантации мискантуса после многолетних трав и на старовозрастных луговых угодьях для уничтожения старой растительности применяют глифосатсодержащие гербициды сплошного действия (4–6 л/га) и проводят многократную обработку дернины дисковыми боронами, фрезами или чизельными культиваторами.

3.3. Обязательной технологической операцией при обработке почвы для возделывания мискантуса является выравнивание верхнего слоя почвы после любого предшественника.

4. Система удобрений

4.1. Фосфорные, калийные и азотные удобрения вносят на почвах среднего уровня плодородия весной под предпосевную культивацию из расчета азота, фосфора 40–60 кг/га и калия 100–120 кг/га д.в. На почвах высокого уровня плодородия минеральные удобрения не вносятся ни в основную заправку почвы, ни в подкормку после посадки мискантуса.

4.2. На низкоплодородных почвах на второй год после посадки азотные, фосфорные и калийные удобрения вносятся рано весной после оттаивания почвы в разброс. Азотные и фосфорные удобрения вносятся в дозе 45–50 кг/га д.в., а также калийные – 90–100 кг/га д.в.

4.3. На 3-й и последующие годы минеральные удобрения под мискантус не вносят. К этому времени опавшие листья мискантуса накапливаются в виде подстилки, которая, разлагаясь, служит источником питания, а мощная корневая система усиливает минерализацию почвы и потребляет труднодоступные формы питательных веществ из почвы.

4.4. Известкование проводят на почвах при pH ниже 5,5. Дозы известковых материалов рассчитывают по гидролитической кислотности почвы и вносят под предпосевную обработку.

5. Выбор сорта

5.1. Для посадки следует использовать высокоурожайные, с высоким потенциалом адаптивности к почвенно-климатическим условиям региона возделывания виды, сорта и гибриды мискантуса, которые прошли конкурсное испытание в научно-исследовательских учреждениях.

6. Подготовка посадочного материала

6.1. Размножение мискантуса проводится вегетативным способом, частями (отрезками) корневища 12–14 см длиной с 2–3 почками («рассада»).

6.2. Заготовку посадочного материала (отрезки корневищ) производят весной из 2–3-летних растений, когда они находятся еще в стадии покоя.

6.3. Заготовка посадочного материала для закладки небольших участков проводится вручную с помощью секатора.

6.4. Заготовка посадочного материала для больших промышленных участков проводится механизированно с помощью роторного культиватора, которым измельчаются корневища растений. Затем ведется сбор и заготовка стандартных для посадки отрезков корневища.

6.5. Заготовленные для посадки отрезки корневищ хранят в специальных отсеках овощехранилищ при температуре не более 4 °С, или в буртах, укрытых тонким слоем влажной соломы и почвы.

7. Посадка

7.1. Посадку проводят рано весной во влажную созревшую почву. Не допускается посадка в поздние сроки и в пересохшую почву.

7.2. Для посадки используется типовая рассадопосадочная машина или полуавтоматическая картофельная сажалка. При закладке небольших участков размножения посадку проводят вручную, раскладывая отрезки корневища в специально подготовленные борозды.

7.3. Посадка мискантуса проводится хранившимися отрезками корневищ или свежезаготовленными в день заготовки, либо на следующий день. Приживаемость высаженных отрезков корневищ составляет 80–90 %.

7.4. Густота посадки на 1 га в пределах 10–16 тыс. посадочных единиц (рассады).

7.5. Ширина междурядий – 70 см. Расстояние между рассадками в рядке – 60 см. Глубина заделки рассады – 5–10 см.

7.6. После посадки мискантуса поле обязательно прикатывается легкими кольчатыми катками.

8. Уход за посадками

8.1. В первый год посадки:

- после появления всходов мискантуса и четкого обозначения его рядков, а также появления всходов сорняков, проводится рыхление междурядий и борьба с сорняками с помощью культиваторов со стрельчатыми и бритвенными лапами (КРН-4,2, КРН-5,6, КМС-5,4 и др.) при ширине защитной зоны 10–12 см с каждой стороны ряда;
- через две-три недели после первого рыхления междурядий при появлении сорняков проводится повторная обработка междурядий с помощью культиватора;
- при необходимости для борьбы с сорняками посадка мискантуса (до 1 м высотой) обрабатывается гербицидами, разрешенными для использования на посевах злаковых культур.

8.2. На второй год после посадки:

- на почвах невысокого уровня плодородия проводится подкормка полным минеральным удобрением из расчета N 60, P 40 и K 120 в кг/га д.в.
- минеральные удобрения вносятся рано весной до проведения междурядной обработки с помощью разбрасывателей (РШУ-12, СУ-12, МТТ-4У и др.);
- после внесения удобрений и появления всходов сорняков обязательно проводят одно рыхление междурядий культиваторами со стрельчатыми или пружинными лапами при ширине защитной зоны с каждой стороны ряда до 18 см;
- при необходимости для борьбы с сорняками посадка мискантуса (до 1 м высотой) обрабатывается гербицидами, разрешенными для использования на посевах злаковых культур.

8.3. На третий год после посадки рыхление междурядий не проводят, так как растения мискантуса к этому времени колонизируют почвенное пространство и междурядья зарастают его корневищами, поэтому появившиеся сорняки не составляют конкуренции.

9. Уборка урожая

9.1. Урожай биомассы первого года не убирается, так как он обычно составляет 1–3 т/га. Со 2-го года урожай убирается ежегодно. Во 2-й год урожай достигает 10 т/га, а на 3-й и в последующие составляет 10–14 т/га.

9.2. Уборку проводят после того как растение после завершения вегетации и наступления устойчивых морозов становится практически сухим (≤ 20 –25 % влаги), а почва – замерзшей и отличается повышенной проходимостью для тяжелой уборочной техники. При этом снежный покров незначительный (до 2 см) или отсутствует. Для уборки подбирают время сухой и ясной погоды.

9.3. При повышенной влажности биомассы и наличии снежного покрова уборку биомассы проводят весной после ее высыхания, хорошей проходимости техники по полю в сухую ясную погоду.

9.4. Уборку проводят прямым комбайнированием, измельчая биомассу в специальные прицепы и доставляя ее к месту складирования и переработки. Используют кормоуборочные силосные комбайны (КСК-100А, «Полесье-3000», «Ягуар», «Марал» или другие имеющиеся силосоуборочные комбайны).

9.5. В мировой практике широко используется отдельный способ уборки биомассы, при котором она скашивается в валки специальной косилкой, а затем пресс-подборщиком убирается и формуется в рулоны или тюки. Они хранятся под открытым небом на местах уборки, а к месту переработки их доставка осуществляется по мере необходимости.

9.6. Высота скашивания не должна превышать 10–12 см от земли.

При соблюдении требований к выполнению технологических операций возделывания мискантуса на энергоплантациях обеспечивается: урожайность сухого вещества биомассы 12–16 т/га; срок использования плантаций – 15–20 лет и более.

10. Ликвидация плантаций

10.1 Плантации мискантуса обрабатываются глифосатсодержащим гербицидом сплошного действия с последующей вспашкой.

6.4. Возделывание люпина тарви

Основы технологии возделывания люпина тарви изложены в работах белорусских исследователей [Купцов, 2004-2015], основные элементы которой приведены ниже.

Технология возделывания тарви

1. Требования к почвам

1.1. Для возделывания тарви наиболее пригодны дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые, а также супесчаные почвы, подстилаемые моренными суглинками.

1.2. Допускается возделывание тарви на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах, подстилаемых песками, а также окультуренных торфяно-болотных с уровнем стояния грунтовых вод 1,5–4,0 м.

1.3. Непригодны для возделывания тарви тяжелые глинистые почвы.

1.4. Оптимальные значения pH почвы в диапазоне 5,5–7,5. Почвы с кислотностью pH ниже 5,5 необходимо предварительно известковать.

1.5. Оптимальные агрохимические показатели почвенного плодородия: содержание гумуса – не менее 1,5 %, подвижного фосфора – не менее 120 г/кг, калия – не менее 200 мг/кг, магния – не менее 120 мг/кг почвы.

2. Выбор предшественника

2.1. Лучшие предшественники для тарви:

- на семена – озимые и яровые зерновые культуры;
- на зеленую массу – пропашные, силосные, зерновые яровые и озимые.

2.2. Не рекомендуется размещать посевы тарви по бобовому предшественнику, а также после многолетних злаковых трав, рядом с посевами крестоцветных и бобовых культур.

2.3. Повторно сеять тарви на одном и том же поле следует не ранее чем через 3–4 года.

2.4. Не допускаются посевы тарви на участках, засоренных многолетними корневищными и корнеотпрысковыми сорняками.

2.5. Не следует возделывать тарви на свежезаизвесткованном поле и после внесения сапропеля.

3. Обработка почвы

3.1. Система обработки почвы включает основную и предпосевную и изложена в отраслевом регламенте «Обработка почвы. Типовые технологические процессы» (Сб. «Орга-

низационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов: Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 288 с.).

3.2. После уборки зернового предшественника на легких и средних почвах проводят лущение стерни на глубину 5–7 см (АПН-4, АДН-4, АДУ-6АКД и др.), на суглинистых почвах – дискование тяжелыми бородами (БДТ-10 и др.).

3.3. После лущения через 2–3 недели проводят вспашку на глубину пахотного слоя плугами с предплужниками.

3.4. По мере появления сорняков зябь культивируют.

3.5. На чистых от сорняков почвах проводят только чизелевание в два следа: 1-й на глубину 10–12 см, 2-й – на глубину пахотного слоя культиватором (КЧ-5.1, КНЧ-4,2 и др.) поперек или по диагонали первого прохода культиватором.

Скорость движения агрегата – 12 км/ч.

3.6. Ранней весной для закрытия влаги проводят культивацию на глубину 5–7 см по диагонали или поперек вспашки.

3.7. Предпосевную культивацию в агрегате с бородами проводят поперек или по диагонали к направлению вспашки. Перед севом поле прикапывают кольчато-шпоровыми катками.

3.8. На легких и на переувлажненных связанных почвах предпосевную обработку проводят предпосевными агрегатами (АКП-6 и др.). Комплексную предпосевную обработку проводят комбинированными агрегатами (АКШ-7.2, АКШ-9 и др.).

4. Система удобрений

4.1. Под посев тарви в чистом виде азотные удобрения не применяют, но при содержании гумуса в почве менее 1,5 % вносят стартовую дозу азота – 20–30 кг/га д.в.

4.2. При содержании фосфора более 150 мг/кг почвы и калия более 200 мг/кг фосфорные и калийные удобрения не вносят.

4.3. На почвах с низким уровнем содержания элементов питания осенью под зябь вносят 60–90 кг/га Р по д.в., и 120–150 кг/га К по д.в., 30–40 кг/га Mg по д.в.

5. Выбор сорта

5.1. Для посева следует использовать современные высокоурожайные образцы тарви, приспособленные как к почвенно-климатическим условиям Беларуси, так и к современным интенсивным технологиям возделывания сельхозкультур (Мита, Анастасия и др.).

6. Подготовка семян к севу

6.1. Семена тарви перед посевом заблаговременно протравливают разрешенными препаратами: ТМТД, в.с.к. (3,0). Винцит форте, к.с. (1,0) и др. Расход рабочей жидкости – 10 л/т.

6.2. При содержании бора и молибдена менее 0,3 мг/кг почвы семена обрабатывают микроэлементами. Применяют борную кислоту (300 г/т), молибденовокислый аммоний (250 г/т), прилипатель Na-КМЦ (200 г/т), норма расхода воды – 10 л/т.

6.3. Для обработки семян используют машины (Мобитокс, ПУ-3 и др.).

7. Посев

7.1. Тарви на семена высевают первым из ранних яровых культур, на зеленую массу – на 2 недели позже.

7.2. Способ сева – сплошной рядовой с шириной междурядий – 12–15 см. Используют сеялки типа СПУ-6, С-6 и др. Скорость движения посевного агрегата – не более 8 км/ч. Норма посева тарви на семена – 0,4 млн. всхожих семян на 1 га, а на зеленую массу – на 0,6 млн. всхожих семян на 1 га.

7.3. Глубина заделки семян на легких почвах – 3–4 см, на связанных – 2–3 см.

7.4. Не допускается сев в пересохшую почву (это предотвращает возникновение изреженности посевов).

7.5. Обязательно прикатывание, особенно на легких почвах.

8. Борьба с сорняками

8.1. Посевы тарви на 2–3-й день после сева опрыскивают одним из разрешенных для люпина гербицидов (Гезагард к.с. – 4–5 л/га; Прометрекс ФЛЮ, 50 % к.с. – 3 л/га; Примэкстра голд TZ, с.к. – 2,5 л/га и др.)

8.2. При сильной засоренности злаковыми сорняками посевы обрабатывают граминоцидами: Пантера, 4 % к.э. (1–1,5 л/га), Таргет супер к.э. (2,0 л/га). Обработку проводят при высоте сорняков 10–12 см опрыскивателями (ОПШ-15-01 и др.) в сухую погоду. Расход рабочей жидкости – 200–300 л/га.

9. Борьба с вредителями и болезнями

9.1. Посевы тарви при обнаружении ростковой мухи и клубеньковых долгоносиков (15 шт./кв. м) опрыскивают одним из разрешенных для люпина инсектицидов: БИ58 новый, 400 г/л к.э. – 1 л/га, Данадим 400 г/л к.э. – 1 л/га, Децис, к.э. – 0,2 л/га и др.

9.2. Против тли, трипсов и др. колюще-сосущих насекомых в период бутонизации проводят обработку посевов одним из вышеуказанных в п. 9.1. инсектицидов.

9.3. При появлении первых признаков антракноза посевы тарви обрабатывают одним из разрешенных для люпина фунгицидов: Импакт, 25% к.с. – 0,5 л/га и др.

10. Уборка тарви на семена

10.1. Тарви убирают прямым комбайнированием при влажности семян не более 22 %. Перестой на корню недопустим.

10.2. Сильно засоренные и вегетативно изросшие посевы за 1,5–2 недели до уборки обрабатывают десикантами: Реглон супер 20 % в.р. – 2–3 л/га и др.

10.3. Оптимальная фаза десикации – четкое обозначение рисунка на семенах у сортов с окрашиванием или пожелтение семядолей с семенами белого цвета.

10.4. Прямое комбайнирование осуществляют зерноуборочными комбайнами на мягких режимах молотильного аппарата (700–800 об./мин.).

11. Послеуборочная доработка семян

11.1. Поступивший от комбайна ворох тарви очищают на ворохоочистителях.

11.2. После первичной очистки вороха семена влажностью выше 16 % сушат на установках активного вентилирования, шахтных сушилках до кондиционной влажности 15–16 %.

11.3. Хранят семена насыпью до 1 м (при активном вентилировании – до 2 м) в сухих закрытых хорошо проветриваемых помещениях.

12. Уборка тарви на зеленую массу

12.1. На зеленую массу тарви убирают в фазу блестящего боба полного.

12.2. Для уборки используют силосоуборочные агрегаты: КСК-100, Е-280, КУФ-1,8 и др.

Соблюдение требований к выполнению технологических операций возделывания тарви на энергоплантациях обеспечит урожайность семян 3–4 т/га, а сухого вещества высококачественной биомассы 10–14 т/га.

Глава 7

Современные тенденции изменения сельхозпроизводства и энергоплантации

Специализация и концентрация классического сельскохозяйственного производства, произошедшая в конце прошлого столетия во многих странах мира, а также все возрастающие издержки на энергопотребление и охрану окружающей среды неизбежно породили в мировом аграрном секторе следующие новые явления:

- использование сельскохозяйственных угодий для выращивания как традиционных продовольственных культур (сахарного тростника, кукурузы, сои и др.), так и нетрадиционных (ивы, тополя, топинамбура и др.), с целью получения биоэнергии (энергоплантации);
- создание комбинированных энергоплантаций, в широких междурядьях которых выращиваются традиционные культуры (пшеница, ячмень и др.);
- отказ от пахоты и прямой посев в мульчу или стерню (ноу-тилл-технология);
- изменение структуры посевных площадей и насыщение севооборотов рентабельными культурами преимущественно с высоким содержанием энергии в урожае, вплоть до их бессменного выращивания (монокультурой);
- развитие экологического (органического) земледелия и отказ от химических средств защиты растений, минеральных азотных удобрений.

7.1. Комбинированные энергоплантации

Научная общественность рассматривает энергоплантации как самый энергоэффективный способ редукации углекислого газа и наиболее дешевый биоисточник энергии [Шпаар, 2006]. Необходимо отметить, что в энергоплантациях древесные и кустарниковые растения высаживаются преимущественно черенками или саженцами (от 3 до 5 тыс./га) квадратно-гнездовым способом или в шахматном порядке с шириной междурядий от 2,5 до 3 м. Наиболее целесообразным является квадратное размещение растений на площади, обеспечивающее механизированный уход за почвой в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Годичный прирост деревца, например, тополя, в таких плантациях достигает в Швеции 1,5 м, США и Канаде – 1,75 м, России – до 1,9 м. Важнейшими условиями сохранности энергокультуры и ее хорошего роста являются внесение удобрений, в первую очередь азотных, а также, своевременный и качественный уход за почвой междурядий. Поэтому в первые 2–3 года после посадки по мере появления сорняков почву в междурядьях регулярно (не менее 3–4 раз) культивируют, а осенью проводят обработку междурядий на глубину 20–25 см. Эти мероприятия обеспечивают уничтожение сорной растительности, накопление влаги в почве и хорошую ее аэрацию. В последующие годы эксплуатации энергоплантаций кратность рыхления почвы междурядий определяется местными почвенно-климатическими условиями и уменьшается. Неудовлетворительный уход за энергоплантацией приводит к уплотнению и задернению почвы, что, в свою очередь, резко ухудшает рост деревьев и кустарников. Следует особо подчеркнуть, что очень большая незанятая растениями площадь энергоплантаций по сравнению со сплошными посевами традиционных сельхозкультур (ширина междурядий – 7,5; 12; 15 см, всхожих семян – 4–6 млн./га) придает им свойства чистого пара. В то же время уход за почвой междурядий энергоплантаций, как и за почвой чистого парового поля имеет ряд существенных недостатков. Главный недостаток ухода за чистым паром в районах с достаточным увлажнением – это интенсивная минерализация органического вещества в результате неоднократных обработок и большая потеря элементов питания в резуль-

тате водной и ветровой эрозий почв. Необходимо подчеркнуть, что на дерново-подзолистых легкого гранулометрического состава почвах потери элементов питания достигают огромных размеров. Это обуславливает не только большие убытки, но и представляет серьезную опасность для окружающей среды. В этих условиях содержание гумуса в пахотном слое чистого пара ежегодно уменьшается в среднем на 1–2 т/га. При этом энергия солнца весной и летом на почве чистого пара протекает бесследно, а выпадающие осадки без растительного покрова, не принося никакой пользы, способствуют потере подвижных элементов питания. В связи с изложенным выше во многих странах используется метод комбинированных энергоплантаций, то есть выращивания целевой древесной энергокультуры (или кустарников) с одновременным возделыванием в широких междурядьях традиционных сельхозкультур (пшеницы, ячменя, клевера, люпина и др.). Возделывание в широких междурядьях (2,5–3 м) энергоплантаций традиционных сельхозкультур существенно уменьшает стоимость биомассы. При этом более продуктивными, а соответственно, экономически выгодными являются энергоплантации с бобовой культурой в междурядьях [Купцов, 2004; 2006; 2008]. Это обусловлено тем, что бобовые культуры, например, люпин, за счет симбиотической с бактериями *Rhizobium* фиксации азота воздуха полностью обеспечивают себя этим элементом, оставляя при этом в почве ~ 90 кг/га азота по д.в., который используется в дальнейшем целевой энергокультурой. Кроме того, люпин способствует накоплению в почве фосфора и калия до ~ 30 кг/га д.в. путем перевода этих элементов из соединений труднодоступных для других культур в доступные. Густой растительный покров традиционных сельхозкультур, хорошо укрывающий почву междурядий энергоплантаций с интенсивно развитой корневой системой, предотвращают ветровую и водную эрозии почвы. Указанным позитивным процессам также способствуют пожнивные остатки традиционных сельхозкультур и опавшая листва энергокультуры, выполняющие функцию мульчи. При этом хозяйственная часть (зерно и др.) традиционных культур, возделываемых в междурядьях энергоплантаций, убирается и используется для получения дополнительной прибыли. Биомасса сидеральных культур измельчается и заделывается в почву междурядий в качестве биоудобрения.

Общеизвестно, что сидераты в большинстве случаев по воздействию на плодородие почвы и урожайность равноценны подстилочному навозу и качественным компостам, но затраты например, на 1 тонну люпинового сидерата, в 2,5 раза меньше, чем таковые на производство 1 тонны подстилочного навоза и в 4 раза – торфонавозного компоста [Довбан, 2009].

Указанные энергоплантации по своим свойствам приближаются к занятым паровым полям, в том числе сидеральным на малоплодородных почвах. На таких плантациях улучшаются агрофизические и биохимические свойства почвы, существенно уменьшается миграция подвижных элементов питания в ее нижние слои, что, в конечном итоге, оптимизирует рост целевой древесной или кустарниковой энергокультуры.

Из изложенного видно, что древесно-кустарниковые энергоплантации как молодая отрасль сельхозпроизводства в своем развитии уже твердо стала на тот путь, по которому прошло классическое земледелие (от чистого пара к занятому, а затем к сидеральному пару). Очередной этап в развитии комбинированных энергоплантаций – это возделывание в их широких междурядьях традиционных сельхозкультур (пшеницы и др.) по ноу-тилл-технологии.

7.2. Ноу-тилл-технология и ее использование в энергоплантациях

Стремление к снижению производственных затрат в классическом земледелии, а также высокая доля затрат на почвообработку в общем объеме затрат полеводства побудили отказ от пахоты и переход к минимальной обработке, а затем к нулевой обработке почвы

и прямому высеву в стерню (No-Till-технология, ноу-тилл). Нулевая обработка почвы – это отсутствие любой обработки (пахоты, культивации, боронования и др.) за исключением воздействия на нее рабочих органов специальной сеялки прямого посева [Кант, 1980; Пупонин, 1989; Rasmussen, 1998; Заленский, 2004; Крэбтри, 2008].

При классическом сельхозпроизводстве урожайность на 80 % зависит от почвенно-климатических условий и погоды. При использовании ноу-тилл-технологии влияние погоды и климата на эффективность растениеводства сведено к 20 %. Остальные 80 % приходится на технологии и управление в сельском хозяйстве. Ноу-тилл-технология – наиболее разумный подход к растениеводству, взвешенный с точки зрения экологии и экономики.

В настоящее время ноу-тилл-технология получила особенно широкое распространение в регионах с хорошо окультуренным гумусированным пахотным слоем. По данным ФАО ООН, в мире по ноу-тилл-технологии возделывается свыше 100 млн. га почвы, что составляет около 11,7 % сельхозугодий.

Основные преимущества ноу-тилл-технологии:

- экономия ресурсов (горючего, удобрений, трудозатрат, времени, снижение амортизационных расходов) и повышение рентабельности сельского хозяйства;
- сохранение и восстановление плодородного слоя почвы (улучшение его химических, физических и биологических качеств, увеличение содержания органического вещества);
- снижение или устранение водной и ветровой эрозий почв (нет необходимости тратить дополнительные средства на решение этой проблемы);
- экологическое и ценогическое управление сорной растительностью в посевах;
- накопление, задержание влаги в почве и, соответственно, снижение зависимости урожая от погодных условий;
- увеличение урожайности и качества продукции культур;
- создание новой особой агрокультуры взаимодействия с окружающей средой.

На ноу-тилл-технологии обработки почвы переходят, постепенно и применяя системный подход [Добровольский, 2002; Заленский, 2004; Крэбтри, 2008; Кисель, 2006; Клочков, Гурко, 2010]. В течение первых трех лет поля с помощью гербицидов сплошного действия и культивации очищаются от сорняков, выравнивается поверхность почвы, ликвидируется плужная подошва, разрабатываются участки залежных земель (если они имели место быть). Затем ежегодно осуществляется прямой сев в стерню без какой-либо обработки почвы. В ходе ежегодной уборки измельченные пожнивные остатки равномерно распределяются по полю. В результате формируется почвозащитное покрытие из мульчи, которое противостоит ветровой и водной эрозиям, обеспечивает сохранение влаги, защищает почву от перегревов в засуху, препятствует всходам и росту сорняков, способствует активизации почвенной биоты, является основой для восстановления плодородного слоя и повышения урожайности целевых культур. Слой из пожнивных остатков – основа нулевой технологии обработки почвы. Он необходим для обеспечения естественного хода процессов воспроизводства плодородия почвы. Установлено, что мульчирующий слой создается в условиях монокультуры зерновых за 2–3 года, в то время как в условиях севооборота – за 5–6 лет. Три критерия успеха нулевой обработки почвы: 1) высота среза на уровне 10–20 см; 2) оптимальная величина измельчения нетоварной доли урожая (менее 5 см); 3) равномерность распределения нетоварной доли урожая по полю.

При многолетнем систематическом использовании на одних и тех же полях ноу-тилл-технологии запасы семян сорняков верхнего слоя почвы истощаются, что в начале облегчает борьбу с сорной растительностью, а затем полностью ее исключает. Эта технология способствует размножению представителей полезной биоты почвы, в том числе антагонистов вредителей и болезней, выполняющих фитосанитарную роль [Пупонин, 1984;

Пупонин, Кирюшин, 1989]. Почва уже в течение первых 5 лет приобретает устойчивую пористую агрономическую структуру и состояние, оптимальное для роста и развития сельхозрастений. В агробиоценозе устанавливается равновесие между входящими в него организмами (культурными растениями, сорняками, микроорганизмами, насекомыми, животными).

Ноу-тилл-технология существенно сокращает энергозатраты на возделывание сельхозкультур. Так, например, сегодня в Германии в 1 га вкладывается всей энергии в классическом земледелии 19,4 ГДж, а в экологическом (органическом) – 6,8 ГДж. При использовании современной «беспахотной» технологии данные показатели уменьшаются минимум на 30 % и составляют в классическом земледелии 13,6 ГДж, в экологическом – 4,8 ГДж. В итоге современные агроценозы экологического земледелия при «беспахотной» технологии по потенциалу адаптивности приближаются к естественным биоценозам, а по продуктивности – к таковым классического земледелия. Необходимо особо подчеркнуть, что почва, сформировавшаяся в конечном итоге в процессе использования технологии ноу-тилл, полностью удовлетворяет требования экологического земледелия (за исключением внесения минеральных азотных удобрений).

Использование этой технологии сопровождается упрощением севооборотов вплоть до монокультуры. Монокультура при ноу-тилл-технологии со временем истощает почву и усложняет фитосанитарную обстановку на поле (в верхнем слое накапливаются остаточные количества пестицидов, возбудителей болезней, вредителей, резистентные сорняки). Для ликвидации указанных негативных явлений 1 раз в 4–5 лет на таких полях вносятся органические удобрения и проводится пахота (оборот пласта с помощью плуга). Кроме того, что под пропашные культуры на дерново-подзолистых и других почвах с низким содержанием гумуса в обязательном порядке вносятся органика со вспашкой отвальным плугом.

Однако при вспашке снова нарушается пористая структура почвы, гибнет часть почвенной биоты, поднимается на поверхность большое количество семян сорняков и проявляются прочие негативы классического земледелия (фото 7.1).

В настоящее время избежать регулярной одноразовой вспашки в 4–5 лет при длительном применении в монокультуре ноу-тилл-технологии позволяет использование посевных комплексов типа «Horsch-Agro-Союз АТД 18.35», которые осуществляют прямой посев с одновременным внесением жидких и твердых удобрений [Кисель, 2006; Осборн, 2006; Шнайдер, 2006].



Фото 7.1. Посев по технологии ноу-тилл и всходы сои.

Необходимо отметить, что в настоящее время во многих странах мира технология ноу-тилл используется не только для возделывания сельхозкультур на продовольственные, кормовые и технические цели, но и для получения биоэнергии. Полагаем, что в ближайшее время большинство энергоплантаций как на основе традиционных культур (пшеницы, кукурузы, сои и др.), так и на основе древесно-кустарниковых видов будут возделываться по ноу-тилл-технологии. Такое возделывание способствует быстрому переходу культур в систему экологического (органического) земледелия.

Глава 7. Современные тенденции изменения сельхозпроизводства и энергоплантации

7.3 Монокультура классического земледелия и энергоплантации

Общеизвестно, что большинство энергоплантаций (на основе ивы, мискантуса, топи-намбура, кукурузы и др.) возделываются без смены на протяжении ряда лет, т.е. при их эксплуатации имеет место типичная монокультура.

В настоящее время в классическом земледелии многие сельхозпроизводители изменяют структуры посевных площадей и насыщают севообороты рентабельными культурами, преимущественно белково-масличными, содержащими в урожае больше энергии (рапс (канола), соя, подсолнечник и др.) вплоть до их бессменного выращивания (монокультура). Как известно, возделывание большинства видов в монокультуре обычно приводит к снижению урожайности из-за «почвоутомления», которое объясняется рядом факторов: односторонний вынос питательных элементов растениями, накопление фитопатогенов и паразитов, повышение токсичности почвы, изменение в микробиологических ценозах, а соответственно, нарушение микробиологических процессов, увеличение засоренности [Мишустин, 1972; Соколов, 1994; Курило, Лошаков, 2010]. Необходимо подчеркнуть, что указанные отрицательные последствия бессменного выращивания культур в значительной степени устраняются внесением органики в сочетании с макро- и микроудобрениями, а также полезными микроорганизмами (ЕМ, effective microorganisms).

Для полного устранения негативных явлений в монокультуре классического земледелия и энергоплантаций требуется дальнейшее совершенствование технологии возделывания, как традиционных культур, так и энергокультур.

Для работ в этом направлении большую ценность представляют результаты исследований в длительном многофакторном опыте, заложенном в 1912 году на дерново-средне-подзолистой легкосуглинистой почве (опыт Московской СХА). В нем изучается раздельное и совместное влияние на плодородие почвы и урожайность сельхозкультур систематического применения минеральных удобрений, навоза, периодического известкования, севооборота и бессменных сельхозкультур (монокультур). Установлено, что многолетнее совместное воздействие удобрений, известковых материалов, обработки и полевых культур, в том числе пожнивных, приводит к созданию хорошо окультуренных почв, обеспечивающих высокую урожайность. Урожайность зерновых выросла с 1,4–1,8 т/га в первой ротации до 6–7 т/га в 80-е годы прошлого столетия. При этом, что особенно важно отметить, пахотный слой под бессменными культурами по агрохимическим показателям оказался более окультуренным, чем под севооборотом. После 10 ротаций он не уступал слою под севооборотом и по биологическим показателям [Пупонин, 1984].

Таким образом, если почва перманентно комплексно и в полной мере удобряется, а также своевременно и качественно обрабатывается, то пахотный слой под монокультурой становится более окультуренным, чем в севообороте.

Изложенные закономерности должны стать научной основой практических мероприятий по закладке различных типов энергоплантаций, как в севообороте, так и в монокультуре.

7.4. Экологическое земледелие и возможности использования его принципов в энергоплантациях

В современной литературе экологическое (органическое) земледелие определяется как система, где хозяйство представляет собой сложный организм, в котором все его компоненты (минералы, почвы, органическое вещество, микроорганизмы, насекомые, растения, животные и человек), согласованно взаимодействуя, производят экономически выгодный и экологически чистый качественный урожай, обеспечивая при этом бездефицитный ба-

ланс питательных веществ почвы и гармоничные взаимоотношения с окружающей средой [Кант, 1988; Соколов, Монастырский, 1994; Weber, 2000; Купцов, 2004; Willer 2014].

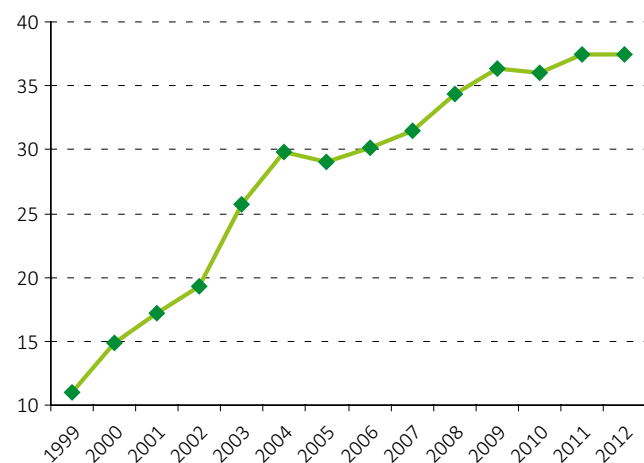


Рис. 7.1. Мировой рост площадей (млн. га) под экологическим (органическим) земледелием, млн. га [Willer, 2014]

использование трансгеноза и экспериментального мутагенеза, а также имеющегося селекционного материала, созданного с их использованием [Киришкин, 1996; Dingenmann, 1999].

В мире под экологическим земледелием площади постоянно растут (рис. 7.1) Так, в 2000 году они составляли 14,9 млн. га, в 2005-м – 29,0 млн. га, а в 2012-м – 37,5 млн. га. Мировыми лидерами по масштабам площадей и глубине разработок в экологическом земледелии являются Австралия с Океанией и Европа (табл. 7.2).

Таблица 7.2. Мировые площади земель под экологическим (органическим) земледелием в 2013 г.*

Регион	Площадь под экологическим земледелием, га	Региональная доля площадей под экологическим земледелием, %
Африка	1 227 008	2,8
Азия	3 425 939	8,0
Европа	11 460 773	26,6
Латинская Америка	6 611 636	15,3
Северная Америка	3 047 710	7,1
Океания	17 321 733	40,2
Сумма	43 091 113	100

* По данным FiBL-IFOAM-SOEL surveys, 2015

Ключевыми характеристиками современного экологического (органического) земледелия являются нижеследующие:

- забота о здоровье человека посредством производства и обеспечения населения качественной, экологически чистой продукцией;
- заботливое отношение к окружающей среде, сохранение дикого мира растений, животных и естественной среды их обитания;
- сохранение долгосрочного плодородия почвы посредством поддержания оптимального уровня органического вещества, биологической активности, биологи-

ческого рыхления и оструктурирования, а также осторожного механического вмешательства;

- обеспечение сельхозкультуры питанием косвенно, используя относительно нерастворимые его источники, которые становятся доступными растениям благодаря как их активности, так и таковой почвенных микроорганизмов; минимальное внесение калийных и фосфорных удобрений;
- самообеспечение азотом за счет симбиотической фиксации азота воздуха бобовыми культурами и биологической его фиксации почвенными микроорганизмами, а также эффективного использования пожнивных остатков, навоза и отказ от минеральных азотных удобрений;
- биологическая борьба с сорняками, болезнями, вредителями путем использования толерантных и устойчивых сортов, естественных антагонистов патогенных микроорганизмов, правильного чередования сортов и культур, ограниченное применение термических и химических средств и полный отказ от них;
- экономия энергоресурсов за счет максимальной биологизации процессов производства экопродукции (например, в Германии в 1 га вкладывается всей энергии в классическом земледелии 19,4 ГДж, а в экологическом – 6,8 ГДж.).

Агроценозы современного экологического земледелия обладают надежным функционированием механизмов саморегуляции, что приближает их по потенциалу адаптивности к естественным биогеоценозам, а по урожайности – к таковым классического земледелия.

Следует подчеркнуть, что уже сегодня в развитых странах многие элементы экологического земледелия используются при возделывании культур на энергоплантациях. Ведутся также работы по выведению экосортов традиционных сельхозкультур (тритикале, кукурузы, сои, тарви, подсолнечника и др.) с целью их использования в энергоплантациях. В связи с постоянным ростом в мире площадей сельскохозяйственных угодий, отводимых для производства биоэнергии, несомненно, доля экологических энергоплантаций будет также увеличиваться. Вероятно, в ближайшем будущем экологическое земледелие полностью включит в сферу своей деятельности производство биоэнергии, и в первую очередь на монокультурных древесно-кустарниковых энергоплантациях.

7.5. Ноотерра и использование ее принципов в энергоплантациях

В наше время, как известно, вершиной эволюции земледелия является возделывание сельхозкультур по ноу-тилл-технологии, но в монокультуре системы экологического земледелия. Вероятно, в ближайшем будущем многие традиционные культуры (кукуруза, рапс, соя, тарви и др.), используемые в качестве энергокультур, также будут возделываться в монокультуре на энергоплантациях (полях) по этой технологии с использованием принципов экологического земледелия.

Использование в сельхозпроизводстве ноу-тилл-технологии возделывания культур и ее дальнейшая биологизация эволюционно привели к разработке концептуально нового понятия «ноотерра» [Купцов, 2008; Купцов, Миронова, 2008].

Ноотерра (разумно окультуренная почва) – это почва, целенаправленно сформированная в условиях прямого высева (с внесением макро- и микроминеральных элементов), которая исключает любой вид ее обработки (ноу-тилл-технология или нулевую обработку), кроме воздействия органов посевных агрегатов и искусственного включения в состав ее биоты в качестве неотъемлемых элементов, необходимых для полноценного питания растений и активного гумусообразования:

- люпина ползучего (*Lupinus gerens*), перманентного поставщика биологического азота и свежего органического вещества, биоагрегата по вертикальному и горизонтальному дренажированию почвы, подавителю сорной растительности;

- культур-уловителей (кэтч-культур) подвижных минеральных элементов;
- полезных микроорганизмов (ЕМ: антагонистов патогенов, фосфат-мобилизаторов и др.).

Комплекс основных новых элементов ноотерры, выполняющих ее положительную роль и функции, состоит из почвы, находящейся в условиях постоянного отсутствия обработки (ноу-тилл-технологии) и люпина ползучего как неотъемлемого нового элемента ее биоты.

Структуры и функции различных почв при длительном отсутствии пахоты и других видов их обработки детально изложены в работах [Овсинский, 1909; Кант, 1980; 1988; Гуляко и др., 2009]. Влияние органических и минеральных удобрений микро- и макро- на процессы гумусообразования детально освещены в работах [Кант, 1980; 1988; Моргун, 1984; Винокуров, 2007; Якушев, 2008].

Основная роль кэтч-культур – захват и длительное удержание в своей биомассе растворимых элементов питания, которые без этих культур легко вымываются из верхнего слоя почвы, особенно после отмирания и уборки целевой культуры [Купцов, Миронова, 2007; 2008]. Описание влияния комплекса эффективных микроорганизмов, экспериментально внесенных в почву, на ее качество приводится в ряде работ [Назаров, 2005; Купцов В. и др., 2006; Коломиец, 2006; Григориади, 2010; Алещенкова, 2011].

В литературе сведения по люпину ползучему весьма скудны [Купцов, Такунов, 2006; Купцов, 2008; Купцов, Миронова, 2007; 2008]. Поэтому ниже в сжатой форме мы раскроем многофункциональную роль люпина ползучего.

Люпин ползучий в ноотерре в силу особенностей его биологии (низкотравный плотный ценоз и мощная корнеотпрысковая система) обладает следующими специфическими функциями:

- раннее и надежное формирование за счет многочисленных отпрысков и всходов его семян низкотравного, более или менее равномерного по площади коврового покрытия своего рода биогербицидного экрана;
- ценотическое подавление с помощью биогербицидного экрана сорняков и предотвращение их прорастания, не угнетая при этом целевую культуру;
- качественное вертикальное и, в отличие от других видов люпина, горизонтальное дренажирование и оструктурирование почвы.

Люпину ползучему в ноотерре, кроме его специфических функций, свойственны также и положительные роль и функции, которыми обладают люпины сидеральные, особенно многолетний многолистный.

В краткой форме опишем основные функции люпина ползучего, которые он выполняет в качестве сидеральной культуры:

- биологическая фиксация азота из воздуха (до 300 кг/га) и пополнение этим элементом почвы;
- усвоение фосфора из труднодоступных для многих культур соединений почвы, обеспечение им своей потребности и улучшение фосфатного режима почвы;
- использование макро- и микроэлементов из-под пахотного слоя почвы с помощью глубокопроникающей стержневой корневой системы;
- постоянное пополнение почвы свежим органическим веществом за счет ежегодного отмирания надземной массы и перманентного отмирания части корнеотпрысковой системы;
- комплексная защита почвы от процессов эрозий (водной [ablation] и ветровой [deflation]) с помощью многолетней разветвленной корнеотпрысковой системы, мульчи из отмерших розеточных листьев и кулисы из отмерших стеблей, а также раннего возобновления и позднего окончания вегетации, а соответственно, и длительного коврового покрытия почвы;
- способствование микробиологическому разложению измельченной соломы и стерни целевой культуры (тритикале, кукурузы, подсолнечника и др.) с помощью азота

перманентно отмирающих розеточных листьев и тем самым исключение необходимости использования минеральных азотных удобрений или уменьшения нормы их внесения;

- биоцидная роль высокой алкалоидности биомассы люпина ползучего, разрушенной (фрезерованной) рабочими органами сеялки в посевном рядке, что исключает необходимость использования или уменьшает норму расхода протравителей для семян целевой культуры;
- универсальность как мелиоративной культуры, способной произрастать на бедных и на плодородных почвах в диапазоне pH 4,5–7,5;
- высокая надежность в качестве выгодного партнера в гетерогенных ценозах, что необходимо для эффективного возделывания целевой и кэтч-культур. Это свойство люпина ползучего обусловлено его высокоактивной симбиотической азотфиксацией и фосфатмобилизацией;
- обеспечивает в живой биомассе, в основном в корнеотпрысковой системе, накопление минеральных веществ, препятствуя их вымыванию (экологическому загрязнению), то есть частично выполняет роль кэтч-культуры;
- эффективность как биологического средства защиты окружающей среды, так как люпин ползучий не нуждается в минеральных азотных удобрениях, а его надземная масса и часть корнеотпрысковой системы разлагаются медленно, почва под него ценозом качественно дренажируется, а все это вместе взятое значительно уменьшает эрозию почвы и загрязнение окружающей среды.

Необходимо подчеркнуть, что ноотерра эффективно оптимизирует свой водный режим и тем самым повышает долю продуктивного (транспирационного) расхода влаги в суммарном водопотреблении.

В условиях ноотерры существенно ослабляется или устраняется действие следующих факторов, обуславливающих непродуктивные потери влаги:

- поверхностный сток атмосферных осадков с почвы на склоновых участках;
- внутрипочвенный сток воды на склонах;
- испарение воды из почвы;
- инфильтрация влаги в глубокие слои почвы;
- транспирация воды вегетирующими сорными растениями;
- сдувание снега с поверхности почвы.

Указанное уменьшение непродуктивного расхода почвенной влаги в основном достигается повышением плодородия ноотерры, мульчированием поверхности поля, ранневсенним закрытием влаги листовой ценоза люпина ползучего, оптимальными сжатыми сроками прямого сева.

Необходимо отметить, что ноотерра усиливает все положительные характеристики ноу-тилл-технологии и устраняет или сглаживает ее негативные явления, возникающие в основном при использовании монокультуры. Ноотерра органически включает в себя нулевую обработку почвы, прямой сев или посадку, принципы экологического земледелия и требования экономии энергоресурсов за счет биологизации процессов. Люпин ползучий и ЕМ-микроорганизмы обеспечивают самодостаточность ноотерры по минеральному питанию. Кроме того, свежее органическое вещество люпина ползучего совместно с корневыми и пожнивными остатками целевой культуры способствуют активному гумусообразованию, обеспечивая его положительный баланс во времени. Все это позволяет целевой культуре и другим компонентам ноотерры обходиться без внесения азотных минеральных удобрений. При необходимости вносятся только стартовые для целевой культуры дозы минеральных азотных удобрений (15–20 кг/га д.в.). Макроудобрения (P_2O_5 , K_2O , MgO , CaO) и микроудобрения применяют в условиях ноотерры в расчетных дозах под планируемую урожайность целевой культуры (кукурузы, пшеницы, ржи и др.).

Технология формирования ноотерры включает следующие основные стадии (этапы):

- закладка маточного питомника люпина ползучего для массового производства посадочного материала (корнеотпрысков);
- тщательная подготовка поля на протяжении 2–3 лет к внедрению ноу-тилл-технологии;
- посадка на подготовленном поле на 3–4-й год весной или осенью люпина ползучего; ширина междурядий – 70 см, между растениями – 33 см; густота посадки корнеотпрысков – 60 тыс. шт./га;
- прямой сев (или посадка) на 4–5-й год и в последующие целевой традиционной культуры или энергокультуры.

Ноотерра пригодна для возделывания многих озимых и яровых культур на продовольственные, кормовые и технические цели, а также для получения биоэнергии: злаковых яровых (фото 7.5.1), озимых (фото 7.5.2), люпинов (фото 7.5.3) и энергорастений, а также закладки садов и традиционных лесопосадок (фото 7.5.4).

Приводимые ниже фотографии (фото 7.5.1–7.5.4) сельхозкультур в условиях ноотерры любезно предоставлены Анастасией Бугровой.



Фото 7.3. Яровой ячмень в стадии всходов (а), колошения (б) и кукуруза в стадии всходов (в), стеблевания (г), в условиях ноотерры.

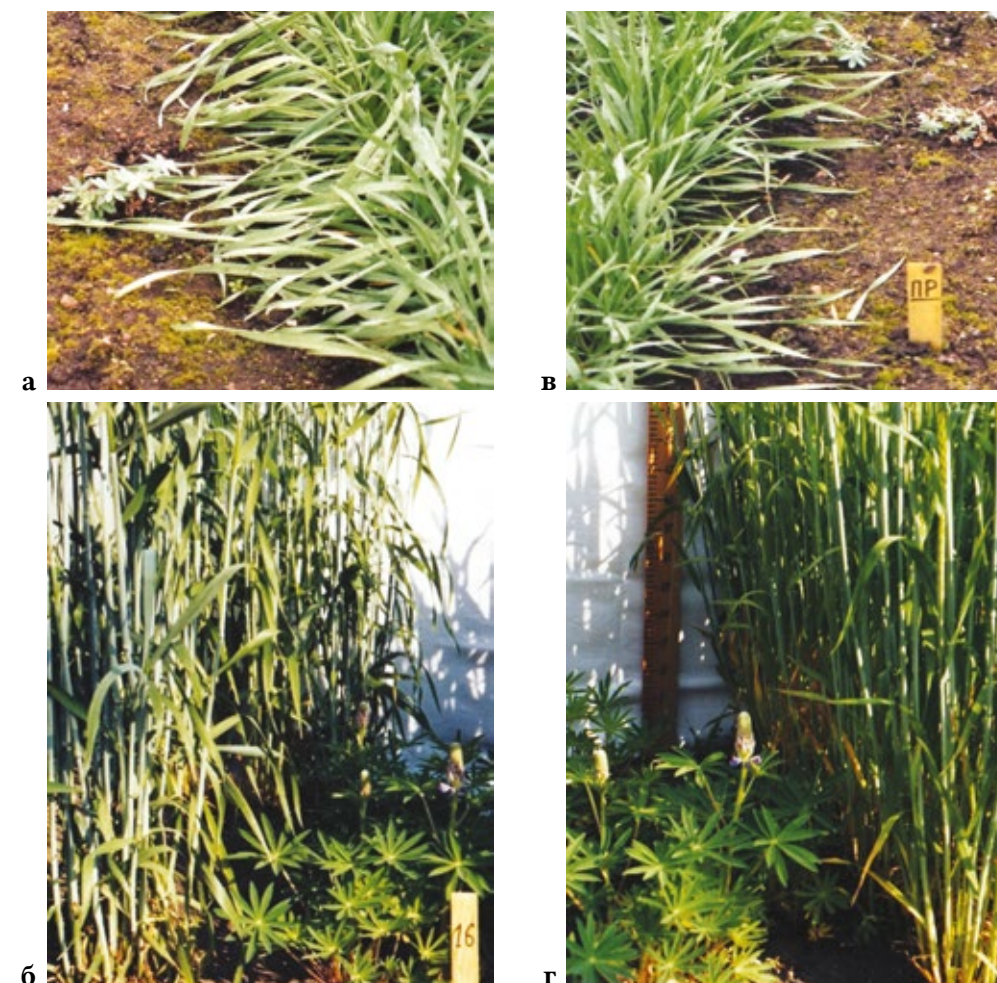


Рис. 7.4. Озимые рожь (всходы [а], колошение [б]) и пшеница (всходы [в], колошение [г]) хорошо сочетаются с люпином в условиях ноотерры.

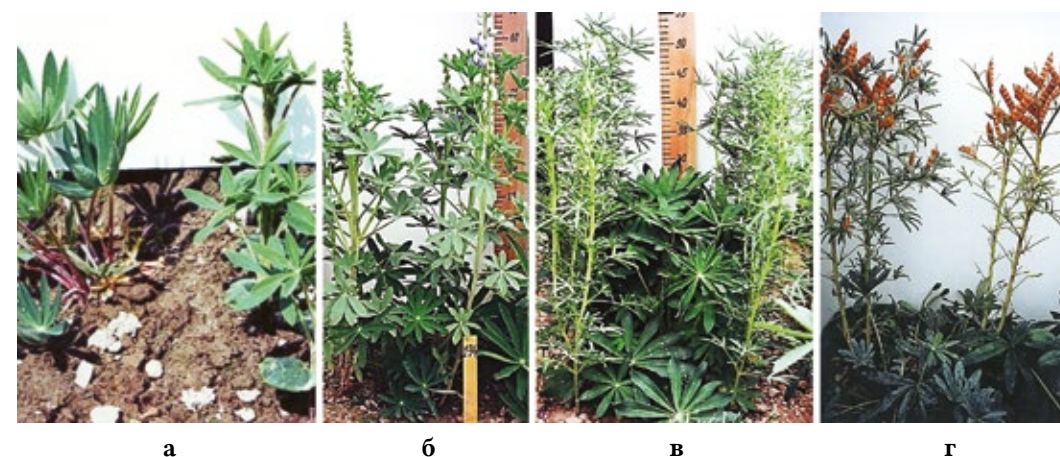


Рис. 7.5. Люпин тарви в стадии всходов (а), бутонизации (б) и люпин узколистный в стадии бутонизации (в), бурых бобов (г), в условиях ноотерры.



Рис. 7.6. Комплексный посадочный материал туи и люпина ползучего.

С позиций экологии в ноотерральных агрофитоценозах целевые виды растений (традиционные культуры или энергокультуры) являются эдификаторами, а люпин ползучий – субэдификатором, а кэтч-культуры и сорняки – второстепенными видами. Отличительной чертой таких агрофитоценозов является более надежное функционирование механизмов саморегуляции, что приближает их по потенциалу адаптивности к естественным биогеоценозам, а по продуктивности они равны или превосходят ценозы классического земледелия [Купцов, 2008].

7.6. Перспективы энергоплантаций в Беларуси

Беларусь на данном историческом этапе испытывает трудности с обеспечением своих потребностей в топливно-энергетических ресурсах (ТЭР), лишь ~ 17 % которых покрывается собственными запасами (нефть, газ, торф, дрова и др.), остальное количество приходится импортировать по все возрастающим ценам (рис. 7.7).

В связи с этим в стране разработаны:

- «Стратегия развития энергетического потенциала Республики Беларусь» (утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 августа 2010 г. № 1180);
- «Республиканская программа энергосбережения на 2011–2015 годы» (утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24 декабря 2010 г. № 1882);
- «Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 годы» (утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10 мая 2011 г. № 586).

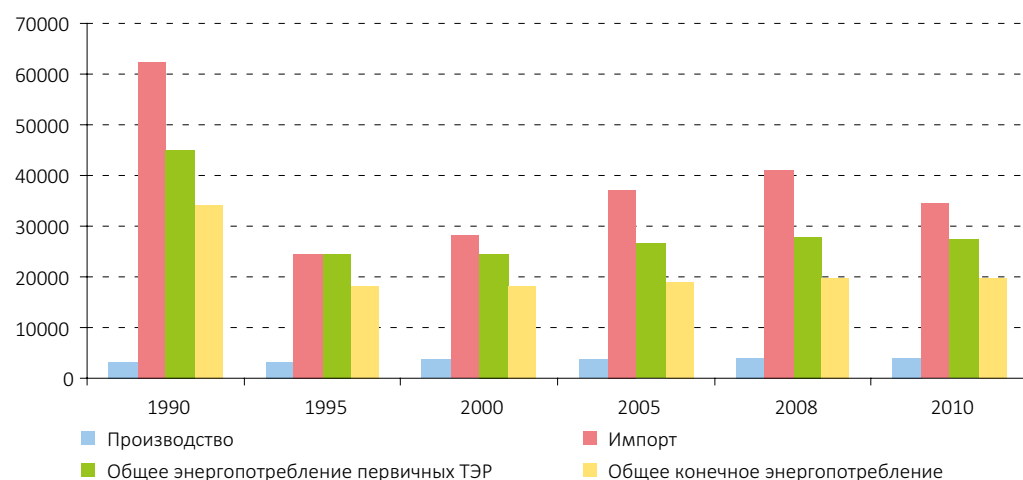


Рис. 7.7. Динамика энергобаланса Республики Беларусь (по данным МЭА: Энергетическая статистика, 2012)

Согласно этим документам доля собственных энергоресурсов в структуре энергопотребления республики должна быть доведена к 2020 году до 32 % (рис. 7.8).

При этом, достижение поставленной цели должно быть обеспечено как за счет снижения энергоемкости ВВП, так и увеличения в топливном балансе республики доли местных топливно-энергетических ресурсов, вторичных энергоресурсов, возобновляемых источников энергии.

В секторе возобновляемой энергетики предусмотрено использование следующих видов энергоресурсов (рис. 7.9):

- биомассы (дрова, отходы древесины, быстрорастущая древесина, отходы растениеводства);
- энергии воды (ГЭС различной мощности);
- энергии ветра (на территории республики выявлено 1840 площадок для размещения ветроустановок с теоретически возможным энергетическим потенциалом более 1600 МВт);
- энергии солнца (с учетом климатических условий основными направлениями использования данного ресурса станут гелиоводонагреватели и различные гелиоустановки для интенсификации процессов сушки и подогрева воды в сельскохозяйственном производстве и других бытовых целей); энергетический потенциал использования солнечной энергии оценивается в 10 тыс. тонн у. т. в год;
- энергии коммунальных отходов (потенциальная энергия равноценна 470 тонн у. т. в год);
- геотермальная энергия.

При этом основной упор делается на биоэнергетику. Так, энергетический потенциал отходов растениеводства составляет 17 млрд. кВт×ч в год, отходов лесной промышленности – 36 млрд. кВт×ч в год, муниципальных отходов – 5,5 млрд. кВт×ч в год. Отходы животноводства позволяют произвести до 1,9 млрд. кВт×ч в год биогаза.

Необходимо отметить, что Беларусь для успешного ведения народного хозяйства имеет достаточные площади под лесом и сельскохозяйственными угодьями (табл. 7.1 и 7.2).

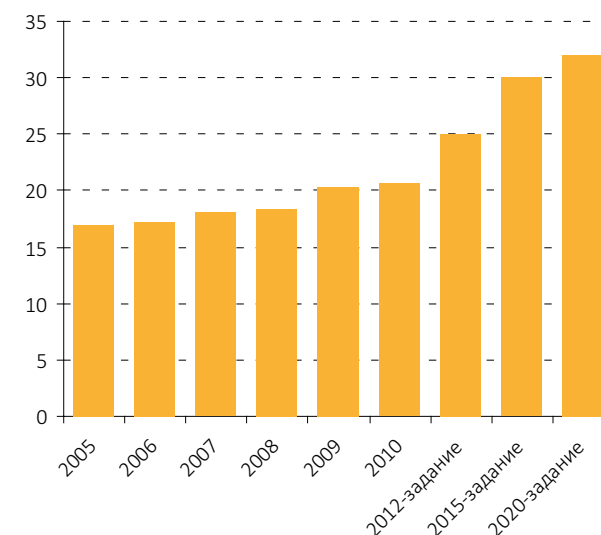


Рис. 7.8. Динамика потребления собственных энергоресурсов Республики Беларусь, включая ВИЭ, в балансе ТЭР для производства тепловой и электрической энергии (по данным МЭА. Энергетическая статистика, 2012).

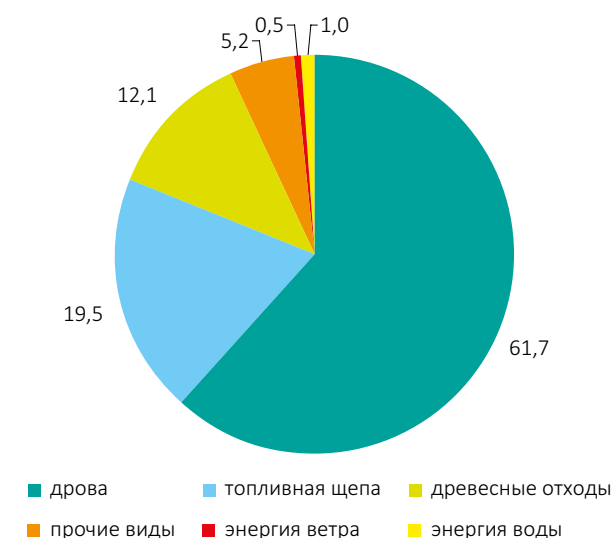


Рис. 7.9. Баланс возобновляемых источников энергии Беларуси в 2013 году (по данным Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь).

Таблица 7.1. Структура земельного фонда Беларуси по видам земель (по данным Минприроды РБ на 1.01.2014)*

Виды земель	Занимаемая доля в земельном фонде Беларуси, %
Лесные земли	44,8
Земли под болотами	4,1
Земли под водными объектами	2,3
Земли под дорогами	1,9
Земли под застройкой	1,7
Земли под улицами	0,7
Неиспользуемые, нарушенные и иные земли	2,5
Сельскохозяйственные земли	42,0

Однако значительная часть пашни (~ 1 млн. га) имеет низкий уровень плодородия – до 25 баллов. На этой пашне из-за участвовавших экстремальных погодных условий и постоянного роста цен на технологические средства товарное производство традиционной сельхозпродукции является неэффективным.

Таблица 7.2. Характеристика эрозионно-опасных земель в Республике Беларусь (по данным Минприроды РБ за 2010)*

Область	Земли, подверженные водной эрозии		Земли, подверженные ветровой эрозии	
	тыс. га	%**	тыс. га	%***
Брестская	31,3	7,7	11,3	13,7
Витебская	112,0	27,4	4,2	5,1
Гомельская	10,9	2,7	21,8	26,4
Гродненская	63,6	15,6	21,3	25,8
Минская	103,6	25,4	21,4	25,9
Могилевская	87,1	21,3	2,7	3,3
Всего в Беларуси	408,5	100,0	82,7	100,0

** % от общей площади сельскохозяйственных земель, подверженных водной эрозии;

*** % от общей площади сельскохозяйственных земель, подверженных ветровой эрозии.

Указанные низкоплодородные земли частично или полностью могут использоваться для размещения различных видов энергоплантаций.

Таким образом, Республика Беларусь имеет относительно большие потенциальные площади для производства биотоплива. Различные сценарии создания на сельхозугодьях в Республике Беларусь различных видов энергоплантаций опубликованы [Купцов, 2004; 2006; 2008; Ключков, 2009; Родькин, 2011].

Заклучение

По мере увеличения численности населения планеты Земля и темпов экономического роста, особенно в развивающихся странах, спрос и потребление энергии в различных секторах экономики и в сфере качества жизни продолжают расти, причем в прогнозах на ближайшую перспективу его замедления не предвидится. В связи с этим удовлетворение глобального спроса на энергоснабжение при одновременном снижении выбросов в атмосферу парниковых газов (CO₂, метана, закиси азота и др.) стало одной из главных мировых проблем. Открытие в последние десятилетия в субмаринной земной коре морей и океанов колоссальных залежей метангидратов и их коммерческое использование снимут на большой период проблему дефицита энергоресурсов, но существенно обострят таковую выбросов CO₂ в атмосферу. Без положительного решения проблемы редукции CO₂ «океаны» энергии, в т.ч. заключенные в метангидратах, могут стать для Земли климатической бомбой замедленного действия. На такую возможность указывает уже произошедшее за последние десятилетия глобальное потепление климата, обусловленное в значительной степени накоплением в атмосфере углекислого газа, выбрасываемого при длительном использовании традиционного ископаемого топлива (угля, нефти, газа). Массовое использование метангидратов в качестве энергоресурса, по экспертным оценкам, возможно лишь при условии параллельного развития технологий, существенно уменьшающих выбросы CO₂. Человечество избежит как энергетического кризиса, связанного с истощением запасов нефти, газа, угля и урана, так и катастрофических для жизни на Земле процессов, обусловленных парниковым эффектом, если оно в ближайшем будущем освоит технологии использования метангидратов, а также возобновляемых источников энергии, и сможет найти оптимальное сочетание их применения.

В настоящее время во многих странах ведутся активные и всесторонние исследования по биоэнергетике, а также создаются и эксплуатируются различного типа энергоплантации, как с целью эффективной редукции ими углекислого газа, так и использования их биомассы для получения энергии и, соответственно, сокращения зависимости от импортируемых энергоресурсов. Энергоплантации располагаются преимущественно на сельскохозяйственных землях и выполняют долгосрочную роль в редукции CO₂. В качестве энергокультур используются традиционные сельхозкультуры (кукуруза, сахарный тростник, рапс, соя и др.), специальные энергокультуры (мискантус, ятрофа и др.), а также древесно-кустарниковые виды (ива, тополь, сосна, бамбук и др.). Кроме того, в прибрежных зонах морей закладываются и функционируют альгаплантации и фотобиореакторы на водорослях.

Растительная биомасса является нейтральной по отношению к парниковому эффекту, так как при энергетическом использовании высвобождается столько же CO₂, сколько усвоилось из воздуха в процессе фотосинтеза. Во многих странах мира разными законами и мерами стимулируются как выращивание, так и использование фитомассы для производства биотоплива. В настоящее время в мире разработаны, производятся и используются различные виды биотоплива:

- твердые (пеллеты, брикеты, древесная щепа, дрова);
- жидкие (биодизель, биоэтанол, бионефть и др.);
- газообразные (биогаз, биометан, генераторный газ и др.).

Дальнейшее развитие производства биоэнергии требует интенсивного научно-исследовательского сопровождения, начиная с селекции сортов новых энергокультур и разработки энерго-ресурсоэкономных, природу щадящих технологий их возделывания и заканчивая поиском более эффективных решений трансформации биомассы в топливо (биотопливо второго поколения).

Мировой опыт показывает, что развитие энергетической отрасли сельскохозяйственного производства возможно лишь при создании государством соответствующих рамочных условий, начиная от законодательства и заканчивая субсидированием производства биоэнергии, хотя бы временным.

Для Беларуси как энергозависимой страны развитие биоэнергетики – настоятельная необходимость. При общей насыщенности ее продовольственного рынка производство биоэнергии из биомассы, выращенной на собственной земле, является перспективным направлением для сельскохозяйственного производства. Исследования, проведенные сотрудниками Международного государственного экологического университета имени А.Д. Сахарова на различных типах почв в разных областях республики, показали реальную возможность получения высокой урожайности древесины ивы. Потенциальная площадь для энергоплантаций только на основе ивы может составить в Беларуси 200–300 тыс. га, что позволит получать 0,7–1 млн. тонн у. т.

В заключение следует отметить, что используемые на современном этапе своего развития энергоплантации уже стали на путь, пройденный классическим земледелием, и, несомненно, пройдут этот «свой путь к вершине», подразумевающий возделывание интенсивных сортов в монокультуре по ноу-тилл-технологии и принципам экологического земледелия.

Литература

1. Алещенкова, З.М. Роль микробнорастительных ассоциаций в восстановлении деградированных и загрязненных почв / З.М. Алещенкова [и др.] // Микробные биотехнологии. Т. 3. – Минск: Беларуская навука, 2011. – С. 120–141.
2. Бородин, К. Япония добудет природный газ из гидратов / К. Бородин // Эл. ж-л «Вокруг газа», Санкт-Петербург, 22 февраля 2012. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.trubagaz.ru/issue-of-the-day/japonija-dobudet-prirodnjj-gaz-iz-gidratov>. – Дата доступа: 30.7.2015.
3. Биоэнергия. Твердое биотопливо, жидкое биотопливо, биогаз. – Росток: Танграм, 2012. – 15 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.bio-energetics.ru/downloads.php?id=2>. – Дата доступа: 30.07.2015.
4. Булаткин, Г.В. Перспективная энергетическая культура – мискантус китайский / Г.А. Булаткин, Г.В. Митенко // Экологический вестник России. – 2007. – № 7. – С. 40–45.
5. Варламов, Г.П. Технология и комплексы машин для возделывания и первичной переработки топинамбура / Г.П. Варламов, А.М. Долгошеев, А.Н. Черепяхин. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 140 с.
6. Винокуров, И.Ю. Эволюция почвенных экосистем: химическое загрязнение, саморегуляция, самоорганизация, устойчивость / И.Ю. Винокуров (отв. ред.). – М.: Юркнига, 2007. – 320 с.
7. Гейсс, Я. Евросоюз выбирает новую энергетику [Электронный ресурс] / Я. Гейсс. – Режим доступа: <http://bioethanol.ru/bioethanol/news/intervju>. – Дата доступа: 30.07.2015.
8. Гелетуха, Г. Топливные характеристики энергетических культур / Г. Гелетуха, Т. Железная, А. Трибой // Энергоэффективность. – 2015. – № 2. – С. 58–68.
9. Горный, А.В. Технология возделывания топинамбура на семенные цели: научно-методическое пособие / А.В. Горный, под ред. А.В. Горного. – Минск: БелНИИ овощеводства, 2000. – 34 с.
10. Горный, А.В. Рекомендации по развитию культуры топинамбура в Минской области на 2008–2010 годы / А.В. Горный М.И. Ярошевич; под ред. А.В. Горного. – Минск: БГАТУ, 2007. – 11 с.
11. Грачев, А.Н. Технология быстрого пиролиза при энергетическом использовании низкокачественной древесины / А.Н. Грачев [и др.] // Энергетика Татарстана. – 2008. – № 4 (12). – С. 15–20.
12. Григориади, А. С. Использование микробно-растительного взаимодействия как одного из направлений современной экибиотехнологии / А.С. Григориади, Б.Ф. Багаутдинова // Актуальные аспекты соврем. микробиологии: тез. докл. VI-й Молодежной школы-конф. с Междунар. участием, Москва, 25–27 окт. 2010 г. / Ин-т микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН. – М.: МАКС Пресс, 2010. – С. 133–135.
13. Громова, А. Потерянный воздух Киото / А. Громова // Химический журнал. – 2011. – № 1. – С. 28–31.
14. Гуляка, М.И. Безотвальная обработка почвы: итоги 30-летних исследований / М.И. Гуляка, Н.П. Вострухин, Н.А. Лукьянюк // Белорусское сельское хозяйство. – 2009. – № 3 (83). – С. 38–42.
15. Денисов, С.Н. Оценка стабильности метангидратов Арктического шельфа / С.Н. Денисов М.: Ин-т физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 2008. – 9 с.
16. Добровольский Г.В. Деградация и охрана почв / Под общей ред. акад. РАН Г.В. Добровольского. – М.: МГУ, 2002. – 654 с.
17. Довбан К.И. Зеленое удобрение в современной земледелии. – Минск: Беларус. наука. – 2009. – 404 с.
18. Долгошеев, А.М. Механизация возделывания, уборки и переработки топинамбура / А.М. Долгошеев; под ред. А.М. Долгошеева. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 315 с.
19. Заленский, В.А. Обработка почвы и плодородие / В.А. Заленский, Я.У. Яроцкий. 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Беларусь, 2004. – 542 с.
20. Зеленков, В.Н. Топинамбур: агробиологический портрет и перспективы инновационного применения / В.Н. Зеленков, Н.Г. Романова. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2012. – 161 с.
21. Ильина, З.М. Производство биотоплива: опыт, проблемы, перспективы / З.М. Ильина, В.И. Бельский, Н.Н. Лепетило [и др.]. – Минск: Ин-т экономики НАН Беларуси, 2008. – 72 с.
22. Инербаев, Т.М. Динамические, термодинамические и механические свойства газовых гидратов структуры I и II. / Т.М. Инербаев [и др.] // Российский химический журнал. – 2003. – Т. 48. № 3. – С. 19–27.

23. Кант, Г. Земледелие без плуга / Г. Кант; перевод с немецкого Е.А. Кошкина // М.: Колос, 1980. – 158 с.
24. Кант, Г. Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем / Гюнтер Кант; Пер. с нем. С.О. Эбель. – М. Агропромиздат, 1988. – 206 с.
25. Кирюшин, В.И. Экологические основы земледелия / В.И. Кирюшин // М.: Колос, 1996. – 365 с.
26. Кисель, В.И. Теоретические основы и прикладные аспекты создания комфортных условий питания растений для No-Till-технологий / В.И. Кисель // Самовосстанавливающееся эффективное земледелие: сб. докладов IV конференции NT-CA, Днепропетровск 27–30.9.2006. – Днепропетровск: Агро-Союз, 2006. – С. 99–100.
27. Клочков, А.В. Биоэнергетика в сельском хозяйстве : научно-методическое пособие / А.В. Клочков, Д.В. Кацер; под ред. А.В. Клочкова. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2009. – 64 с.
28. Клочков, А.В. Прямой посев: агrobiологические основы и технологические возможности / А.В. Клочков, С.М. Гурко // Наше сельское хозяйство (Мн.). – 2010. – № 4. – С. 38–46.
29. Клочков, А.В. Бионефть, или Как бензин может стать зеленым // Наше сельское хозяйство (Мн.). – 2012. – № 3. – С. 106–110.
30. Крит, А. Масштабы таяния арктического льда поражают. Арктический ледяной панцирь достиг своего минимума / А. Крит // EcoWars. – 21.9.2012. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.vseneprostotak.ru/2012/09/masshtabyi-tayaniya-arkticheskogo-ldarogazhayut/>. – Дата доступа: 30.07.2015.
31. Крэбтри, Б. Уплотнение почвы и ее изменение при нулевой обработке / Б. Крэбтри // Главный агроном. – 2008. – № 3. – С. 10–14.
32. Коломиец, Э.И. Микробные препараты фитозащитного и ростстимулирующего действия на основе лигнинсодержащего сырья: теоретические и прикладные аспекты [Текст] : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Э.И. Коломиец; НАН Беларуси. Институт микробиологии. – Минск, 1999. – 40 с.
33. Коломиец, Э.И. Новые подходы к созданию средств биологического контроля [Текст] / Э. И. Коломиец, Т. В. Романовская, Н. А. Здор // Защита растений : сборник научных трудов / Республиканское научное унитарное предприятие «Институт защиты растений» Национальной академии наук Беларуси. – Минск, 2006. – Вып. 30, ч. 1 : Стратегия и тактика защиты растений. – С. 474–477.
34. Кузнецов, Ф.А. Газовые гидраты: исторический экскурс, современное состояние, перспективы исследований / Ф.А. Кузнецов, В.А. Истомин, Т.В. Родионова // Российский химический журнал. – 2003. – Т. 48. № 3. – С. 5–18.
35. Кулаков, Г.Т. Прогнозы развития мировой энергетики до 2030 года / Г.Т. Кулаков, Е.Г. Верейчик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 11-й Межд. научно-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2013. – Т. 1. – С. 99–100.
36. Культуры, используемые в производстве биодизельного топлива. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://iipdigital.usembassy.gov/st/russian/publication/2008/10/20081015170846wrybakcu0.9378168.html#ixzz3dUT22FSk>. – Дата доступа: 30.07.2015.
37. Купцов, Н.С. Узколистный люпин в современном земледелии // Земледелие и защита растений. – 2004. – № 6 (37). – С. 7–11.
38. Купцов, В.Н. Подходы к созданию биопрепарата комплексного действия для защиты зернобобовых культур от болезней / В.Н. Купцов, М.Н. Мандрик, Э.И. Коломиец // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2006. – № 2. – С. 79–82.
39. Курило, А.А. Изучение микробиологической активности дерново-подзолистой почвы / А.А. Курило, В.Г. Лошаков, Д.А. Постников // Агрохимический вестник. – 2010. – № 1. – С. 32–34.
40. Купцов, Н.С. Энергетические плантации / Н.С. Купцов // Энергетика и ТЭК. – 2006. – № 2 (35). – 50 с.
41. Купцов, Н.С. Люпин – генетика, селекция, гетерогенные посевы / Н.С. Купцов, И.П. Такунов. – Брянск, Клины: издательство ГУП, Клиновская городская типография. 2006. – 576 с.
42. Купцов, Н.С. Генетика доместикации узколистного люпина. 20 лет Всероссийскому научно-исследовательскому институту люпина / Н.С. Купцов, Т.П. Миронова // Сб. научн. тр. Всероссийского НИИ люпина. – Брянск: ЗАО «Издательство «Читайгород», 2007. – С. 104–110.

43. Купцов, Н.С. Плантации для получения энергии в Беларуси возможны / Н.С. Купцов // Белорусское сельское хозяйство 2008. – № 8 (76) – С. 28–31.
44. Купцов, Н.С. Основные результаты селекции видов люпина в Беларуси и очередные этапы их доместикации / Н.С. Купцов, Т.П. Миронова // Генетика и биотехнология XXI века. Фундаментальные и прикладные аспекты: материалы Международной научн. конф., 3–6 декабря 2008, Минск /ред. кол. Н.П. Максимов (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2008. – С. 119–120.
45. Купцов, Н.С. Стержневая генетическая коллекция *Lupinus angustifolius* L. Генетика, формирование биологического банка генов, использование / Н.С. Купцов [и др.]. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию», 2014. – 127 с.
46. Курлович, Б.С. (Kurlovich, B.S.) Lupins. Geography, Classification, Genetic Researches and Breeding / Kurlovich B.S. (eds.). – St. Petersburg: Publishing house Intan, 2002. – 468 с.
47. Кэрролл, Дж. Гидраты природного газа / Дж. Кэрролл. – М.: Технопрогресс, 2007. – 316 с.
48. Майсурия, Н.А. Люпин / Н.А. Майсурия, А.И. Атабекова. – М.: Колос, 1974. – 464 с.
49. Макогон, Ю.Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы / Ю.Ф. Макогон // Российский химический журнал. – 2003. – Т. 48. № 3. – С. 70–79.
50. Мельниченко, Д.А. Пеллеты – вид топлива / Д.А. Мельниченко – Минск: БГУИР, 2014. – 200 с.
51. Мильто, Н.И. Клубеньковые бактерии и продуктивность бобовых растений / Н.И. Мильто. – Минск: Наука и техника, 1982. – 296 с.
52. Митин, С.Г. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития / С.Г. Митин [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 202 с.
53. Мишустин, Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия / Е.Н. Мишустин (отв. ред.). – М.: Наука, 1972. – 344 с.
54. Моргун Ф.Т. Поле без плуга / Ф.Т. Моргун – М.: Известия. –1984. – 512 с.
55. Назаров, А. В. Потенциал использования микробнорастительного взаимодействия для биоремедиации / А.В. Назаров, С. А. Иларионов // Биотехнология. – 2005. – № 5. – С. 54–62.
56. Овсинский, И.Е. Новая система земледелия / И.Е. Овсинский (отв. ред.). – М.: Изд. дом: типография Девриена, 1909. – 95 с.
57. Орлик, Л.С. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. / Л.С. Орлик [и др.]; Орлик Л.С. (отв. ред.); 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 403 с.
58. Осборн, Ш.Л. Урожайность и качество кукурузы при возделывании после покровных культур в условиях обработки почвы по технологии No-Till // Ш.Л. Осборн, В.Е. Риддел, Т.Е. Шумахер // Самовосстанавливающееся эффективное земледелие: сб. докл. IV-й конф. NT-CA, Днепропетровск 27–30.9.2006. – Днепропетровск: Агро-Союз, 2006. – С. 179–181.
59. Перспективы энергетических технологий. В поддержку Плана действий «Группы восьми». Сценарии и стратегии до 2050 г. ОЭСР/МЭА, WWF России (перевод на русский язык, ред. часть 1. А. Кокорин, часть 2. Т. Муратова. – М.: 2007. – 586 с.
60. Привалов, Ф.И. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 288 с.
61. Пупонин, А.И. Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны / А.И. Пупонин. – М.: Колос, 1984. – 184 с.
62. Пупонин, А.И. Минимализация обработки почвы: опыт, проблемы и перспективы / А.И. Пупонин, Б.Д. Кирюшин. – М.: ВНИИТЭИ-агропром, 1989. – 56 с.
63. Рейнгарт, Э.С. Перспективы использования топинамбура для производства биоэтанола / Э.С. Рейнгарт, Н.А. Кочнев, А.Г. Пономарев, П.С. Звягинцев // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 1. – С. 38–40.
64. Родькин, О.И. Производство возобновляемого биотоплива в аграрных ландшафтах: экологические и технологические аспекты : монография / О.И. Родькин – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2011. – 212 с.
65. Родькин, О.И. Экономические аспекты производства возобновляемой энергии из древесины быстрорастущей ивы // Экономика и экологический менеджмент. – 2013. – № 2. – С. 3–13. [Электронный ресурс]: <http://www.economics.ihbt.ifmo.ru>. Дата доступа: 18.09.2015.
66. Родькин, О.И. Селекция новых сортов быстрорастущей ивы / О.И. Родькин, Б. Крстич, С. Орлович // Наука и инновации (Мн.). – 2015. – № 3 (145). – С. 69–72.

67. Смирнов, С.Н. Япония встала на путь «гидратной революции» // Ведомости. – 2013. – 12 марта. – С. 4. [Электронный ресурс]: http://www.vedomosti.ru/technology/articles/2013/03/12/yaponskaya_jogmes_vpervye_v_mire_dobylya_gaz_iz_gidrata. Дата доступа: 18.09.2015.
68. Смольская, Н.А. Возобновляемая энергетика в Беларуси: оценка состояния и перспективы роста / Н.А. Смольская; редколл.: В.Н. Шимов (председатель) и др.] // Научные труды Белорусского государственного экономического университета. – 2013. – Вып. 6. – С. 363–370.
69. Соколов, М.С. Экологизация защиты растений / М.С. Соколов, О.А. Монастырский, Э.А. Пикушова. – Пушино: ОНТИ, 1994. – 462 с.
70. Сокур, О.Н. Мировой опыт подхода к решению проблемы использования газогидратов как источника энергетического сырья / О.Н. Сокур // Сб. научн. работ Ин-та геологических наук НАН Украины. – 2010. – вып. 3. – С. 343–349.
71. Соловьев, В.А. Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое / В.А. Соловьев // Российский химический журнал. – 2003. – Т. 48. № 3. – С. 59–69.
72. Хацкевич, О. Выгоды метана очевидны / О. Хацкевич // СБ. Беларусь сегодня. – 2014. – № 209 (24590) от 31 окт. 2014 г. – С. 10.
73. Цивенкова, Н.М. Быстрорастущие плантации тополя – новая энергетическая сырьевая база / Н.М. Цивенкова, А.А. Самылин // Леспроектинформ. – 2005. – № 8 (30). – С. 58–63.
74. Цыганов, А.Р. Биоэнергетика: энергетические возможности биомассы / А.Р. Цыганов, А.В. Клочков. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 143 с.
75. Шаззо, Р.И. Топинамбур: биология, агротехника выращивания, место в экосистеме, технологии переработки (вчера, сегодня, завтра): монография / Р. И. Шаззо, Р. А. Гиш, Р.И. Екутеч, Е.П. Корнена, В.Г. Кайшев, под ред. Р.И. Шаззо; Рос. акад. с.-х. наук, Кубан. гос. аграр. ун-т. – Краснодар, 2013. – 184 с.
76. Шнайдер, М. Советы по организации севооборота при бесплужном земледелии // М. Шнайдер, Л. Энтруп, Г. Штеманн // Сейбит. – 2006. – № 1. – С. 30–35.
77. Шор, В.Ч. Шкала десятичного кода стадий роста и развития растений люпина желтого / В.Ч. Шор, Н.С. Купцов // Наше сельское хозяйство (Минск). – 2012. – № 10. – С. 62–69.
78. Шпаар, Д. Растительная биомасса для производства энергии / Д. Шпаар, В. Щербаков // Белорусское сельское хозяйство (Минск). – 2007. – № 8. – С. 21–26.
79. Шпаар, Д. Возобновляемое растительное сырье (производство и использование) / под общ. ред. доктора с.-х. наук, проф., иностранного члена РАСХН Д. Шпаара. – СПб.: Пушкин, 2006. – Книга 1. – 416 с.
80. Шпаар, Д. Возобновляемое растительное сырье (производство и использование) / под общ. ред. доктора с.-х. наук, проф., иностранного члена РАСХН Д. Шпаара. СПб.: Пушкин, 2006. Книга 2. – 382 с.
81. Шумный, В.К. Новая форма мискантуса (*Miscanthus sinensis Andersson*) / В.К. Шумный [и др.] // Вестник ВОГиС. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 122–126.
82. Эденхофер, О. Возобновляемые источники энергии и смягчение воздействий на изменение климата / О. Эденхофер [и др.]. – Брюссель: МГЭИК, 2011. – 247 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://infoclimate.org/?books=vozobnovlyaemyie-istochniki-energii-i-smtyagchenie-vozdeystviy-na-izmenenie-klimata>. – Дата доступа: 30.07.2015.
83. Якушев, В.П. К проблеме агрофизических основ систем земледелия нового поколения / В.П. Якушев, А.М. Лыков // Плодородие. – 2008. – № 6 (45). – С. 22–24.
84. Baker, H. Прогноз развития мировой энергетики до 2030 года // London: BP, 2013. Электронный ресурс: http://www.bp.com/content/dam/bp-country/ru_ru/folder/2030_Booklet_rus.pdf. Дата доступа: 30.07.2015.
85. Bassam, N.E. *Energy plant species: their use and impact on environment* / N.E. Bassam (ed.). – London: James & James Science Publishers, 2003. – 320 p.
86. Bjørn, L. The skeptical environmentalist. Measuring the real state of the world / L. Bjørn (ed.). – Cambridge University Press., 2001. – 515 p.
87. Bleiholder, H. Einheitliche Codierung der phänologischen Stadien bei Kultur- und Schädipflanzen / H. Bleiholder, T. van den Boom, P. Langelüddecke, R. Stauss // Gesunde Pflanzen. – 1989. – V. 41, № 11. – P. 381–384.
88. Bondarenko, V. Gas hydrate deposits of the Black Sea's trough: currency and features of development / V. Bondarenko, E. Maksymova, K. Ganushevich, K. Sai // Materialy konf. Szkola Eksploatacji Podziemnej 2013. – Krakow, 18-22 lutego 2013. – P. 66–69.
89. Hack, H. Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. Erweiterte BBCH-Skala / H. Hack [et al.] // Allgemein. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz. – 1992. – V. 44, № 12. – P. 265–270.
90. Caslin, B. *Miscanthus best practice guidelines* / B. Caslin, J. Finnan, L. Easson. – Teagasc: Ecclesville Printing Services, 2011. – 52 p.
91. Cocchi, M. Global wood pellet industry market and trade study/ M. Cocchi // Utrecht: IEA Task 40. – 2011. – 190 p.
92. Dinger, Th. *Gentechnik Biotechnik: Lehrbuch und Kompendium für Studium und Praxis* / Th. Dinger (Ed.). – Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 1999. – 632 p.
93. Diouf, J. Biofuels and agriculture – a technical overview / J. Diouf. (Ed.). in book: *Biofuel: prospects, risks and opportunities* – Rome: FAO, 2008. – P. 10–22. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-i0100e.pdf>. Дата доступа: 18.09.2015.
94. *Energy technology perspectives: scenarios and strategies to 2050*. Paris: International Energy Agency, June 2006. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://iipdigital.usembassy.gov/st/russian/publication/2008/10/20081015170846wrybakcu0.9378168.html#ixzz3kTlgfh7c>. Дата доступа: 30.07.2015.
95. Goh, C.S. Wood pellet market and trade: A global perspective / C.S. Goh [et al.] // Biofuels, Bioproducts, and Biorefining. – 2013. – V. 7, № 1. – P. 24–42.
96. Hagner, S. Pinus contorta: Sweden's third conifer / S. Hagner // Forest Ecology and Management. – 1983. – V. 6, № 3. – P. 185–199.
97. Jansons, A. Biomass production of young lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) stands in Latvia / A. Jansons, L. Sisenis, U. Neimane, J. Rieksts-Riekstins // iForest. – 2013. – № 6. – P. 10–14.
98. Kloos, R. Liquid biofuels / R. Kloos. – Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2013 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.bio-prom.net/index.php?id=8347&L=4>. Дата доступа: 30.07.2015.
99. Kurlovich, B.S. *Lupins. Geography, Classification, Genetic Researches and Breeding* / Kurlovich B.S. (eds.). – St. Petersburg: Publishing house Intan, 2002. – 468 p.
100. Ohgaki K., Inoue Y. A proposal for gas storage on the bottom of the ocean, using gas hydrates // J. Chem. Eng. Jpn. – 1994. – V. 34, № 3. – P. 417–419.
101. Oncl, S.S. Microalgae for a macroenergy world / S.S. Oncl // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – V. 26, № 8. – P. 241–264.
102. Parry, M.L. Climate change and world agriculture / M.L. Parry (ed.). – London: Earthscan publications Ltd., 1990. – 157 p.
103. Parry, M.L. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios / M.L. Parry [et al.] // Global Environmental Change Part A. – 2004. – V. 14, № 1. – P. 53–67.
104. Parry, M.L. Millions at risk: Defining critical climate change threats and targets / M.L. Parry [et al.] // Global Environmental Change. – 2001. V. 11. – P. 181–183.
105. Project FiBL Arche Noach Biogene. Futtermittel, Lebensmittel, Saatgut ohne Gentechnik // Ökologie und Landbau. – 1999. – B. 110, № 2. – S. 50.
106. Rasmussen, K.J. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality / K.J. Rasmussen // Soil and Tillage. – 1998. – № 53. – P. 3–14.
107. Sasongko, N.A. Comprehensive evaluation of integrated energy plantation model of palm oil and microalgae based biofuel for sustainable energy production / N.A. Sasongko, R. Noguchi // Energy Procedia. – 2015. – V. 68, № 4. – P. 226–235.
108. Sikkema, R. The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020 / R. Sikkema [et al.] // Biofuels, Bioproducts & Biorefining. – 2011. – V. 5, № 3. – P. 250–278.
109. Sommerkorn, M. Arctic climate feedbacks: global implications / M. Sommerkorn, S.J. Hassol (eds.). – Oslo: WWF International Arctic Programme, 2009. – 97 pp.
110. Weber, B. *Oko-Landbau und Gentechnik: Entwicklung, Risiken, Handlungsbedarf* / B. Weber, Immo Lunzer I., Hirn G. // *Ökologische Konzepte* – 2000. – B. 97. – 272 s.
111. Williams, M.J. Planting and Managing Giant Miscanthus as a Biomass Energy Crop / M.J. Williams, J. Douglas // Technical Note (USDA). – 2011. – № 4. – P. 1–22.
112. Willer, H. The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends / H. Willer, J. Lernoud (eds.). – Nurnberg: FiBL-IFOAM Report, 2014. – 308 p.

Приложение 1

Список понятий и терминов

Альтернативные (нетрадиционные) источники энергии – источники энергии (возобновляемые и невозобновляемые), которые полностью заменяют ископаемые органические энергоресурсы.

Биомасса растений (фитомасса) – сырая, свежая масса. Физиологически активная растительная масса, содержащая функционально необходимые (70–90 % количества воды). Численно равна сумме масс сухого вещества, конституционной и связанной воды, а также летучих соединений.

Биоразнообразие – изменчивость среди живых организмов из всех источников, в том числе земных, морских и других водных экосистем и экологических комплексов, частью которых они являются; включая разнообразие внутри видов, между видами и разнообразием экосистем.

Биотопливо первого поколения – топливо, которое получают из зерна, масличных семян, животных жиров и отходов растительного масла с использованием современных перерабатывающих технологий.

Биотопливо второго поколения – топливо, для производства которого используются нетрадиционные биохимические и термохимические процессы переработки и сырьевой материал, получаемый, например, из лигноцеллюлозных фракций сельскохозяйственных и лесных отходов, муниципальных твердых отходов и т.д.

Биотопливо третьего поколения – топливо, которое будут получать из исходного сырья, такого как морские водоросли и энергокультуры, посредством современных технологий, которые еще находятся в стадии разработки. Эти виды биотоплива второго и третьего поколений, полученные на основе новых технологий, также именуются биотопливом следующего поколения или перспективным биотопливом или биотопливом, полученным посредством передовых технологий.

Биоэнергетическая оценка процесса – энергетическая оценка технологического процесса получения биоэнергии или биоэнергетических носителей.

Биоэнергия – энергия, получаемая биологическим путем в результате жизнедеятельности организмов, т.е. из биомассы в любых ее видах, в том числе из биомассы растений энергоплантаций.

Воздушно-сухая масса – фитомасса убранных растений или их частей, высушенных до стандартной влажности (14 %).

Возобновляемая энергия – энергия из возобновляемых источников энергии (ветра, воды, солнца, геотермального тепла, приливов и др.).

Возобновляемые источники энергии – солнце, ветер, тепло Земли, естественное движение водных потоков, древесное топливо, топливо других видов биомассы, биогаз, а также иные источники энергии, пополняемые в природе естественными процессами быстрее, чем способно потреблять человечество.

Вторичная энергия – преобразованная первичная энергия, удобная для использования потребителям, содержащаяся в продуктах переработки первичных энергоресурсов (электроэнергия, бензин, дизтопливо и др.).

Выброс в эквиваленте CO₂ (CO₂ экв) – объем выбросов CO₂, которые станут причиной такого же радиационного воздействия, что и выброшенный объем парникового газа или смеси парниковых газов, помноженных на их соответствующие потенциалы глобального потепления, которые учитывают то различное время, в течение которого они остаются в атмосфере. См. также Потенциал глобального потепления.

Выбросы – прямые выбросы происходят и выпускаются в точках конкретной цепи возобновляемых источников энергии, будь то сектор, технология или вид деятельности.

Например, выбросы метана в результате разложения органических веществ, погруженных в водохранилища гидроэлектростанций, или выброс CO₂, растворенного в горячей воде геотермальных установок, или CO₂ в результате сжигания биомассы. Косвенные выбросы происходят в результате деятельности, не связанной с рассматриваемой цепью возобновляемых источников энергии, но которая необходима для реализации использования этих источников. Например, выбросы в результате увеличения производства удобрений, используемых для выращивания биотопливных культур или обезлесения, вызванного биотопливными культурами. Предотвращенные выбросы – это сокращения выбросов благодаря мерам по смягчению воздействий, таким как использование возобновляемых источников энергии.

Высшая теплота сгорания – количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании вещества (Дж/кг; Дж/м³; Дж/л), включая теплоту конденсации водяных паров при охлаждении продуктов сгорания. Высшая теплота сгорания отличается от низшей на величину теплоты полной конденсации водяных паров, образующихся при сгорании углеводородов. Теплоту конденсации водяного пара также называют скрытой теплотой парообразования (конденсации) – это количество теплоты, выделяемое при конденсации водяного пара массой 1 кг при температуре от 100 °C и охлаждении образовавшейся воды: 1) при охлаждении до 20 °C Δ≈2,5 кДж/кг, 2) при охлаждении до 0 °C Δ≈3,5 кДж/кг. В технологических расчетах обычно пользуются низшей теплотой сгорания (определение см. ниже).

Генерационный потенциал источника энергии – максимальная мощность, т.е. максимальное количество энергии, производимой в единицу времени.

Генераторный газ – смесь газов: легковоспламеняющихся угарного газа (CO 26–30 %) с водородом (H₂ 13–15 %) и не воспламеняющихся: азота (N₂ 45–55 %), углекислого (CO₂ 5–8 %). Генераторный газ получается в газогенераторных печах при неполном сгорании биомассы в воздухе или паре (газификация).

Генотип – совокупность всех генов, локализованных в хромосомах организма.

Деградация почвы – постепенное снижение плодородных свойств почвы под влиянием естественных (нарушение условий почвообразования) или искусственных причин (хозяйственная деятельность). Деградация сопровождается снижением плодородия, изменением почвенной флоры и фауны, формированием пустошей.

Жизненный цикл продукции включает исходный и сырьевой материал, энергетические потребности, а также производство отходов и выбросов. Это охватывает использование технологии/установки/продукции, а также всех процессов вверх по технологической цепочке.

Затраты совокупной энергии – затраты, включающие все виды используемой энергии, в т.ч. энергии труда, перенесенные в процессе производства на результат труда.

Изменение климата – состояние климата, которое может быть определено (например, с помощью статистических испытаний) через изменения в среднем значении и/или изменчивость его свойств и которое сохраняется в течение длительного периода, обычно несколько десятилетий или больше. Изменение климата может быть вызвано естественными внутренними процессами или внешними воздействиями, а также устойчивыми антропогенными изменениями в составе атмосферы или в землепользовании. Следует отметить, что Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИКООН) определяет как «изменение климата, которое прямо или косвенно обусловлено деятельностью человека, вызывающей изменения в составе глобальной атмосферы, и накладывается на естественные колебания климата, наблюдаемые на протяжении сопоставимых периодов времени». Таким образом, РКИКООН проводит различие между «изменением климата», обусловленным деятельностью человека, изменяющей состав атмосферы, и «изменчивостью климата», обусловленной естественными причинами.

Квота (лат. *quota*) – норма, доля или часть чего-либо допускаемого в рамках возможных соглашений и договоров. Квоты на выброс углерода – это средство расчета, используемое для компенсирования или нейтрализации выбросов углекислого газа. Одна квота на выброс углерода представляет собой право на выброс одной метрической тонны двуокиси углерода или эквивалентной массы другого парникового газа.

Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата принят на 3-й сессии Конференции сторон в Киото (1997 г., вступил в силу 16 февраля 2005 года). Он содержит подлежащие соблюдению юридические обязательства, в дополнение тем, которые включены в РКИКООН. Страны согласились сократить свои выбросы парниковых газов антропогенного происхождения (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs, SF_6) не менее чем на 5 % ниже уровней 1990-го в течение периода действия обязательств с 2008 по 2012 год.

Классическое земледелие – традиционное земледелие, включающее обработку почвы, внесение всех видов удобрений и использование химических средств защиты растений.

Когенерация – использование на электростанциях тепла, которое обычно теряется. Например, на тепловых электростанциях тепло от паровых турбин или горячие отработанные газы из газовых турбин используются для промышленных целей, нагрева воды или отопления зданий, а также для централизованного отопления. Определение также употребляется как комбинированное производство электроэнергии и тепла.

Компенсация в политике области климата – единица эквивалента CO_2 (CO_2 экв), выбросы которого сокращаются, предотвращаются или поглощаются для компенсации выбросов, происходящих в других местах.

Конечная (полезная) энергия – энергия, доставленная на объекты конечного пользования (например, электроэнергия из электросети, свет).

Косвенные затраты энергии – энергия, затраченная на предметы и средства труда, с помощью которых осуществлялся производственный процесс (средства автоматизации, механизации, компьютеризации, удобрения, пестициды и др.)

Коэффициент энергетической эффективности – доля обменной энергии продукта в совокупной энергии при ее производстве.

Кэч-культура – растения, специально высеваемые в междурядьях целевой культуры (пшеница, ячмень, кукуруза и др.), которые обеспечивают в посевах захват и длительное удержание в своей биомассе растворимых элементов питания, легко вымываемые из верхнего слоя почвы, особенно после отмирания и уборки целевой культуры.

Метангидраты – льдоподобная масса белого цвета в виде разного размера кристаллов, хлопьев и лепешек, включающая молекулы газа-метана, заключенные в кристаллические ячейки, состоящие из молекул воды.

Механизация технологического процесса – способ машинного применения энергии в технологическом процессе или его составных частях, осуществляемых людьми в целях сокращения трудовых затрат, улучшения условий производства, повышения объема выпуска и качества продукции.

Модели – структурированные имитации характеристик и механизмов систем, позволяющие воспроизводить их появление или функционирование, например, климата, экономики страны, процесса, урожая. Математические модели сводят воедино нужные переменные величины и связи (часто в виде компьютерного кода) для имитации функционирования и показателей эффективности систем, меняя их параметры и исходные данные.

Мощность – количество энергии в единицу времени, определяющее интенсивность движения и взаимодействия материальных тел или это скорость изменения энергии.

Налог (сбор, плата) на углерод – сбор за содержание углерода в ископаемых видах топлива. Поскольку практически весь углерод, содержащийся в ископаемых видах топли-

ва, в конечном итоге выбрасывается в виде CO_2 , то налог на него эквивалентен налогу на выбросы CO_2 .

Налог на энергию – сбор, взимаемый с энергетического содержания топлива (он снижает спрос на энергию и, как следствие, выбросы CO_2 в результате использования ископаемого топлива).

Налоговый кредит – уменьшение налога с целью стимулирования приобретения определенной продукции или инвестирования в определенную продукцию, например, в технологии сокращения выбросов парниковых газов.

Невозобновляемые источники энергии – источники, накопленные в природе в виде ископаемых ресурсов: угля, торфа, нефти, газа, газогидратов, горючих сланцев, урана, а также иные источники энергии, которые в новых геологических условиях практически не образуются.

Невозобновляемая энергия – энергия, полученная от ископаемых невозобновляемых энергоресурсов (угля, нефти, газа, сланцев, урана и др.).

Нефтяной эквивалент (н. э.) – условный стандарт топлива, удельная (низшая) теплота сгорания (в воздухе) которого равна 41,87 кДж/кг (в странах ЕЭС или в рамках МЭА), а высшая теплота сгорания равна 45,37 кДж/кг (в США, Канаде, Японии, Австралии).

Низшая теплота сгорания – количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании, без учета теплоты конденсации водяного пара. Теплоту конденсации водяного пара также называют скрытой теплотой парообразования (конденсации) $\approx 2,5$ кДж/кг – это количество теплоты выделяется при конденсации водяного пара массой 1 кг при температуре 100 °С и охлаждении образовавшейся воды до 20 °С.

Ноотерра – разумно окультуренная почва, целенаправленно сформированная в условиях прямого высева, и исключение любого вида ее обработки (ноу-тилл-технология, или нулевая обработка), кроме воздействия органов посевных агрегатов и искусственного включения в ее состав биоты в качестве неотъемлемых элементов культур-уловителей подвижных минеральных элементов (кэч-культур), полезных микроорганизмов (ЕМ: антагонистов патогенов, фосфат-мобилизаторов и др.) и перманентного внесения минеральных элементов (макро- и микро-), необходимых для полноценного питания растений и активного гумусообразования.

Ноу-тилл-технология – технология нулевой обработки почвы в сочетании с прямым севом.

Нулевая обработка почвы – технология, исключая любой вид обработки почвы, кроме воздействия на нее высевающих органов посевного агрегата.

Парниковые газы, ПГ (Greenhouse gases, GHGs) – газовые составляющие атмосферы как естественного, так и антропогенного происхождения, которые поглощают и излучают волны определенной длины в диапазоне инфракрасного излучения, испускаемого поверхностью Земли, ее атмосферой и облаками (это свойство порождает парниковый эффект). Основными парниковыми газами в атмосфере Земли являются: водяной пар (H_2O), углекислый газ (CO_2), закись азота (N_2O), метан (CH_4) и озон (O_3). Кроме того, в атмосфере содержится еще ряд парниковых газов полностью антропогенного происхождения, таких как фреоны, хлор- и бромсодержащие вещества, подпадающие под действие Монреальского и Киотского протоколов (гексафторид серы [SF_6], гидрофторуглероды [HFCs], перфторуглероды [PFCs] и др.).

Первичная энергия – антропогенно непретворенная энергия, содержащаяся в природных энергоресурсах (угле, нефти, газе, уране, сланцах, возобновляемых источниках и др.).

Передача технологии – обмен знаниями (включая технологическое сотрудничество), аппаратными средствами и сопутствующим программным обеспечением, денеж-

ными средствами и товарами среди заинтересованных сторон, который ведет к распространению технологии, предназначенной для адаптации (применения) или смягчения воздействий.

Переуступаемые («зеленые») сертификаты – документы, используемые сторонами, в отношении которых действуют квоты на возобновляемую энергию, для выполнения обязательств по предоставлению в регулирующий орган оговоренного количества переуступаемых квот. Сертификаты выпускаются этим органом и передаются производителям возобновляемой энергии для продажи или для собственного пользования при выполнении своих квот.

Пиролиз (от др.-греч. πῦρ – огонь, жар и λύσις – разложение, распад) – процесс термического разложения органических и многих неорганических соединений. В узком смысле, разложение органических природных соединений при недостатке кислорода (древесины, нефтепродуктов и прочего). В более широком смысле – разложение любых соединений на составляющие менее тяжелые молекулы или элементы под действием повышения температуры.

Потенциал – способность что-либо производить, осуществлять, использовать или содержать.

Потенциал глобального потепления (ПГП) – показатель, основанный на радиационных свойствах идеально перемешанных парниковых газов, которым измеряется радиационное воздействие единицы массы данного идеального перемешанного парникового газа в нынешней атмосфере, интегрированное по выбранному временному горизонту, относительно воздействия CO_2 . ПГП отражает комбинированный эффект разных временных периодов нахождения этих газов в атмосфере и их относительной эффективности поглощения исходящего инфракрасного излучения. Киотский протокол классифицирует парниковые газы на основе ПГП разовых импульсных выбросов за последовательные столетние периоды времени.

Производственный процесс – совокупность природных процессов и технологических приемов производства, происходящих и осуществляемых в определенной последовательности с целью получения продукта.

Прямой сев – сев с помощью специальных посевных агрегатов (комплексов) в необработанную почву (в стерню и др.).

Прямые затраты энергии – затраты электрической, тепловой энергии и топлива, непосредственно расходуемые в технологическом процессе.

Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИКООН) – принята 9 мая 1992 года в Нью-Йорке и подписана в ходе Встречи на высшем уровне «Планета Земля» в Рио-де-Жанейро (1992 год) более чем 150 странами и Европейским экономическим сообществом, вступила в силу в марте 1994-го. Ее конечная цель заключается в «стабилизации концентраций парниковых газов в атмосфере на уровне 1990 года, не допускающей опасного антропогенного воздействия на климатическую систему» (это ~ 450 ppm [450 молекул парниковых газов на один миллион молекул воздуха]).

Синтез-газ – смесь монооксида углерода (CO) и водорода (H_2). В промышленности получают паровой конверсией метана, парциальным окислением метана, газификацией угля. В зависимости от способа получения соотношение $\text{CO}:\text{H}_2$ варьируется от 1:1 до 1:3.

Солнечная энергия – исходящая от Солнца энергия, которая улавливается либо в виде тепла, либо света, которые преобразуются в химическую энергию посредством естественного или искусственного фотосинтеза или при помощи фотоэлектрических панелей и/или преобразуются непосредственно в электроэнергию.

Сухая фитомасса – масса сухого вещества, абсолютно сухая масса, ксеромасса. Масса растений и их частей, высушенных при 105 °C до влажности 0 %.

Сценарий – правдоподобное описание возможных путей будущего развития на основе согласованного логически непротиворечивого и внутренне последовательного набора допущений в отношении движущих сил и ключевых взаимосвязей (например, показатель технологического изменения, цены), влияющие на социально-экономическое развитие, использование энергии и т.д. Сценарии не являются предсказаниями и прогнозами, однако они полезны для сообщения мнений о последствиях альтернативных событий и действий.

Теплотворная способность, теплотворность – удельная теплота сгорания (физическая величина количества теплоты, выделяемого при полном сгорании вещества в пересчете на единицу его массы или на единицу его объема (Дж/кг; Дж/м³; Дж/л).

Технология производства продукции – составная часть производственного процесса, рассматриваемая как совокупность технологических приемов или работ, выполняемых в определенной последовательности, во всем законченном цикле процесса.

Технологический процесс – составная часть технологии производства, содержащая технологические приемы, направленные на изменение состояния предмета или средства производства, на получение продукции в любой стадии производственного процесса.

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР) – совокупность всех природных и преобразованных видов топлива и энергии.

Топливо-энергетический эквивалент – показатель, характеризующий хозяйственный уровень прямых общих затрат первичной энергии или работы на единицу потребляемого топливо-энергетического ресурса (топлива, тепловой, электрической энергии).

Топливо – горючие вещества с углеродной основой, используемые для получения тепловой энергии путем их сжигания.

Торговля выбросами – рыночный механизм для сокращения выбросов парниковых газов или других выбросов. Экологическая задача или сумма общих разрешенных выбросов выражена в виде лимита выбросов. Этот лимит подразделяется на лицензии на торговлю выбросами, которые предоставляются посредством либо аукциона, либо бесплатным образом (распределение разрешений) субъектам, находящимся в юрисдикции торговой системы. Этим субъектам необходимо передавать разрешения на выбросы, равнозначные объему их выбросов (например, тонны CO_2). Субъект может продавать излишние разрешения. Системы торговли могут создаваться в пределах компании, на национальном или международном уровнях и могут применяться к CO_2 , другим парниковым газам или другим веществам. Торговля выбросами является одним из механизмов, предусмотренным Киотским протоколом.

Торрефикация (torrefaction) – процесс «мягкого» пиролиза, который позволяет придать биомассе потребительские характеристики (повышенную энергетическую плотность, низкую гигроскопичность и проч.).

Углекислый газ (CO_2) – естественно образующийся газ и побочный продукт сгорания ископаемых видов топлива или биомассы, изменений в землепользовании, а также других промышленных процессов. Он является основным антропогенным парниковым газом, влияющим на радиационный баланс Земли. Это эталонный газ, по отношению к которому измеряются другие парниковые газы, и поэтому его потенциал глобального потепления принят равным 1 (единице).

Углеродный цикл – термин, используемый для описания потока углерода (в различных формах, например, углекислого газа, метана и т.д.) через атмосферу, океан, биосферу суши и литосферу.

Удельная (внутренняя) энергия – энергия, содержащаяся в 1 кг вещества.

Удельная производственная энергоемкость изделия – удельный показатель технологичности изделия (по энергоемкости), характеризующий нормируемый расход энергоресурсов, необходимый для изготовления, ремонта и утилизации изделия, т.е. включающий полезные затраты, возвратные и безвозвратные потери.

Удельная теплота сгорания (теплотворная способность, теплотворность, высшая теплота сгорания) – физическая величина, показывающая, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании, рассчитанное на единицу массы топлива или на единицу объема топлива (Дж/кг; Дж/м³; Дж/л).

Удельная энергоемкость – отношение низшей теплоты сгорания топлива к его суммарному объему, рассчитывается исходя из низшей теплоты сгорания и насыпной плотности топлива.

Улавливание и хранение углекислого газа – процесс, включающий отделение углекислого газа от промышленных и энергетических источников, транспортировку к месту хранения и долгосрочную изоляцию от атмосферы.

Урожай – фитомасса генеративных и/или вегетативных частей растений, используемых человеком, полученных при уборке в фазе хозяйственной (физиологической или съёмной) спелости с произвольной земельной площади.

Урожайность – полевой урожай ценоза, отношение урожая фитомассы к величине земельной площади, занимаемой ценозом.

Условное топливо – единица учета тепловой ценности топлива (Дж/кг, Дж/м³), применяемая для сопоставления различных видов топлива; условный стандарт топлива, удельная (низшая) теплота сгорания которого равна 29,3 МДж/ед. (как у 1кг каменного угля).

Устойчивое развитие (УР) – концепция устойчивого развития введена в 1980 году во «Всемирную стратегию охраны природы» Международного союза охраны природы и уходит корнями в Концепцию устойчивого общества с управляемыми возобновляемыми ресурсами. Концепция УР принята Всемирной комиссией по окружающей среде и развитию (1987 год) и Конференцией в Рио-де-Жанейро (1992 год) как процесс изменения, в котором эксплуатация ресурсов, направление инвестиций, ориентация технологического развития и институциональных изменений находятся в полной гармонии и увеличивают как нынешний, так и будущий потенциал для удовлетворения потребностей и чаяний человека. УР объединяет политические, социальные, экономические и экологические аспекты и соблюдает ограничения, связанные с ресурсами и потребителями энергии.

Фотосинтез – производство и синтез карбогидратов (углеводов) из H₂O+CO₂ растениями, водорослями и некоторыми бактериями с использованием энергии света. При образовании 1 кг сухого органического вещества затрачивается 18,2 МДж энергии, при этом усваивается 1,52 кг CO₂ и выделяется 1,09 кг O₂.

Фенотип – совокупность всех признаков и свойств особи, формирующихся в процессе развития и взаимодействия ее генетической структуры (генотипа) и внешней по отношению к ней среды.

Целлюлоза – основной химический составляющий элемент клеточных стенок растений и источник волокнистых материалов для производства различных продуктов, таких как бумага, вискоза, целлофан и т.д. Это основной исходный материал для производства биотоплива второго поколения.

Экологический налог – налог на углерод, выбросы или энергию, представляющий собой плату за вредное воздействие на окружающую среду при осуществлении любой деятельности, и призван стимулировать сокращение вредного воздействия на окружающую среду.

Экологическое (органическое) земледелие – способ сельскохозяйственной деятельности, исключающий использование азотных минеральных удобрений и сортов растений, полученных с помощью трансгеноза и мутагенеза.

Энергетика – область человеческой деятельности, связанная с производством, передачей потребителям и использованием энергии.

Энергетическая эффективность – показатель, устанавливающий соотношение между энергией, содержащейся в продукте, и затраченной на ее получение.

Энергетический анализ – область исследования, в которой предметы, средства производства и результаты труда оцениваются затратами энергии.

Энергетический коэффициент, или коэффициент полезного действия технологии, – доля валовой энергии сухого вещества в затратах на получение совокупной энергии при ее производстве.

Энергетический эквивалент – затраты прямой и косвенной энергии, отнесенные на единицу потребляемых предметов и средств труда.

Энергетическое растение (энергорастение) – растение, вся биомасса которого или большая ее доля используется для получения биотоплива (>50 % вновь созданной стоимости продукта идет на преобразование в энергию).

Энергия – количество выполненной работы или отданного тепла (единая мера различных форм движения и взаимодействия материи, мера перехода движения материи из одних форм в другие). Энергия делится на ряд видов (например, энергия излучений Солнца, химическая энергия, заключенная в молекулах разных веществ). Энергия становится доступной для человека, когда она передается из одного места в другое или преобразуется из одного вида в другой.

Энергия труда – затраты энергии человека в процессе труда.

Энергоемкость – величина потребления энергии и (или) топлива на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции, выполнение работ, оказание услуг на базе заданной технологической системы. Численным выражением энергоемкости системы является показатель, представляющий собой отношение энергии, потребляемой системой, к величине, характеризующей результат функционирования данной системы.

Энергоемкость продукции – затраты энергии, необходимые для получения единицы массы продукции.

Энергоемкость средств труда (автоматизации механизации и др.) – это затраты энергии на производство и ремонт средств автоматизации, механизации и др. (станков, тракторов и прочих).

Энергоемкость технологического процесса – затраты энергии, необходимые для осуществления технологического процесса.

Энергоноситель – вещество, позволяющее выполнять механическую работу или передавать тепло. Примерами энергоносителей являются: твердое, жидкое или газообразное топливо (биомасса, уголь, нефть, природный газ, водород); сжатые/нагретые/охлажденные жидкости (воздух, вода, пар) и электрический ток.

Энергоплантации – посевы (посадки) растений, биомасса которых используется для получения различных видов биотоплива.

Энергопродуктивность – отношение стоимости экономической продукции к исходной энергии (в джоулях), которая затрачена на ее получение (обратная величина энергоемкости).

Энергосбережение – организационная, научная, практическая, информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленная на снижение расхода топливно-энергетических ресурсов в процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации.

Энергосодержание (запас энергии) – сумма энергии всех частей системы.

Энергосодержание продукции – количество энергии, содержащееся в единице массы продукции.

Эрозия – разрушение верхнего плодородного слоя почвы под воздействием климатических факторов (воды [ablation], ветра [deflation]) и/или хозяйственной деятельности и вынос продуктов этого разрушения в окружающую среду.

Ядерное топливо – вещества и материалы, используемые для получения энергии в ядерном реакторе.

Приложение 2

Шкала десятичного кода стадий роста и развития растений топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.)

В наше время широкое использование исследователями единой шкалы фенологических стадий роста и развития растений (код ВВСН) у многих традиционных сельхозкультур (пшеницы, ячменя, кукурузы, люпина, рапса и др.) существенно облегчило задачи как анализа накопленного в разных странах экспериментального материала и сопоставления результатов, полученных учеными различных специальностей, так и своевременного и эффективного выполнения аграриями требований регламентов возделывания той или иной культуры [Bleiholder, 1989; Hack, 1992; Шор, Купцов, 2013].

Шкала ВВСН включает в себя 10 макростадий с обозначениями от 0 до 9, каждая из которых подразделена на 10 микростадий также с обозначениями от 0 до 9. В шкале используется двухзначное числовое кодирование, где первое число – это макростадия, а второе – микростадия в рамках макростадии. Такие значения кодов легко подвергаются статистической обработке с помощью любой вычислительной техники.

Введение топинамбура в сельскохозяйственное производство требует разработки технологий его возделывания на различные цели. Однако для унификации и эффективного использования аграриями этих технологий необходимо создание для данной культуры ВВСН-шкалы.

Учитывая изложенное выше, нами для топинамбура разработана шкала координированного десятичного кода стадий роста и развития растений с описанием всех 10 макростадий с оптимальным набором микростадий в каждой макростадии, которые аналогичны таковым для других сельхозкультур. В качестве иллюстраций фенофаз топинамбура приводится внешний вид растений или их частей раннеспелых сортов с выраженным моноподиальным и симподиальным ветвлениями (табл. 6.3.1 а, фотографии авторов, см. ниже).

Необходимо отметить, что моноподиальные ветви топинамбура появляются в пазухах листьев нижней части главного стебля в основном после развертывания на нем 6-го листа.

Дальнейшее моноподиальное ветвление идет в восходящем направлении по мере увеличения числа листьев и роста главного стебля. Такой же порядок моноподиального ветвления осуществляется и на ветвях 1-го порядка. Одновременно с моноподиальным ветвлением происходят формирование и рост подземных побегов (столонов).

Начало симподиального ветвления у топинамбура относится к моменту заложения соцветия на верхушке главного стебля. В этот период пробуждаются боковые пазушные почки, начиная с таковых, расположенных непосредственно под верхушечным соцветием, но только в нисходящем направлении: сначала в пазухах самых верхних листьев, затем – предпоследних и так далее.

Следует указать, что большинство образцов топинамбура имеет хорошо развитое как моноподиальное, так и симподиальное ветвления. Однако есть образцы топинамбура, у которых моноподиальное ветвление слабо выражено или отсутствует. У таких образцов побег растет одновременно с образованием листьев. В связи с этим при определении у них микростадий 1-й макростадии следует учитывать только развитие листьев растения.

У топинамбура соцветие – корзинка, плод – семянка. Характерная черта этой культуры – очень низкая доля формирования полноценных семян от имеющихся в корзинке цветков. Поэтому при определении у топинамбура микростадии в макростадии 7 необходимо ориентироваться по нормально развивающимся сеянкам.

При описании фенофаз учитываются в первую очередь фенологические критерии. При этом описание ведется только в отношении главного стебля. Определения и коды относятся как к дикорастущим формам топинамбура, так и к его образцам и сортам.

Шкала координированного десятичного кода стадий роста и развития (шкала ВВСН) топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.)

Код	Морфологические признаки	Внешний вид
МАКРОСТАДИЯ 0 Появление всходов (прорастание) а) клубня, б) семени		
00	а) Спящий клубень	
	б) Сухое семя	
01	а) Начало прорастания верхушечной почки клубня: проростки <1 мм	
	б) Начало набухания семени	
03	а) Окончание спячки клубня: проростки 2–3 мм	
	б) Окончание набухания семени	
05	а) Начало формирования придаточных корней проростка	
	б) Появление из семени зародышевого корешка	
07	а) Начало формирования стебля проростка	
	б) Появление из семени гипокотиля с зародышевыми листьями	
09	а) Проросток клубня выходит на поверхность почвы	
	б) Гипокотиль и семядоли выходят на поверхность почвы	

МАКРОСТАДИЯ 1		
Развитие листьев проростка (главный побег) а) клубня, б) семени		
10	а) Появляются 1-й и 2-й листья проростка (первая пара листьев) б) Семядольные листья развернуты, появляются 1-й и 2-й настоящие (зародышевые) листья	
11	а) 1-й и 2-й листья развернуты б) 1-й и 2-й настоящие (зародышевые) листья полностью развернуты	
13	а) 3-й и 4-й листья развернуты б) 3-й и 4-й настоящие (зародышевые) листья полностью развернуты	
15	а) Появляются 5-й и 6-й листья б) Появляются 5-й и 6-й настоящие листья	
17	5-й и 6-й листья достигают 30-процентной сортотипичной величины	
19	5-й и 6-й листья достигают 50-процентной сортотипичной величины	
МАКРОСТАДИЯ 2		
Образование моноподиальных побегов (стеблевание)		
20	5-й и 6-й листья полностью достигают своей сортотипичной величины, видны 7-й и 8-й листья, в пазухах первых листьев нижней части стебля появляются 1-й и 2-й моноподиальные побеги, на подземной части стебля формируются столоны	

21	7-й и 8-й листья полностью развернуты, появляются 3-й и 4-й моноподиальные побеги, продолжается формирование столонов	
23	7-й и 8-й листья полностью достигают сортотипичной величины, продолжается формирование и рост столонов	
25	9-й и 10-й листья полностью развернуты, появляются 5-й и 6-й моноподиальные побеги, продолжается формирование и рост столонов	
27	9-й и 10-й листья полностью достигают сортотипичной величины, продолжается удлинение моноподиальных ветвей и столонов	
29	11-й и 12-й листья полностью развернуты, появляется 7-й и 8-й моноподиальные побеги	
МАКРОСТАДИЯ 3		
Удлинение главного побега (стеблевание)		
30	11-й и 12-й листья полностью достигают сортотипичной величины, стебель удлиняется, моноподиальное ветвление продолжается	
31	13-й и 14-й листья полностью развернуты, продолжается удлинение стебля и моноподиальное ветвление	

33	13-й и 14-й листья полностью достигают сортотипичной величины, продолжается удлинение стебля и моноподиальное ветвление	
35	15-й и 16-й листья полностью развернуты, продолжается удлинение стебля и моноподиальное ветвление	
37	15-й и 16-й листья полностью достигают сортотипичной величины, продолжается удлинение стебля и моноподиальное ветвление	
39	17-й и 18-й листья полностью развернуты, достигнуто у сортов в зависимости от темпа роста и развития растений 30–50 % сортотипичной длины стебля	

МАКРОСТАДИЯ 4 Развитие соцветия (главный побег)		
40	18-й лист полностью развернут, на верхушке побега формируется группа соцветий (тип «корзинка»), на столонах начинают формироваться клубни	
41	19-й лист и более листьев полностью развернуты, развитие и рост соцветий и формирование клубней продолжаются	
43	Продолжаются: рост и развитие группы соцветий, а также формирование клубней; первые клубни достигают 20 % конечной сортотипичной величины	
45	Развитие и рост соцветий, формирование клубней продолжаются; первые клубни достигают 30 % конечной сортотипичной величины	
47	Развитие и рост соцветий, формирование клубней продолжаются; первые клубни достигают 40 % конечной сортотипичной величины	
49	Появление закрытой листьями группы соцветий (бутонов Ø ≈ 1 см), большинство (около 95 %) клубней достигло 50 % конечной сортотипичной величины	
МАКРОСТАДИЯ 5 Развитие соцветий, цветков (бутонизация) и симподиальных ветвей (главный побег), дальнейшее увеличение размеров клубней		
50	Появление группы открытых бутонов (длиной ≈ 1 см у 25 % растений), клубни продолжают увеличиваться в размерах	

51	Появление группы открытых бутонов у 75 % растений, клубни продолжают увеличиваться в размерах	
53	Бутоны длиной ≈ 1,5 см четко отделены от основания последних листьев, в пазухах верхних листьев появляются очередные симподиальные побеги	
55	Бутоны длиной ≈ 1,5–2 см, симподиальные побеги четко видны в пазухах 6 верхних листьев	
57	Видны первые лепестки корзинок у 25 % растений, цветки еще закрыты, симподиальные побеги продолжают образовываться и удлиняться	
59	Появление лепестков у корзинок у 75 % растений, цветки еще закрыты, симподиальные побеги продолжают образовываться и удлиняться	
МАКРОСТАДИЯ 6 Цветение (главный побег), дальнейшее увеличение размеров клубней		
60	Начало цветения, цветки первых корзинок полностью открываются у 10 % растений, клубни продолжают увеличиваться в размерах	
61	Цветки 25 % корзинок полностью открываются у 25 % растений	

63	Цветки 75 % корзинок полностью открываются у 75 % растений	
65	Середина цветения (полное цветение), все растения в цвету, цветки первых корзинок теряют свою характерную окраску	
67	Отцветание, у большинства корзинок цветки теряют характерную окраску	
69	Окончание цветения, у цветков первых корзинок образуются завязи	
МАКРОСТАДИЯ 7 Развитие семянков и семяобразование (главный стебель), большинство клубней достигает своей сортотипичной величины		
70	В корзинках видны первые семянки, большинство клубней достигают сортотипичной величины	
71	Первые семянки достигают 75-процентной конечной сортотипичной величины, семянки наполняются семенами	
73	75 % семянков достигают конечной сортотипичной величины, семянки наполняются семенами	

75	Первые семянки достигают конечной сортотипичной величины	
77	50 % семянок достигают конечной сортотипичной величины, семянки зеленые, семена полностью налиты, между семядолями имеется жидкость (водная спелость)	
79	Почти все семянки достигают конечной сортотипичной величины	
МАКРОСТАДИЯ 8 Созревание корзинок, семянок и семян. Клубни продолжают увеличивать свою массу		
80	25 % растений находятся в фазе зеленой спелости, семядоли твердые, между ними нет жидкости, корешок зародышей белеет (физиологическая зрелость семян), клубни продолжают увеличивать свою массу	
81	75 % растений находятся в фазе зеленой спелости	
83	25 % растений приобретают зеленовато-бурую окраску, зародышевый корешок семени становится бело-матовым, семена достигли 50-процентной влажности, трудно вдавливаются ногтем, листья полностью отмерли	
85	75 % растений имеют зеленовато-бурую окраску	
87	25 % растений приобретают бурую окраску (полная спелость), семена достигают 16–18 % влажности и ногтем не вдавливаются; листья, ветви и стебли засохли	
89	75 % растений находятся в фазе полной спелости	
МАКРОСТАДИЯ 9 Отмирание. Большинство клубней достигают сортотипичной величины и массы		
90	Все растения посева завершили созревание корзинок и семян	
91	Стеблестой полностью созрел и имеет бурую окраску	
93	Стеблестой сухой, но не начал ломаться, большинство клубней достигло сортотипичной величины и массы	
95	Стеблестой перезрел, начинает отмирать и ломаться	
97	Растения полностью отмерли, стеблестой ломается и разрушается	
99	Продукты уборки: семена, клубни, солома	

Разработанная шкала фенологических стадий роста и развития топинамбура будет способствовать своевременному и эффективному выполнению аграриями требований регламентов возделывания данной культуры, а исследователям разных стран различных специальностей облегчит анализ и сопоставление результатов, полученных в экспериментах.

Справочное издание

Н.С. Купцов, Е.Г. Попов

Энергоплантации

Справочное пособие
по использованию энергетических растений

Ответственный за выпуск *Б.Ю. Аношенко*

Технический редактор *А.В. Мурашко*

Компьютерная верстка *А.В. Мурашко*

Корректор *И.Н. Зюзикова*

Подписано в печать 20.11.2015 г. Формат 70×100 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 41,76. Уч-изд. л. 51,4.

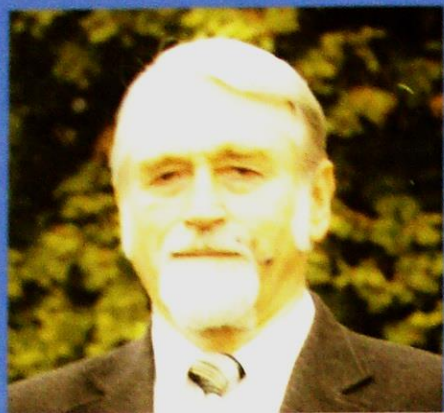
Тираж 100 экз. Заказ

ЗАО «Конфидо».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/293 от 18.04.2014.
Ул. Платонова, 22-902, Минск, Республика Беларусь, 220005.

Отпечатано в ОДО «НоваПринт».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/54 от 25.02.2014.
Ул. Геологическая, 59/4, к. 10, Минск, Республика Беларусь, 220138.



Купцов Николай Семенович

кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории
биоразнообразия растительных ресурсов
Центрального ботанического сада
НАН Беларуси, специализация:
генетика, физиология и селекция растений,
автор более 200 публикаций.



Попов Евгений Германович

кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории
биоразнообразия растительных ресурсов
Центрального ботанического сада
НАН Беларуси, специализация: физиология
и биохимия растений и животных,
автор более 100 публикаций.

