



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и  
агроэкологии имени В. Р. Вильямса»  
(ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»)**

**А.С. Шпаков, Т.В. Прологова, В.Т. Воловик**

# **АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ**

Москва  
2021

УДК 637.07  
ББК 40.0  
Ш-83

**Шпаков А.С., Прологова Т.В., Воловик В.Т. Агроэнергетический анализ в специализированных животноводческих хозяйствах. – М., 2021. – 96 с.**

ISBN 978-5-907366-64-0

В данной работе обоснованы основные направления исследований по анализу потоков энергии и вещества в специализированных животноводческих хозяйствах по производству молочно-мясной продукции. Предназначена как методическое пособие для специалистов АПК и научных работников, специализирующихся на агроэнергетической оценке систем ведения сельскохозяйственного производства и агроэкологии.

Под общей редакцией доктора сельскохозяйственных наук, член-корреспондента РАН А.С. Шпакова

Рецензенты:

доктор биологических наук, академик РАН Савченко И.В.  
доктор географических наук Трофимов И.А.

Работа рассмотрена и одобрена на заседании Ученого совета  
ФНЦ «ВИК имени В. Р. Вильямса» (протокол № 7 от 17 сентября 2019 г.)

© Шпаков А.С., Прологова Т.В., Воловик В.Т., 2021  
© ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства  
и агроэкологии имени В.Р. Вильямса»  
(ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»), 2021

## Введение

В решении проблем развития животноводства и производства товарной молочно-мясной продукции в стране важным фактором является специализация и концентрация отрасли в регионах, благоприятных для интенсивного кормопроизводства. В Европейской части России такими регионами являются южная часть лесной и лесостепная зоны, где по почвенно-климатическим условиям ведущими группами кормовых культур являются многолетние травы и зернофуражные культуры, включая кукурузу на зерно и силос. Рациональное использование природных и антропогенных ресурсов в регионах специализации и концентрации мясо-молочного скота является важнейшей научной и практической задачей. В последние годы в стране созданы крупные научные центры, позволяющие проводить широкомасштабные комплексные исследования, анализировать сложные системы и обосновывать эффективные практические решения (Шпаков А.С., 2005).

Современные животноводческие предприятия имеют сложную многоступенчатую схему производства с использованием значительных объемов энергетических антропогенных ресурсов. Эффективное их использование является основной научной и практической задачей (Свентицкий И.И., Свентикская Д.В., 1985; Булаткин Г.А., 2012). Интенсивность и направленность потоков энергии и вещества в таких системах могут приводить как к положительным, так и отрицательным последствиям. При рациональном использовании ресурсов можно значительно повысить энергоемность агроэкосистемы и устойчивость ее функционирования, при неэффективном – деградацию и загрязнение отходами животноводства.

Для комплексной оценки таких агрозооэкосистем необходимы новые системные методы. В современных условиях наиболее перспективным является метод анализа потоков энергии и вещества в системе, где основным показателем измерения является энергетическая единица. В международной системе СИ количество энергии измеряется в джоулях (Дж); один Дж равен 0,2388 калории, 1 калория – 4,1876 Дж. Для количественной оценки энергии применяются: килоджоуль – КДж (1000 Дж); мегаджоуль – МДж (1 000 КДж); гигаджоуль – 1 ГДж (1 000 МДж) и другие.

Для оценки валовой или обменной энергии в 1 кг органического сухого вещества (растительного и животного) применяется мегаджоуль (МДж), выхода энергии с единицы площади сельскохозяйственных угодий – мегаджоуль (МДж) или гигаджоуль (ГДж).

Методика оценки агрозооэкосистем по критериям оптимальности потоков энергии и вещества позволяет наиболее объективно оценивать характер эволюции агроландшафтных систем и отдельных агроландшафтов при их сельскохозяйственном использовании, разрабатывать меры по повышению коэффициентов биоконверсии энергии в продукцию животноводства и растениеводства, воспроизводство плодородия почвенного покрова, обеспечивать экологическую безопасность окружающей среды [20–27] (методики).

Перспективность разработки и освоения агроэнергетического анализа обусловлена объективностью и универсальностью показателей не подвер-

женных существенным колебаниям рыночной конъюнктуры, позволяющих сравнивать разрабатываемые системы с лучшими мировыми аналогами, применять цифровые технологии.

Агроэнергетический анализ производства и использования кормов целесообразно проводить по отдельным сельскохозяйственным угодьям, поскольку использование земельных ресурсов в пахотном, сенокосном и пастбищном режимах имеет существенные различия по экологическим, экономическим и природоохранным параметрам. В данной работе сделана попытка научного обоснования методических основ агроэнергетического анализа на примере использования в специализированных животноводческих хозяйствах пахотных земель, в наибольшей степени подверженных интенсивному воздействию. Основой для данной работы являются исследования, проведенные в длительных опытах с кормовыми севооборотами, практический опыт ведения интенсивного молочного животноводства в хозяйствах ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса, анализ научных публикаций по проблеме.

## 1. Основные требования и критерии конструирования и оценки агроландшафтных систем и агроландшафтов

Антропогенная деятельность по конструированию и управлению агроландшафтными системами и агроландшафтами имеет свои особенности в зависимости от уровня районирования природного комплекса. Основными единицами районирования являются природно-сельскохозяйственные зоны, провинции. По уровню специализации и концентрации производства в зависимости от однородности геоморфологических, гидрологических условий, почвообразующих пород в провинции выделяются округ, район и подрайон.

Параметры соотношения природных и антропогенно измененных угодий на огромных территориях страны, включая пояса, зоны, подзоны, носят условный характер и не отражают реальной ситуации в основных земледельческих центрах. Для решения практических задач оптимизации агроландшафтных систем наиболее целесообразно использовать границы округов и районов. Вспомогательной является местность, представляющая территорию предприятия с единым центром управления.

**Природно-сельскохозяйственный округ** – часть провинции с характерными геоморфологическими и гидрологическими особенностями, составом почвообразующих пород (глина, суглинок, супесь, песок), преобладающим типом почвообразования, а также особенностями макро- и мезоклимата. Для сельскохозяйственного производства округа характерны однородный состав культур и сортов, особенности агротехники в соответствии с рельефом и почвенным покровом, определенное соотношение сельскохозяйственных угодий, а также естественных и культурных компонентов ландшафта при определенной степени освоенности территории, системы севооборотов и природоохранных мероприятий.

При внутриобластном районировании в границах административных единиц выделяются природно-сельскохозяйственные районы и подрайоны.

**Природно-сельскохозяйственный район** – комплекс, включающий в себя целые административные районы внутри области по условиям, определяющим их производственную специализацию. Обычно представляет собой часть округа отдельной области или части нескольких смежных округов.

**Природно-сельскохозяйственный подрайон** – сравнительно однородная часть района по природным условиям и почвенному покрову, объединяет сельскохозяйственные предприятия. Для него характерно преобладание одного класса или сочетание нескольких классов земель.

Следует отметить, что в настоящее время комплексная методология оценки и конструирования агроландшафтных систем и агроландшафтов окончательно не разработана. По обобщенным данным общую схему, основные требования и критерии конструирования агроэкосистем можно представить следующим образом (табл. 1).

Таблица 1. Общая схема «Основные требования и критерии конструирования и оценки агроландшафтных систем и агроландшафтов»

Уровень конструирования					
первый	второй	третий	четвертый	пятый	шестой
1	2	3	4	5	6
I. Общая схема конструирования					
Агроландшафтные системы			Полевые агроландшафты		
Природно-сельскохозяйственный округ, район, подрайон: оптимальное соотношение между основными элементами системы – лес, кустарники, гидрологическая речная сеть, болотные системы, водосемы, сельскохозяйственные угодья в том числе сенокосы и пастбища, многолетние травы на пашне, дорожная сеть, производственная и социальная инфраструктура, охраняемые природные объекты (заповедники, заказники, охотничьи хозяйства и т.д.)	Сельскохозяйственные предприятия: оптимальное соотношение между естественными угодьями и пахотными землями, в том числе на мелнированных объектах, другими угодьями, используемыми в производственном процессе, а также природными объектами, выполняющими почвозащитные, фитомелиоративные, водо-, теплорегулирующие и другие функции	Пахотные угодья: оптимальное соотношение между полевыми культурами, многолетними насаждениями и незанятыми парами	Площадь посева: оптимальное соотношение между кормовыми, зерновыми и зернобобовыми, пропашными культурами, многолетними и однолетними травами, в том числе семейства бобовых, незанятыми парами	Система севооборотов (севооборотные массивы): оптимальное размещение культур в полевых, кормовых и специальных севооборотах и вне севооборотовых участков	Технологии выращивания культур: поле севооборота, рабочие участки, включая вне севооборотные

Продолжение таблицы 1

II. Основные требования к конструированию					
Обеспечение необходимого компромисса между количеством продуцентов и консументов; качество жизненного пространства, максимальное использование естественных механизмов воспроизводства агроландшафтных систем	Производство экономических и экологических целесообразных объемов растениеводческих, животноводческих и других продуктов в соответствии с уровнем материально-технической базы; максимальное использование биологических ресурсов и интенсификация, воспроизводство окружающей среды и устойчивое функционирование	Производство необходимых объемов зерна, технического сырья, плодов, овощей и кормов; обеспечение необходимого уровня продуктивности и качества урожая; устойчивость функционирования, воспроизводство почвенного плодородия	Максимально возможная экономически эффективная продуктивность, устойчивость и качество урожая культур; оптимизация фитосанитарного состояния полевых агроэкосистем; воспроизводство почвенного плодородия, защита почвенного покрова от деградации; максимальное использование биологических факторов интенсификации	Реализация адаптивного потенциала культур, нормализация фитосанитарных условий в агроценозах; рациональное распределение и использование материальных, технических и трудовых ресурсов при воспроизводстве почвенного плодородия и защите окружающей среды в агроэкосистемах	Создание условий для оптимального роста и развития культур; устойчивость функций и нормирования простых и сложных агрофитоценозов; безопасность получаемой продукции, не загрязнение окружающей среды и почвенного покрова
III. Основные критерии					
Многообразие флоры и фауны, сохранность генетических ресурсов; высокое качество воды, воздуха, экологическая чистота почвы, оптимальное содержание CO <sub>2</sub> в атмосфере, сохранение сезонности и устойчивости погодных условий; наличие и обилие естественных растительных и животных ресурсов, функционирование агроландшафтных систем в режиме гомеостаза	Положительный или бездефицитный баланс энергии и вещества; биопродуктивность системы, средообразующие и фитомелиоративные свойства; экономическая эффективность; эстетические качества системы, как среды обитания человека	Бездефицитный баланс энергии и вещества; уровень затрат ресурсов в земледелии, антропогенная нагрузка на единицу площади; общая биопродуктивность и экономическая эффективность производства в земледелии; необходимость привлечения энергии и вещества с других элементов агроландшафта	Бездефицитный баланс энергии и вещества на пахотных землях; общая и хозяйственная биопродуктивность, качество сырья, продуктивная устойчивость вредных организмов; воспроизводство почвенного плодородия и защита почв от эрозии	Уровень продуктивности общей и белковой культур и севооборотов, экономическая эффективность; нераспространение вредителей, болезней и сорняков; динамика физических, воднофизических и агрохимических свойств почвы; динамика содержания гумуса в почвах	Сроки, нормы, способы посева; сроки, способы и дозы удобрений, средств защиты растений; уход за посевами; сроки, способы и режимы уборки культур

На уровне округов, районов и подрайонов (первый уровень) решаются вопросы рационального природопользования и оптимизации антропогенного воздействия на природно-территориальные комплексы, включая сельскохозяйственную деятельность. Основными параметрами при этом являются соотношения между основными компонентами системы – лес и другая древесная растительность, гидрологическая сеть, болотные системы и водоемы, сельскохозяйственные угодья, в том числе их средостабилизирующие (естественные и культурные сенокосы и пастбища, многолетние травы на пашне) и средодестабилизирующие компоненты (пахотные земли, в том числе пары, пропашные, зерновые и т. д.).

Основное требование к оптимизации – максимальное использование естественных механизмов воспроизводства агроландшафтных систем. Основные критерии – сохранность генетических ресурсов на основе биологического разнообразия флоры и фауны; экологическая чистота почвы, воздуха, воды, продовольствия; устойчивость функционирования экосистемы; контролируемое содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе. В решении проблем рационального природопользования природно-хозяйственных округов и районов (размещение промышленного и сельскохозяйственного производства, лесного хозяйства, заповедных территорий и т. д.) ведущая роль принадлежит федеральным и местным государственным структурам.

Основные практические мероприятия по оптимизации агроландшафтных систем проводятся на уровне местностей – сельскохозяйственных предприятий, осуществляющих производственную деятельность (2–6 уровни конструирования). Принципиально важно при конструировании агроландшафтных систем на уровне отдельных местностей и предприятий всех форм собственности исходить из приоритета оптимизации агроландшафтов, направленного на положительное взаимодействие природных и антропогенных ресурсов в управлении продукционным и средообразующим потенциалом агроэкосистемы, ее устойчивого функционирования.

Долевое участие сельскохозяйственных угодий, включая пашню, в структуре ландшафтных систем определяется зональными и внутризональными условиями.

В сельскохозяйственных предприятиях одним из основных критериев оптимальности ведения производства является положительный или бездефицитный баланс энергии и вещества в агроэкосистеме. По обобщенным данным средостабилизирующими компонентами производственных агроэкосистем являются природные кормовые угодья, культурные сенокосы и пастбища длительного пользования, многолетние травы на пахотных землях при условии их высокой продуктивности, а также многолетние насаждения, лес и древесно-кустарниковая растительность, объекты гидрологической сети. По данным ВНИИ кормов (Кутузова А., Трофимова Л., Проворная Е., 2015), на сенокосах и пастбищах длительного пользования валовая энергия органического вещества почвы в зависимости от факторов интенсификации может возрастать на 35–158 %; при краткосрочном использовании в зависимости от состава травостоя – от 2–14 до 11–18 %.

Особое значение в устойчивом функционировании агроэкосистем имеют пахотные угодья, которые размещаются, как правило, на более плодородных



почвах. Интенсивная механическая обработка почвы под однолетние культуры приводит к активной минерализации органического вещества, нарушению биологического равновесия в почве, ухудшению ее свойств, что приводит к деградации почвенного покрова и снижению продуктивности культур ниже экономических порогов эффективности. По обобщенным данным (Михайличенко Б.П., Новоселов Ю.К., Шпаков А.С. и др., 1999), наибольшие потери гумуса отмечаются под чистыми парами и пропашными культурами (1,5–2,5 т/га), средние – под зерновыми и однолетними культурами, травами (0,4–1,0 т/га). Под многолетними травами при достаточном уровне их продуктивности (не менее 3,5–4,0 т/га СВ) сокращение запасов гумуса не происходит или отмечается его увеличение.

Значительная часть накопленной с биомассой энергии и вещества удаляется в полевых фитоценозах с основной и дополнительной товарной продукцией. Поэтому в полевых ценозах для оптимизации баланса энергии и вещества требуется значительный приток энергии антропогенного происхождения, с целью поддержания и расширенного воспроизводства почвенного плодородия.

Поэтому в общей схеме конструирования производственных агроэкосистем важнейшее место занимают оптимальное соотношение между кормовыми, зерновыми, зернобобовыми и пропашными культурами, многолетними и однолетними травами, незанятыми парами; оптимальное размещение культур в системе севооборотов (полевые, кормовые, специальные) и внесевооборотных участках. Обязательным условием оптимального функционирования полевых агроэкосистем является бездефицитный баланс в системе энергии и вещества. Затраты антропогенной энергии и эффективность ее использования в полевых агроэкосистемах в значительной степени зависят от специализации хозяйственной деятельности. Производство товарной продукции растениеводства (зерновые, технические, картофель, овощи и другие культуры) характеризуется короткой технологической схемой «почва – растение – растениеводческая продукция – потребитель», а следовательно, меньшими энергетическими затратами. Производство продуктов животноводства при пастбищно-стойловом содержании животных осуществляется по более сложной технологической схеме «почва – растениеводческая продукция – корма – кормление и содержание животных – удаление и переработка отходов животноводства – животноводческая продукция – потребитель», является весьма энергоемкой и затратной, а следовательно, требует кардинальных мер по ресурсосбережению.

Вместе с тем потенциал специализированных животноводческих хозяйств по повышению энергоемкости агроэкосистемы значительно выше по сравнению с предприятиями по производству растениеводческой продукции. В животноводческих хозяйствах значительную часть сельхозугодий занимает многолетняя травянистая растительность с положительными средообразующими и почвозащитными свойствами, отходы животноводства в виде органических удобрений используются для воспроизводства почвенного плодородия. Следовательно, «замкнутость» круговорота энергии и вещества в таких хозяйствах выше, что позволяет в перспективе увеличивать ресурсный и продуктивный потенциал агроэкосистемы.

Поэтому в специализированных животноводческих хозяйствах необходимость разработки стратегии ресурсосбережения, повышения биоконверсии энергии и вещества в конечную продукцию животноводства, повышение продукционного потенциала и устойчивого функционирования агрозооэкосистем является весьма актуальной научной и практической задачей. Для ее решения наиболее перспективно изучение и анализ потоков энергии и вещества в продукционном, производственно-биоконверсионном и почвенном блоках агрозооэкосистемы.

## **2. Специализация и концентрация молочно-мясного животноводства и их роль в устойчивом функционировании агроэкосистем**

Специализация и концентрация молочно-мясного животноводства в южной части лесной и лесостепной зонах Центральной России с обилием мезофитной травянистой растительности является важнейшим фактором сохранения и повышения энергетической емкости агроэкосистем.

По нашему мнению, под агроэкосистемой следует понимать комплекс ландшафтных систем, вовлеченных в производственную и социальную сферу деятельности человека и оказывающего на него прямое (мелиорация, землеустройство, инфраструктура, производство продуктов растениеводства и животноводства и др.) и косвенное влияние (изменение гидрологического, воздушного и температурного режимов территорий, флоры и фауны, пищевых звеньев в естественной среде и т.д.).

Проблема управления агроэкосистемами, включая почвообразовательные процессы и повышения плодородия почв, была актуальной всегда. Однако это направление не получило должного научного и практического развития, поскольку основной целью сельскохозяйственного производства является максимальное производство продовольствия при наименьших затратах средств. По мнению Ю. Одума (1975), весьма объективному «...основной конфликт между стратегией человека и природой заключается в следующем: цель современного сельского хозяйства – получение высоких урожаев легко убираемых продуктов, с тем чтобы доля урожая на корню, которая остается и накапливается в ландшафте, была как можно меньше.. что касается стратегии природы, то она направлена в сторону обратной эффективности...». Проблема обеспечения максимальных урожаев определила проблему простого или расширенного воспроизводства плодородия почв преимущественно посредством антропогенных ресурсов (удобрения, мелиорация, плодосмен, обработка почвы и др.), что требует значительных затрат средств.

В Центральной России основой положительного почвообразования является дерновый процесс под многолетней травянистой растительностью. На пахотных землях, которые занимают наиболее благоприятные местообитания в ландшафтных системах, управлять дерновым процессом

практически невозможно, поскольку в структуре посевных площадей преобладают культуры, способствующие интенсивной минерализации органического вещества. Второй причиной деградации распаханых почв является водная и ветровая эрозия. В 19–20 вв. в связи с низкой продуктивностью пахотных земель и ростом населения были распаханы огромные площади, в том числе со сложным эрозионно-опасным рельефом. В результате смыву подверглись и до сих пор подвергаются большие площади пахотных земель, в том числе и наиболее ценные – черноземные почвы. По сведению Г.В. Добровольского, Е.Д. Никитина (1986), после распахки лесостепной зоны европейской части России интенсивность геологического круговорота энергии и вещества значительно возросла, а биологического, направленного на удержание их в ландшафтных системах, сократилась во много раз.

Важнейшая роль в эволюции почвенного покрова и придании ему ценных хозяйственных свойств принадлежит многолетней травянистой растительности, что было установлено еще в 18–19 веках П.А. Костычевым, В.В. Докучаевым, В.Р. Вильямсом. Эта группа растительного сообщества сочетает в себе как высокие средообразующие, так и ценные хозяйственные свойства, позволяющие сочетать экологические и экономические требования при сельскохозяйственном освоении территорий. В.Р. Вильямс (1950) наиболее обстоятельно обосновал роль многолетних трав в целенаправленном управлении почвообразовательными процессами в сельскохозяйственной деятельности. Сформированное им научное направление «агропочвоведение» ориентировало научную общественность на изучение почвообразовательных процессов в системе «почва-растение» под влиянием антропогенного фактора. Для практического применения была разработана травопольная система земледелия, направленная на активизацию малого биологического круговорота вещества и энергии и на сокращение их потерь в большом геологическом круговороте. Предлагалось на равнинных водораздельных территориях вводить севообороты с многолетними травами, а для перехвата и использования питательных веществ и твердых фракций размещать на склонах и пониженных частях рельефа сенокосно-пастбищные угодья, укреплять эрозионно опасные участки древесной растительностью. Вместе с тем, правильно оценивая роль многолетней травянистой растительности в культурном почвообразовательном процессе, В.Р. Вильямс явно переоценивал значение краткосрочного использования трав. В полевых севооборотах рекомендовалось использовать многолетние травы 1–2 года, луго-пастбищное хозяйство было ориентировано на создание кратко- и среднесрочных сенокосов и пастбищ, что требовало значительных ресурсов и отвергало создание и научное обоснование таких угодий длительного пользования. Дальнейшими исследованиями было установлено, что наибольший эффект от культурного дернового процесса проявляется при длительном использовании многолетней травянистой растительности. Ведущими учеными ВНИИ кормов А.М. Дмитриевым, И.В. Лариным, С.П. Смеловым, Л.Г. Раменским, И.А. Цаценкиным, Н.С. Конюшковым, И.П. Мининой, Т.А. Роботновым, А.А. Кутузовой и их учениками были уточнены основополагающие положения культурного дернового процесса, изучена биология роста и развития видового разнообразия многолетних

трав, установлена роль антропогенного фактора и разработан комплекс практических мер по управлению сукцессионными и продукционными процессами многолетней травянистой растительности. Установлено, что при насыщении агроэкосистем многолетними травами в почве наблюдается устойчивая тенденция к накоплению углерода, азота и зольных элементов. По обобщенным данным Э. Клаппа (1961), в луговой почве по сравнению с пахотной содержится больше гумуса, лучше водно-физические свойства, выше воздухоемкость. Почвы лугов хорошо структурированы и не нуждаются в искусственном рыхлении, что позволяет использовать травостоя длительное время. Под многолетней травянистой растительностью скорость роста корней выше скорости их разложения, вследствие этого количество органического вещества в почве возрастает. Отмечается также, что в странах с влажным умеренным климатом при травопольной системе ведения сельского хозяйства происходит постоянное обогащение почв перегноем.

Для активизации дернового процесса весьма важно поддерживать высокую продуктивность и оптимальный видовой состав травянистого покрова, поскольку величина накопления подземной массы находится в прямой зависимости от наземной. По мнению Л.Т. Раменского (1971), «...в наших интересах научиться управлять дерновым процессом, задерживая его на средних стадиях, выражающихся в господстве ценных рыхлодерновинных трав...». Современные технологии управления процессами самовозобновления позволяют использовать многолетние ценозы до 50 лет, что существенно снижает затраты на их периодическое перезалужение, а также стоимость производимых кормов. По данным ВНИИ кормов (Кутузова А.А., 2013), травосмеси с участием мятлика лугового и клевера ползучего на пастбищах, лисохвоста лугового, костреца безостого, двухкосточника тростникового на сенокосах могут использоваться в течение 20–50 лет, что обеспечивает снижение затрат в 4–7 раз по сравнению с травосмесями 5–7 лет пользования. При длительном пользовании травостоями среднегодовое накопление гумуса на дерново-подзолистой почве составляет 0,38 т/га, на дерново-аллювиальной – 0,49 т/га, на осушенных низинных торфяниках – 0,6 т/га. Также под травостоями длительного пользования на фоне применения удобрений отмечается устойчивая тенденция увеличения содержания азота в почве, особенно при введении в травосмеси бобовых видов. Так, под злаковыми травостоями в почве накапливается до 8–10, а под бобово-злаковыми – до 35–40 кг/га азота в год.

На пахотных землях основным индикатором, характеризующим энергетическую емкость почвенного покрова, является содержание органического вещества, основной частью которого является гумус. Содержание наиболее стабильных гумусовых веществ определяется как количеством, так и содержанием в поступающем в почву органическом веществе азота и углерода. Для гумусообразования наиболее благоприятное соотношение между азотом и углеродом составляет 1:25–30. При более широком соотношении этих элементов происходит глубокая минерализация органического вещества при образовании минимальных количеств гумусовых веществ. По данным ТСХА (Воробьев С.В., 1962), в полевых севооборотах бездефицитный баланс гумуса обеспечивается только при наличии в структуре посевных площадей не менее 40 % многолетних трав.

При наличии меньшего количества многолетних трав в структуре посевных площадей недостаток органического вещества необходимо восполнять внесением органических удобрений, посевом сидератов, запашкой соломы злаков. В опытах ВНИИ кормов (Шпаков А.С., 1995) устойчивая тенденция расширенного воспроизводства гумуса наблюдалась в севооборотах с удельным весом многолетних трав 50–60 % без внесения удобрений; в севооборотах, где многолетние травы занимали до 33 %, на фоне 8,0 т/га органических удобрений и минеральных  $N_{50}P_{35}K_{80}$ ; в севооборотах без многолетних трав – соответственно до 17 т/га и  $N_{70}P_{75}K_{80}$ , внесенных в среднем на 1 га севооборотной площади.

Следовательно, насыщение агроландшафтных систем культурными ценозами многолетних трав является важнейшим фактором управления дерновым почвообразовательным процессом. В научном и практическом отношении решение этой проблемы не представляет сложности. Современная наука и практика располагают достаточной теоретической и информационной базой для обоснования травопольных систем кормопроизводства для жвачных животных. Проблема эта, прежде всего организационно-экономическая, а ее решение заключается в специализации и концентрации молочно-мясного животноводства в лесной и лесостепной зонах.

Специализация лесной и лесостепной зон на производстве молочно-мясной продукции и насыщение структуры сельскохозяйственных угодий многолетними травами длительного пользования позволяет решить ряд крупных проблем экономического, экологического и природоохранного характера:

- обеспечить производство дешевых и качественных кормов, включая пастбищные, в наибольшей степени отвечающих требованиям биологии питания жвачных животных. По обобщенным данным, производство кормов на многолетних травах сенокосно-пастбищного использования в 1,5–1,7 раза дешевле по сравнению с однолетними культурами;

- производить качественную и конкурентоспособную молочную и мясную продукцию, отвечающую требованиям здорового питания человека вследствие снижения объемов применения средств защиты растений и азотных удобрений на бобовых и бобово-злаковых травостоях;

- сократить до минимума водную и ветровую эрозию, а следовательно, потери органического вещества, азота и зольных элементов в агроэкосистемах. Только в Центральном экономическом районе из общей площади сельскохозяйственных (более 20 млн га) около 31% являются эрозионноопасными и 4 % – дефляционноопасными, из них более половины эродировано. В Центрально-Черноземном экономическом районе с наиболее ценными почвами 39 % сельскохозяйственных угодий – эрозиопасны, 14 % – эродировано. Под многолетними травостоями со сформировавшейся дерниной смыв почвы практически отсутствует, а инфильтрация нитратного азота – в 3,5 раза, оснований – в 7,0, калия – в 24 раза меньше по сравнению с полевыми культурами (Шильников И.А. и др., 1977). Следовательно, возрастают «замкнутость» малого биологического круговорота веществ и интенсивность повторного использования биогенных элементов в продукционных циклах;

— управлять почвообразовательными процессами дернового типа с целью повышения энергетического потенциала почвы, обеспеченности азотом и зольными элементами, улучшения физических и водно-физических свойств почвенного профиля.

### **3. Основные принципы организации систем кормопроизводства в специализированных животноводческих хозяйствах**

Системы кормопроизводства в специализированных животноводческих хозяйствах классифицируются по соотношению естественных сенокосов и пастбищ, функционирующих на основе естественного семенного или вегетативного возобновления, культурных сенокосов и пастбищ периодического возобновления, кормовых и зернофуражных культур, возделываемых в севооборотах. Выделение естественных и пахотных угодий в таких хозяйствах нецелесообразно, поскольку значительная часть пахотнопригодных земель будет использоваться под культурные сенокосы и пастбища длительного пользования. Следовательно, наименование систем кормопроизводства будет определяться удельным весом в структуре сельскохозяйственных угодий многолетней и однолетней травянистой растительности, пропашных и зернофуражных культур.

Основу систем кормопроизводства в специализированных животноводческих предприятиях составляют многолетние травы, видовой и сортовой состав которых позволяет использовать самые разнообразные элементы ландшафтных систем и существенно снизить затраты на мелиоративные мероприятия. По существу все ландшафтные системы Центральной России различного геологического происхождения пригодны для интенсивного возделывания и использования многолетней травянистой растительности. Использование земель в пахотном режиме будет иметь весьма существенные ограничения как по экологическим и природоохранным условиям, так и по экономическим причинам.

В специализированных хозяйствах системы кормопроизводства определяются по соотношению групп естественной и культурной растительности, используемой для производства объемистых и концентрированных кормов. В зависимости от источников поступления кормов (покупные, собственные), а также типов кормления выделяются травопольная, травянозерновая и травянозернопропашная системы.

**Травопольная система.** Многолетняя травянистая растительность, включая естественные и культурные сенокосы и пастбища, занимает до 80–90 % общей площади угодий. Применяется преимущественно в крестьянских и фермерских хозяйствах по разведению мясного скота; при сенном типе кормления зимой и использовании пастбищных кормов летом, покупных концентратах, может применяться в молочно-мясном животноводстве. Перспективна в северных областях Центрального федерального округа с характерной мелкоконтурностью сельскохозяйственных



угодий. Функционирует на основе сенокосно-пастбищных севооборотов с травостоями длительного пользования. Может сочетаться с возделыванием картофеля и овощей, которые хорошо используют азот и зольные элементы органических удобрений.

**Травянозерновая система.** Применяется в фермерских хозяйствах и других предприятиях по выращиванию мясного и молочно-мясного скота с техническими возможностями, позволяющими возделывать многолетние травы, однолетние и зернофуражные культуры. В структуре сельскохозяйственных угодий 60–70 % занимает многолетняя и однолетняя травянистая растительность, 30–40 % – зернофуражные культуры. Перспективна в северных и центральных областях ЦФО с ограниченными тепловыми ресурсами для возделыванию кукурузы и других теплолюбивых культур. Функционирует на сочетании естественных и культурных сенокосов и пастбищ, а также зерновых или зернотравяных севооборотов. Для производства силоса наряду с многолетними используются смешанные посевы однолетних кормовых культур.

**Травянозернопропашная система.** Применяется в средних и крупных животноводческих предприятиях, оснащенных высокопроизводительными техническими средствами для возделывания культур, создания сенокосов и пастбищ, заготовки и хранения кормов. В структуре сельскохозяйственных угодий не менее 50 % занимает многолетняя травянистая растительность, примерно 30–35 % – зернофуражные культуры, 15–20 % – силосные, преимущественно кукуруза. Травянозернопропашная система является универсальной для производства всех видов кормов и в наибольшей степени отвечает требованиям рациональной системы кормопроизводства. Функционирует на сочетании естественных и культурных сенокосов и пастбищ, прифермских пропашных или травянопропашных севооборотов, специализированных севооборотов для производства зернофуража. При стойловом содержании молочного скота, пастбища создаются для ремонтного молодняка.

При экономически целесообразных ценах на концентрированные корма промышленного производства травянозернопропашная система может трансформироваться в травянопропашную, где доля многолетних трав может составлять до 75–80 %, силосных – 20–25 % в структуре сельскохозяйственных угодий.

Следовательно, в районах с устойчивой влагообеспеченностью вегетационного периода для крупного товарного производства наиболее целесообразна травянозернопропашная или травянопропашная системы кормопроизводства с высоким удельным весом многолетних трав. По данным ВНИИ кормов (Шпаков А.С., 1995), при насыщении посевных площадей многолетними травами сбор кормовых единиц при среднем уровне интенсивности кормопроизводства составляет 5,0–6,0 т/га, содержание протеина в кормах возрастает, расход кормов на единицу продукции снижается, а следовательно, снижается их себестоимость (табл. 2).

Таблица 2. Эффективность систем кормопроизводства по выходу кормов и молока при среднем уровне интенсивности (в среднем за 7 лет)

Показатели	Системы кормопроизводства					
	про- пашная	зерно- про- пашная	травяно- про- пашная	зерно- травяно- пропашная	зерно- травяная	траво- польная
Сбор кормовых единиц, т/га	8,9	5,0	6,9	6,1	5,4	5,5
Содержание переваримого протеина в к. ед., г	69	82	92	93	118	137
Расход на 1 л молока, корм. ед.	1,6	1,3	1,2	1,2	1,0	1,1
Условный выход молока, т/га	5,6	3,8	5,7	5,1	5,4	5,0

По экономической эффективности основные группы кормовых культур располагаются в такой последовательности: многолетние бобовые травы, бобово-злаковые травосмеси, многолетние злаковые травы, кукуруза на силос, однолетние травы, кормовая свекла, яровые и озимые зерновые.

В группе многолетних трав существенная роль в производстве качественных кормов и снижении их себестоимости принадлежит многолетним бобовым видам и их травосмесям со злаковыми. В составе травосмесей бобовые виды в меньшей степени подвергаются поражению такими опасными болезнями, как фузариозы, рак клевера, микоплазмоз люцерны и другие. Поэтому насыщение кормовой площади бобово-злаковыми травосмесями можно доводить до 60 %, а злаковыми, более устойчивыми к факторам среды – до 80–100 %.

Второй экономически значимой и, по существу, страховой культурой, снижающей вариабельность производства объемистых кормов по годам, является кукуруза. По фитосанитарным показателям площади кукурузы не ограничены, поскольку культура хорошо выносит бессменные и повторные посевы. При уборке в оптимальные сроки (молочно-восковая и восковая спелость зерна) корма из кукурузы характеризуются достаточно высоким содержанием обменной энергии, что позволяет значительно снизить потребность в концентрированных кормах. В последние годы успешная селекция кукурузы на раннеспелость позволяет широко возделывать эту культуру в центральных и северных областях Центрального федерального округа. Площади однолетних культур определяются потребностью в зеленых кормах в ранне-весенний и осенний периоды, а также во второй период вегетации трав при снижении продуктивности пастбищ.

Кормовые корнеплоды в крупных комплексах и фермах, вследствие высоких затрат на возделывание и уборку, а также дополнительных затрат на подготовку к скармливанию, будут иметь ограниченное применение. Посевы корнеплодов целесообразны в малых предприятиях даже при применении ручного труда. С небольшой площади посевов здесь можно получить значительный объем высокоэнергетических кормов.

Обобщение отечественного и зарубежного научного и практического опыта позволяет обосновать следующие принципы организации кормопроизводства специализированных сельскохозяйственных предприятий молочно-мясного направления:



— максимальное использование потенциала многолетней мезофитной травянистой растительности в пастбищном и укосном режимах для производства зеленых и консервированных кормов высокого качества;

— создание пастбищных и укосных травостоев длительного пользования, включая бобовые виды (клевер ползучий, люцерна, козлятник восточный, лядвенец рогатый, клевер луговой и гибридный), для различных местообитаний (суходолы, низины, склоны, поймы и т. д.) с целью сокращения затрат на их пересев, снижения применения азотных удобрений и интенсивности антропогенного воздействия на агроэкосистемы. Видовое разнообразие трав позволяет создавать травостои, функционирующие от 4–5 до 8–10 лет и более;

— максимальное использование технологий подсева трав в дернину для повышения качества травостоя, снижения затрат на обработку почвы и на семена многолетних трав;

— использование видового и сортового разнообразия многолетних трав с целью создания ранне-, средне- и позднеспелых травостоев и рациональной организации сырьевого и пастбищного конвейеров, экономии потребности в технических средствах;

— ограниченное использование части сельскохозяйственных угодий в пахотном режиме для производства зернофуража, высокоэнергетического силоса и при необходимости зеленых кормов на основе прифермских севооборотов. Расположение севооборотов с пропашными культурами вблизи ферм позволяет существенно снизить затраты на транспортировку сырья с высоким содержанием влаги и органических удобрений;

— внедрение системы удобрений, основанной на максимальном использовании минеральных на пастбищах и укосных травостоях, а органических – в прифермских севооборотах;

— перевод части низкопродуктивных затратных угодий в состояние естественного функционирования с целью повышения экологической устойчивости и сохранения биоразнообразия агроэкосистем, включая их залесение (глубокие пески, избыточно увлажненные низины, приовражные территории и т.д.), сохранение и воспроизводство естественных элементов ландшафта, обеспечивающих биоразнообразие флоры и фауны, их пространственную миграцию;

— применение системы адаптивных технологий производства объемистых консервированных кормов в зависимости от местообитаний и видового разнообразия травостоев (злаковые, бобово-злаковые, бобовые), обеспечивающих производство кормов, отвечающих требованиям кормления высокопродуктивных животных;

— обязательное создание страховых запасов объемистых кормов на уровне 16–20 % от общей потребности с целью снижения рисков при варьировании продуктивности угодий в зависимости от погодных условий.

Решение о производстве зернофуража в специализированных молочных хозяйствах необходимо принимать, исходя из экономической целесообразности. При приемлемых ценах на концентрированные корма промышленного приготовления площади зернофуражных культур будут ограничены.

Общая схема организации травопольной системы кормопроизводства в специализированных животноводческих хозяйствах лесной и лесостепной зонах представлена на рисунке 1.

Основные организационные подходы к созданию таких систем кормопроизводства включают определение поголовья крупного рогатого скота и уровня его продуктивности, размера площади для производства кормов и размещения сельскохозяйственных угодий.

В лесной зоне существенное влияние на эти показатели оказывают мелкоконтурность и отдаленность земельных участков, обусловленных особенностями рельефа, чересполосным расположением лесов, болот, разветвленной речной сетью. Так, например, для условного поголовья 400 коров здесь требуется примерно 1000 га селхозугодий, в том числе 220–230 га пастбищ и 450–460 га сенокосов. Максимальная дальность перевозки объемистых кормов в таком хозяйстве составит 3–4 км. При увеличении поголовья сложнее организовать единый массив пастбищ, возрастут затраты на технические средства и транспортные расходы на доставку кормов. Поэтому в центральных и северных регионах зоны более целесообразны мелкие и средние фермы; в южных – крупные, где в кормопроизводстве возрастает значение однолетних культур. При необходимости создания крупных ферм в северных регионах потребуется перевод части малоценных лесов в сельскохозяйственные угодья или частично стойловое содержание животных.

Пастбища и прифермские севообороты размещаются вблизи ферм, чтобы исключить дальние перегоны животных и сократить расходы на транспортировку органических удобрений и растительного сырья. Фермы также проектируются и размещаются на земельных массивах, пригодных для организации пастбищ и прифермских севооборотов. Полевые севообороты для производства зернофуража целесообразно создавать на удаленных от ферм участках.

Многолетние травы для сенокосного использования размещаются на среднеудаленных от ферм пахотных и сенокосных участках, поскольку транспортировка сена, сенажной и провяленной силосной массы по сравнению с зеленой требует меньших затрат.

В такой системе кормопроизводства получают дальнейшее развитие фундаментальные положения В.Р. Вильямса о комплексной почвозащитной организации территории, оптимизации малого биологического круговорота энергии и вещества в агроэкосистемах, максимальном использовании природных ресурсов при производстве кормов. По существу, при такой организации кормопроизводства в систему земледелия включаются все сельскохозяйственные угодья, что позволяет избежать деления отдельных ландшафтных единиц на перво- и второстепенные по их значению в производстве кормов; устраняется достаточно искусственное деление на полевое и лугопастбищное кормопроизводство, присущее многоотраслевым хозяйствам.



Рис. 1. Общая схема организации травопольной системы кормопроизводства

Размещение и создание агроценозов многолетних трав различного, как уже отмечалось, целевого использования по основным элементам агроландшафта не представляет серьезной агротехнической и фитосанитарной сложности. При этом адаптивный потенциал этой группы культур к различным местообитаниям позволяет существенно сократить затраты на противоэрозионные и мелиоративные мероприятия, существенно снизить пестицидную нагрузку на среду. Хорошо известна и научно обоснована положительная роль многолетней травянистой растительности в стабилизации агроэкосистем, воспроизводстве и повышении энергетического уровня

почвы, фиксации  $\text{CO}_2$ , рациональном использовании влаги на формирование урожая. Под покровом многолетних трав существенно сокращается поверхностный и инфильтрационный сток, а потери, например азота, в 3,0 раза меньше по сравнению с пропашными культурами. Системы ведения пастбищ и сенокосов, включая пахотнопригодные земли суходолов, достаточно полно изложены в специальной литературе и могут в полной мере использоваться при организации хозяйств молочного и мясного направления. Виды кормовых севооборотов будут определяться источниками поступления концентрированных кормов и потребностью в дополнительном сырье для производства зеленых и консервированных кормов, высокобелковых добавок. При приобретении концентратов промышленного приготовления будет преобладать пропашные севообороты для производства высококачественного силоса из кукурузы и других культур; при необходимости кукурузу можно возделывать бессменно:

I. – кукуруза бессменно;

II. – 1–3) кукуруза, 4) прочие силосные на зеленый корм и силос.

Для производства высокобелкового растительного сырья, особенно для приготовления обезвоженных кормов (травяная мука, брикеты, гранулы) и силоса, наиболее перспективны люцерно-кукурузные севообороты при равной численности полей возделываемых культур:

I. 1) однолетние травы или кукуруза на зеленый корм с подсевом люцерны, 2–4) люцерна 5–7) кукуруза.

Для производства собственных концентрированных кормов и силоса вблизи ферм можно вводить зернопропашные севообороты, например:

1) ячмень + горох, 2) озимые (тритикале пшеница, рожь), 3) зерно-бобовые (люпин узколистный, кормовые бобы, горох), 4) ячмень, 5–6) кукуруза на силос или зерно, 7) ячмень, овес.

В таких севооборотах кукуруза по существу выполняет роль страховой культуры в годы с дефицитом осадков и местом внесения органических удобрений. Для балансирования зернофуража по протеину обязательным является введение в севооборот зернобобовых культур; часть полей можно занимать смешанными посевами злаковых и бобовых видов (ячмень с горохом или раннеспелыми кормовыми бобами, озимые с подсевом люпина узколистного). В группе озимых зерновых, которые превышают по продуктивности яровые в 1,4–1,6 раза, наиболее перспективной культурой по урожайности и кормовым качествам зерна является тритикале.

Решение о производстве зернофуража в специализированных хозяйствах необходимо принимать, прежде всего, исходя из экономической целесообразности. Известно, что зерновые культуры уступают по продуктивности многолетним травам и кукурузе при относительно высоких затратах на их выращивание. При приемлемых ценах на концентрированные корма, как уже отмечалось, площади зернофуражных культур будут ограничены. Следует отметить, что потребность в концентрированных кормах в молочно-мясном скотоводстве можно существенно снизить, повышая качество объемистых кормов. В последние годы расход концентратов в общем годовом рационе скота при интенсивном молочном производстве достигает 40 % и более. Однако при достаточной энергетической и протеиновой питательности



– усовершенствовать приемы консервирования растительного сырья различных местообитаний, видового состава и хозяйственной спелости.

## 4. Методические основы анализа потоков энергии и вещества

### 4.1. Общая схема исследования и анализа

Концептуальная балансовая модель исследования и анализа потоков энергии и вещества в агроэкосистеме представлена на рисунке 2, которая включает продукционный блок, производственный биоконверсионный блок и блок энергетического баланса почвы.

**Продукционный блок** включает изучение потоков физиологически активной солнечной радиации ( $E_{\text{фар}}$ ) за вегетационные периоды культур, антропогенной (техногенной) энергии ( $E_{\text{тех}}$ ), направленной на возделывание культур, количества энергии накопленной агрофитоценозами ( $E_{\text{пац}}$ ), включая отдельные виды, севообороты, общую площадь сельскохозяйственных угодий.

Косвенное влияние на продукционные процессы оказывает энергия минерализованного органического вещества почвы, которая частично используется в виде  $\text{CO}_2$ , азота и минеральных веществ (P, K, Ca, Mg, S, микроэлементы). Значительная часть энергии минерализованного вещества поступает в подземные воды и выделяется в атмосферу в виде  $\text{CO}_2$ , аммиака и других соединений. Обычно при расчетах эта часть энергии, поступающей в агрофитоценозы не учитывается, а общее ее количество относят к расходной части.

По последним данным, на наземные экосистемы оказывают влияние потоки земного тепла. По расчетам (Булаткин Г.А., 2012), на Русской платформе из недр земли на 1 га ее поверхности в год поступает около 14500 МДж энергии, что эквивалентно разложению около 7 ц растительного органического вещества. Вероятно, что потоки земного тепла целесообразно рассматривать как общий фон.

**Производственный биоконверсионный блок** включает изучение и анализ энергии произведенной и приобретенной (покупные корма), ее биоконверсию при производстве продукции растениеводства и животноводства, воспроизводства энергетического баланса почвы.

Энергия растениеводческой продукции ( $E_{\text{рп}}$ ) распределяется по следующим потокам:

- энергия товарной продукции растениеводства ( $E_{\text{тпр}}$ );
- энергия соломы и сидератов, направленная на пополнение запасов энергии в почве ( $E_{\text{дрп}}$ );
- энергия растительного сырья, используемого в животноводстве ( $E_{\text{рск}}$ );
- энергия растительного сырья для производства кормов ( $E_{\text{рск}}$ );

- энергия готовых кормов с полевых земель ( $E_k$ );
- энергия растительного сырья и кормов с естественных угодий ( $E_{пу}$ );
- энергия покупных кормов ( $E_{пк}$ );
- энергия растительного сырья, используемого на подстилку ( $E_{рсп}$ ) и переходящая в органические удобрения ( $E_{оргу}$ ).

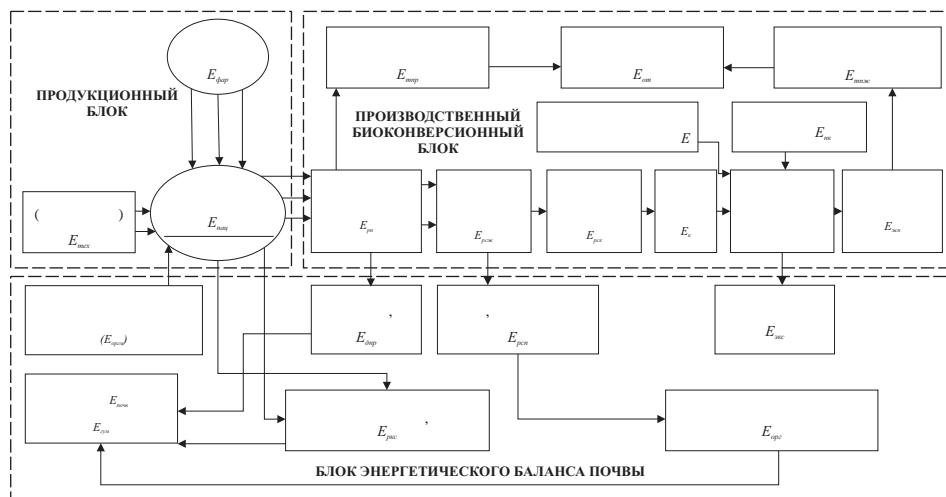


Рис. 2. Общая схема потоков энергии и вещества в агроэкосистеме

Энергия кормов с полевых земель, естественных кормовых угодий и покупных кормов поступает в блок животноводства. На выходе потоки энергии распределяются:

- энергия животноводческой продукции, в том числе для внутривладельческого потребления ( $E_{жп}$ );
- энергия товарной продукции животноводства ( $E_{тпж}$ );
- энергия экскрементов животных ( $E_{эж}$ ), переходящая в энергию органических удобрений ( $E_{оргу}$ );
- энергия товарной продукции растениеводства и животноводства, отчуждаемая из системы ( $E_{от}$ ).

**Блок энергетического баланса почвы** ( $E_{почв}$ ) включает расходный и входящий потоки энергии.

Расходные потоки энергии:

- энергия минерализованной органической почвы ( $E_{оргм}$ );
- потери энергии органического вещества почвы вследствие эрозии. В специализированных животноводческих хозяйствах с высоким удельным весом многолетних трав в структуре сельскохозяйственных культур этим показателем можно пренебречь.

Входящие потоки энергии:

- энергия соломы, сидератов ( $E_{дпр}$ );
- энергия органических удобрений ( $E_{оргу}$ );
- энергия растительных и корневых остатков, семян ( $E_{ркс}$ ).



Обязательным условием эффективного ведения сельскохозяйственного производства является бездефицитный или положительный баланс энергии в почве сельскохозяйственных угодий. Наиболее энергоемким процессом является приготовление и внесение органических удобрений. При их избыточном количестве не исключается возможность их использования для производства газа, сухих удобрений и т. д.

В основе изучения потоков энергии в агроэкосистемах положены аналитические исследования количественных показателей ассимиляции солнечной энергии зелеными растениями и ее распределение на производство продукции и воспроизводство энергетического и вещественного баланса почвы.

Продукционный блок включает также энергию антропогенного происхождения, направленную на оптимизацию факторов роста и развития растений, технологии использования растениеводческой продукции.

В сухом веществе биомассы, используемой в животноводстве для производства кормов, определяется количество сухого вещества (СВ), валовая (ВЭ) и обменная (ОЭ) энергия, концентрация обменной энергии (КОЭ) и протеина. Такие показатели позволяют прогнозировать эффективность производства животноводческой продукции, разрабатывают модели оптимизации систем кормопроизводства.

В товарной продукции растительного и животного происхождения, биомассе, используемой на воспроизводство энергетического и вещественного баланса почвы, определяется только валовая энергия (ВЭ).

**Валовая энергия (ВЭ)** – общее количество энергии, содержащиеся в единице органического вещества, выраженные в джоулях (Дж).

**Обменная энергия (ОЭ)** – валовая энергия за вычетом потерь выделенных из организма животных в результате жизнедеятельности; часть энергии корма, которую организм животного использует для обеспечения жизнедеятельности и образования продукции.

Сырой протеин – включает белки и азотистые небелковые соединения, амиды.

**Концентрация обменной энергии (КОЭ)** – содержание обменной энергии в единице сухого вещества (Дж/кг).

Сырой протеин (СП) – содержание сырого протеина в единице сухого вещества (г или %).

**Антропогенная энергия** – энергия, поступающая в агроэкосистемы в результате деятельности человека. Включает энергетические и овеществленные затраты на производство материально-технических средств (машины, орудия, оборудование, удобрения, пестициды, семена, мелиоранты и др.); энергетические ресурсы прямого применения (горюче-смазочные материалы, газ, электроэнергия); энергозатраты трудовых ресурсов – живой труд людей.



## 4.2. Основные показатели эффективности систем кормопроизводства

**Основные показатели анализа эффективности производственного блока включают:**

- количество ФАР, поступающей за вегетационный период, ГДж/га;
- выход валовой энергии с кормовой площади общий (надземная + подземная масса)  $E_p$ , ГДж/га;
- выход валовой энергии с растениеводческой продукцией  $E_{pn}$ , ГДж/га;
- затраты антропогенной (техногенной) энергии на выращивание и уборку кормовых растений  $E_{tex}$ , ГДж/га;
- энергетический коэффициент производства общей биомассы определяется по формуле:

$$\mathcal{E}K_p = \frac{E_p}{E_{tex}}$$

где  $\mathcal{E}K_p$  – энергетический коэффициент производства общей биомассы растений (культура, севооборотная площадь, площадь с.-х. угодий), единиц;

$E_p$  – валовая энергия общей биомассы растений, ГДж;

$E_{tex}$  – затраты техногенной (антропогенной) энергии на выращивание и уборку растений, ГДж;

— энергетический коэффициент производства растениеводческой продукции определяется по формуле:

$$\mathcal{E}K_{pn} = \frac{E_{pn}}{E_{tex}}$$

где  $\mathcal{E}K_{pn}$  – энергетический коэффициент производства растениеводческой продукции, единиц;

$E_{pn}$  – валовая энергия растениеводческой продукции, используемой для производства кормов, товарных целей, удобрений, подстилки для животных и т. д., ГДж;

$E_{tex}$  – затраты техногенной энергии ГДж.

Коэффициент полезного действия ФАР (КПД ФАР) производства общей биомассы растений (культур, севооборотной площади с.-х. угодий) определяется по формуле:

$$КПД\ ФАР_p, \% = \frac{E_p \cdot 100}{E_{фар}}$$

где  $E_p$  – валовая энергия общей биомассы растений, ГДж;

$E_{фар}$  – физиологически активная радиация (ФАР) за период вегетации, ГДж.

Коэффициент полезного действия ФАР растениеводческой продукции (культур, севооборотной площади, с.-х. угодий), определяется по формуле:

$$КПД \Phi AP_{pn}, \% = \frac{E_{pn} \cdot 100}{E_{\text{дан}}}$$

где  $E_{\text{рп}}$  – валовая энергия биомассы растений, используемой для производства растениеводческой продукции и удобрений (сидераты, солома, навоз и др.), ГДж;

$E_{\text{фар}}$  – физиологически активная радиация за период вегетации, ГДж.

**Основные показатели блока биоконверсии валовой энергии в производственных циклах включают:**

- выход энергии товарной продукции растениеводства (зерно, семена, корма и др.),  $E_{\text{тп}}$ , ГДж/га;
- коэффициент биоконверсии энергии растениеводческой продукции в товарную, в долях от единицы;
- затраты техногенной энергии на производство товарной продукции ( $E_{\text{тех}}$ ), ГДж;
- энергический коэффициент производства товарной продукции ( $E_{\text{мп}}/E_{\text{тех}}$ ), в долях от единицы;
- выход валовой энергии органического вещества для производства кормов, ГДж;
- выход валовой энергии готовых кормов, ГДж;
- коэффициент биоконверсии растениеводческой продукции в корма ( $E_{\text{к}}/E_{\text{рск}}$ ), в долях от единицы;
- выход валовой энергии животноводческой продукции с кормовой площади, ГДж;
- коэффициент биоконверсии энергии растениеводческой продукции в энергию продукции животноводства (молоко, мясо, шерсть и др.), в долях от единицы, ( $E_{\text{пж}}/E_{\text{рск}}$ ). При расчетах принимается выход валовой энергии растениеводческого сырья для производства кормов. Можно также определять выход энергии животноводческой продукции по энергии готовых кормов;
- затраты техногенной энергии на выращивание растительного сырья, уборку и приготовление кормов ( $E_{\text{тех}}$ ), ГДж;
- условный энергетический коэффициент производства животноводческой продукции ( $E_{\text{пж}}/E_{\text{тех}}$ ), в долях от единицы.

**Основные показатели энергетического баланса почвы включают:**

- валовые запасы энергии в почве и в т.ч. гумуса, ГДж;
- валовое количество энергии, поступающее в почву с растительными остатками, соломой, сидератами, органическими удобрениями, ГДж;
- трансформируется поступающей валовой энергии в гумус, ГДж;
- трансформируется поступающей валовой энергии в гумифицированные и негумифицированные растительные остатки, ГДж;
- рассеивается валовой энергии в процессе минерализации органического вещества почвы, ГДж;
- валовая энергия минерализованного гумуса почвы, ГДж;

- прирост (убыль) энергии гумуса почвы,  $\pm$  Гдж;
- коэффициент биоконверсии, поступающей в почву валовой энергии в энергию гумуса, в долях от единицы ( $\pm$ ).

**Основные параметры эффективности потоков энергии в кормовых агроэкосистемах:** основная задача – определить баланс энергии и вещества, характеризующий степень рециркуляции потоков внутри системы («замкнутость» системы); степень использования валовой энергии на производство продукции, степень отчуждения валовой энергии из системы с товарной продукцией растениеводства и животноводства; потери энергии в период биоконверсионных процессов при производстве продукции, минерализацию органического вещества почвы и прочие:

- коэффициент рециркуляции валовой энергии («замкнутость» системы), в долях от единиц;
- коэффициент трансформации валовой энергии в продовольственную продукцию, в долях от единицы.

При обосновании оптимизационных моделей функционирования агроэкосистем необходимо обеспечить максимальное использование энергии на производство продукции растениеводства и животноводства, воспроизводство энергетического и вещественного потенциала агроландшафтов, минимализацию потерь энергии, рассеиваемой в процессе производства продукции и минерализации органического вещества почвы. При нарушении этих требований эффективность функционирования агроэкосистем будет снижаться.

### 4.3. Определение энергии органического вещества

В основу агроэнергетического анализа потоков энергии и вещества в агроэкосистемах положена аналитическая работа по определению энергии в органическом веществе растительного и животного происхождения. Энергия органического вещества определяется двумя методами: калориметрическим и по химическому составу. Определение энергии путем сжигания образца в калориметре является предпочтительным, поскольку расчетный метод по химическому составу основан на коэффициентах с определенными допущениями.

Валовая энергия определяется в растительном и животном органическом веществе, которое не используется для производства кормов: товарная продукция (зерно, семена, технические культуры, корма, мясо, молоко, шерсть и другие); органическое вещество, используемое для воспроизводства почвенного плодородия (растительные остатки, сидераты, солома, органические удобрения и др.); органическое вещество почвы (гумус, негумифицированное органическое вещество).

Валовая и обменная энергия определяется в растительном сырье и готовых кормах, используемых для производства животноводческой продукции. Валовую и обменную энергию в таком растительном сырье целесообразно определять по химическому составу. Поскольку содержание основных питательных веществ (безазотистые экстрактивные вещества – БЕВ, клетчатка,

протеин, жир) и их соотношение в рационах животных определяют уровень их продуктивности и эффективности использования кормовых средств.

### 4.3.1. Методика определения энергии органического вещества колориметром

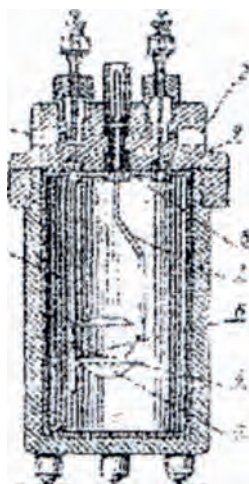
Калориметрический метод (Лукашик Н.А., Тащилин В.А., 1968) состоит в определении тепловой энергии при полном сжигании органического вещества в кислороде под давлением 25 атмосфер.

Выделяющееся при сгорании тепло подогревает воду, налитую в калориметрический сосуд, и выражается в тепловых единицах – калориях. Малая калория показывает, какое количество тепла необходимо для нагревания 1 г воды на 1 °С (кал). Количество тепла, требующееся для нагревания 1 кг воды на 1 °С, называется большой калорией (ккал).

**Необходимое оборудование, посуда, реактивы.** Калориметр, пресс для приготовления брикетов, манометр, баллон с кислородом, технические весы, специальные часы или секундомер, стаканы химические емкостью 100 мл, мерный цилиндр на 25 мл, стеклянные палочки длиной 20–25 см, две склянки для дистиллированной воды емкостью на 3000 мл, склянки емкостью 2000–3000 мл, децинормальный раствор едкого натрия (NaOH, 0,1 n), метилоранж (или другой индикатор).

**Описание калориметра.** Калориметр состоит из наружной оболочки, калориметрической бомбы, калориметрического сосуда для дистиллированной воды, мешалки, термометра Бекмана, щитка для управления прибором.

Наружная оболочка калориметра представляет собой двустенный сосуд с двойным дном. Закрывается он крышкой из двух половин с тремя отверстиями, предназначенными для термометра, мешалки и токопроводящих проводов. Главная часть прибора – калориметрическая бомба, в которой



- 1 – вентиль для впуска кислорода;
- 2 – вентиль для выпуска продуктов сгорания;
- 3 – трубка для пропускания кислорода;
- 4 – кольцо для закрепления тигелька;
- 5 – тигелек для сжигания навески корма;
- 6 – запальная проволока;
- 7 – стержень;
- 8 – эбонитовая прокладка;
- 9 – крышка бомбы.

Рис. 3. Калориметрическая бомба в разрезе

производится сжигание навески корма. Она представляет собой толсто-стенный стальной стакан с плотно закрывающейся крышкой, на которой имеются два клапана: входной клапан, заканчивающийся трубкой и слу-



Рис. 4. Метастатический  
термометр

жащий для наполнения бомбы кислородом (этот клапан является также одним из электроконтактов калориметрической бомбы); выходной клапан, через который выходят газы, образующиеся при сгорании исследуемого вещества. В крышку бомбы с внутренней стороны ввинчен токопроводящий штифт, изогнутый в кольцо, в котором помещается тигель с навеской вещества.

Когда бомба наполнена кислородом, на входной и выходной клапаны надевают (навинчивают) колпачки, к верхним концам которых прикрепляют провода от щитка управления.

На защитной оболочке калориметрического сосуда установлен кронштейн, служащий для закрепления механизмов, приводящих в движение вертикальную мешалку для размешивания воды. На этом же кронштейне специальным держателем укреплен метастатический термометр Бекмана для измерения температуры воды при калориметрических определениях. Длина термометра около 25 см. Он имеет деления от 0 до 5°, так как при калориметрических исследованиях обычно температура не поднимается выше, чем на 3–4° С. Шкала термометра разделена на сотые доли градуса, что позволяет с помощью лупы производить отсчет с точностью до 0,001° С. В верхнем конце капилляра имеется запасная трубка, которая служит для переливания части ртути из основного резервуара и обратно. Преимущество термометра Бекмана состоит в том, что столбик ртути можно практически поместить в той части шкалы, которая требуется для проведения данного сжигания.

Для переливания ртути из основного резервуара в запасной согревают основной резервуар рукой или опускают его в теплую воду, пока столбик ртути не соединится с ртутью запасного резервуара. Наблюдая, на сколько делений шкалы опустится столбик ртути в запасном резервуаре, легким постукиванием по верхней части термометра столбик ртути разрывают. Когда запасной резервуар целиком заполнен ртутью, ее перемещают в основной резервуар. Для этого, повернув резервуар вверх, легким постукиванием соединяют ртуть, находящуюся в капилляре, с ртутью запасного резервуара. Затем термометр осторожно поворачивают основным резервуаром вниз, вследствие чего ртуть из запасного резервуара переливается в основной. Когда нужное количество ртути перельется, что определяют по шкале запасного резервуара, тогда легким постукиванием по верхней части термометра разрывают столбик ртути, и ее поступление в основной резервуар прекращается.

Вследствие того, что количество ртути в резервуаре метастатического термометра непостоянно, значение градуса его шкалы тоже непостоянно.

В паспорте термометра указываются поправки на калибр для различных температур.

Например, значение градуса термометра Бекмана, взятое из свидетельства о проверке (свидетельство прикладывается к термометру), равняется для интервала  $20-25^{\circ}\text{C} - 1,002^{\circ}\text{C}$ . Поправка на калибр для других температур следующая (в  $T$ ): 1 0,006; 2 0,010; 3 0,012; 4 0,009. Интерполированием получают: 1,5...0,008; 3,5...0,011.

С помощью калориметрической бомбы можно производить определение тепловой энергии разных веществ (кормов, молока, мочи, крови и т. д.). Жидкие вещества предварительно выпаривают на водяной бане, а затем, как и все другие корма, высушивают в сушильном шкафу при температуре  $65^{\circ}\text{C}$ . Высушенный и измельченный образец брикетируется под прессом. Для определения количества тепловой энергии берут навеску около 1 г. Брикетированную навеску помещают в тигель, ставят на кольцо токопроводящего штифта калориметрической бомбы, закручивают ее крышку, наполняют бомбу кислородом (через входной клапан), опускают ее в воду калориметрического сосуда и сжигают брикет, пропуская через него электрический ток.

Теплота, выделяющаяся при сжигании навески, не полностью передается воде, находящейся в калориметрическом сосуда. Часть ее тратится на нагревание самого сосуда, мешалки, оболочки термометра. Чтобы точно определить всю теплоту, выделившуюся при сгорании вещества, необходимо знать, какое количество калорий тепла поглощает калориметр, т.е. определить его водный эквивалент.

**Определение водного эквивалента.** Водным эквивалентом калориметра называют весовое (в граммах) количество воды, имеющее теплоемкость, эквивалентную теплоемкости всех частей калориметрической установки: калориметрического сосуда, калориметрической бомбы с ее содержимым, погруженной в воду части мешалки и термометра.

В качестве единого стандартного метода определения водного эквивалента для всех лабораторий нашей страны утвержден метод сжигания в бомбе калориметра эталонной бензойной кислоты ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ ).

Теплота сгорания 1 г бензойной кислоты равна 6324,4 кал.

Предварительно бензойную кислоту сушат в эксикаторе, поместив ее над серной кислотой, в течение 2–3 дней. Брикет из бензойной кислоты готовят с таким расчетом, чтобы поднятие температуры во время опыта было в пределах  $2-3^{\circ}\text{C}$ , что соответствует навеске кислоты около 1 г. Взвешенный на аналитических весах брикет помещают в тигель и ставят его в кольцо токопроводящего штифта, укрепленного в крышке калориметрической бомбы. Закручивают бомбу крышкой, включают ток и сжигают брикет.

Водный эквивалент вычисляют по следующей формуле:

$$Q = \frac{W}{t}$$



где  $Q$  – водный эквивалент;

$W$  – общее количество произведенного тепла;

$t$  – повышение температуры.

Пример. Вес брикета бензойной кислоты 0,8 г. 1 г бензойной кислоты выделяет тепла 6324,4 кал, 0,8 г – 5059,5. При сжигании проволоочки образуется 11 кал тепла. Всего тепла  $5059,5 + 11 = 5070,5$  кал. Повышение температуры после сжигания  $2,3^\circ$ . На  $2,3^\circ\text{C}$  выделено тепла 5070,5 кал, на  $1^\circ\text{C}$  – 2204,6 кал. Воды в калориметрическом сосуде было 1800 г. Весь калориметр берет тепла  $22041,6 - 1800 = 404,6$  кал.

Водный эквивалент для данного калориметра является величиной постоянной. Изменение его возможно только в том случае, если производят замену частей.

Поправка на теплообмен калориметра. Несмотря на то что калориметр имеет плотную защитную оболочку, он все же отдает какое-то количество тепла окружающему воздуху и получает тепло. Чтобы получить абсолютно точные результаты калориметрирования, необходимо ввести поправку на теплообмен калориметра. Эту поправку принято вводить по следующей формуле:

$$\Delta t = nv + \frac{v_1 - v}{t} (m + 2r)$$

где  $\Delta t$  – поправка на теплообмен калориметра;

$v$  – среднее повышение температуры за полуминутный промежуток в начале сжигания;

$v_1$  – среднее понижение температуры калориметра за полминуты в конечный период;

$n$  – число полуминутных промежутков главного периода, т.е. с момента зажигания навески до начала конечного периода (когда температура начинает понижаться или очень незначительно и равномерно повышаться);

$m$  – число полуминутных промежутков главного периода, когда температура повышается быстро;  $r$  – число остальных промежутков главного периода, т.е.  $r = n - m$ .

Поправка  $\Delta t$  может быть положительной, отрицательной или равной нулю. Возможны различные варианты:

а) если температура понижается в предварительный и заключительный периоды, то поправка будет положительной;

б) в том случае, когда температура повышается в предварительный и заключительный периоды, поправка будет отрицательной;

в) температура падает в предварительный период и повышается в заключительный – в этом случае поправка может быть положительной, отрицательной или равной нулю;

г) температура повышается в предварительный период и понижается в заключительный, это значит, что поправка может быть положительной, отрицательной или равной нулю.

Кроме поправки на теплообмен калориметра вводят поправки: на теплоту, выделяющуюся при горении проволоочки, и на теплоту, выделяющуюся при образовании кислот (серной, азотной, фосфорной).

При калориметрических определениях применяют железную проволоку с теплотой сгорания 1601 кал в 1 г.

Обычно берут проволочку длиной 8 см, весом около 0,0182 г. Но сгорает не вся проволочка, а только небольшая ее часть, примерно 1/3. Тогда поправка будет: 1 г – 1601 кал.

$$\frac{0,0062 - x}{x = 9,6 \text{ кал}}$$

Перед сжиганием на дно бомбы наливают 10 мл дистиллированной воды для поглощения, образующихся при сжигании окислов. По окончании сжигания воду из бомбы переливают в химический стакан, ополаскивают бомбу дистиллированной водой и выливают воду в этот же стакан. Добавляют индикатор и титруют содержимое стаканчика 0,1 н едким натрием. Расчет образовавшейся кислоты ведут условно на азотную кислоту.

Пример. На титрование содержимого стаканчика пошло 2 мл 0,1 н NaOH.

1 мл 0,1 н NaOH соответствует 0,0063 г  $\text{HNO}_3$ .

2 мл 0,1 н NaOH соответствует 0,0126 г  $\text{HNO}_3$

1 г  $\text{HNO}_3$  дает 227 кал.

0,0126 г  $\text{HNO}_3$  дает 2,86 кал.

Определение калорийности с помощью калориметрической бомбы проводят следующим образом. Калориметрический сосуд наполняют таким количеством воды, которое было взято при определении водяного эквивалента. Сосуд с водой помещают в калориметр.

Взвешенный брикет прокалывают проволочкой и кладут на дно тигля, вставляют его в гнездо токопроводящего штифта. Один конец проволочки закручивают на токопроводящий штифт, другой – вокруг кислородопроводящей трубочки, являющейся также контактом. Крышку бомбы с тиглем и брикетом осторожно снимают со штатива и закрывают бомбу, закручивая крышку. Затем снимают колпачки с входного и выходного клапанов. На входной клапан навинчивают металлический шланг, идущий от кислородного баллона через манометр, выходной клапан открывают (при помощи ключа) для выхода из бомбы воздуха. Когда клапаны открыты, очень осторожно, большим ключом начинают открывать баллон с кислородом. Когда манометр показывает давление 25 атмосфер, закрывают выходной клапан и отключают кислород. Шланг от входного клапана отвинчивают, так как он закрывается автоматически. На оба клапана надевают колпаки с укрепленными на них проводами, идущими от щитка управления.

Бомбу помещают в калориметрический сосуд с водой, оболочку калориметра закрывают крышкой, включают мешалку и начинают наблюдать за температурой. Выравнивание температуры наступает через 4–5 минут.

Сжигание вещества протекает в три периода: предварительный, главный и заключительный.



Предварительным считают период, наступающий после включения мешалки, когда температура повышается одинаково через равные промежутки времени. После выравнивания температуры фиксируют в тетради ее изменение в течение 5 минут через каждые 1/2 минуты. После 11-го отсчета включают ток для зажигания. Этим заканчивается предварительный период. После включения тока лампочка на щитке управления должна вспыхнуть и погаснуть. Если лампа не зажглась, значит, неисправны контакты.

После включения тока наступает главный период. В начале его идет быстрое повышение температуры, поэтому отсчет проводят с точностью до 0,01 °С, так же как и в предварительный период через каждые 1/2 минуты. По мере замедления подъема ртутного столбика по шкале термометра, отсчет проводят снова с точностью до 0,001 °С. Через 5–6 минут ртутный столбик начинает медленно понижаться, причем понижение температуры через равные промежутки времени делается равномерным.

Начальный период		Главный период		Заключительный период	
№ отчета	температура	№ отчета	температура	№ отчета	температура
1	1,480	12	1,585	24	3,441
2	1,483	13	1,697	25	3,439
3	1,486	14	2,377	26	3,437
4	1,490	15	3,067	27	3,436
5	1,493	16	3,307	28	3,434
6	1,497	17	3,397	29	3,433
7	1,500	18	3,439	30	3,431
8	1,502	19	3,455	31	3,429
9	1,502	20	3,461	32	3,427
10	1,506	21	3,463	33	3,426
11	1,509	22	3,464		
		23	3,443		

Общее повышение калориметра ( $t + \Delta t$ ) будет равно:

$$1,934\text{ °C} + 0,0128\text{ °C} = 1,9468\text{ °C}$$

Водяной эквивалент калориметра в нашем примере 2210,2 кал. Количество выделенного тепла при разложении навески вещества:

$$x = \frac{1^\circ\text{C} - 2210,2 \cdot 1,9468^\circ\text{C}}{1} = 4302,8$$

1. Поправка на теплоту, выделенную проволокой при зажигании, равна 11 кал.

2. Поправка на теплоту, выделенную при образовании азотной кислоты: 1,8 мл NaOH соответствует 2,57 кал. Количество тепла, выделенное навеской вещества, равняется  $4302,8 - (2,57 + 11) = 4289,2$  кал.

Навеска исследуемого вещества составляла 1,05 г. 1,05 г выделил тепла 4289,2 кал, 1 г – 4084,9 кал.

3. В 1 кал содержится 4,1876 Дж; в 1 г навески содержится 4084,9 кал, 4,1876 Дж = 17105,93 Дж; в 1 кг навески 17105,93 Дж • 1000 г = 17105930 Дж или 17,1 МДж.

В последнее время для определения валовой энергии органического вещества калориметрическим методом утвержден ГОСТ ISO 9831-2017: Дата введения в действие 01.01.2019 г. [8]

### 4.3.2. Определение энергии органического вещества по химическому составу

Энергию в органическом веществе можно определить по содержанию протеина, жира, клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ. Для этого необходимо знать калорийность или содержание валовой энергии каждого вида питательных веществ, их содержание в органических образцах.

Так, выделение калорий при сжигании 1 г питательных веществ составляет:

протеин грубых кормов.....4300 кал. = 18003 Дж  
в концентратах.....4500 кал. = 18841 Дж  
жир грубых кормов.....7800 кал. = 32657 Дж  
зерна.....8300 кал. = 34750 Дж  
масличных.....8800 кал. = 36844 Дж  
кормов животного происхождения.....9300 кал. = 38937 Дж  
безазотистые экстрактивные вещества.....3700 кал. = 15491 Дж  
клетчатка.....2900 кал. = 12142 Дж

Пример. Кормовые бобы имеют следующий химический состав, %:

	Вода	Зола	Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ
Кормовые бобы, %	14,0	4,5	33,0	17,4	5,2	25,9
В 1 г кормовых бобов, г	0,14	0,045	0,33	0,174	0,052	0,259

Содержание калорий:

в 1 г протеина – 4500, в 0,33 г – 1485,

в 1 г жира зерновых кормов – 8300, в 0,174 г – 1444,2,

в 1 г клетчатки зерновых кормов – 2900, в 0,052 г – 150,8,

в 1 г БЭВ – 3700, в 0,259 г – 958,3.

Суммируя полученные данные о содержании калорий в каждом питательном веществе, получаем количество калорий, содержащихся в одном грамме кормовых бобов:

протеин.....1485,0 кал.

жир.....1444,2 кал.

клетчатка.....150,8 кал.

БЭВ.....958,3 кал.

Сумма.....4038,3 кал.

Чтобы перевести калории в джоули, необходимо содержание энергии, выраженное в калориях, умножить на коэффициент 4,1876 (1 калория равна 4,1876 Дж). В нашем примере 1 г кормовых бобов содержит 4038,3 кал или 16907,55 Дж. В 1 кг кормовых бобов содержится 1690755 Дж или 16,9 МДж (1 МДж = 1000000 джоулей). Для перевода джоулей в калории используют коэффициент 0,2388 (1 джоуль равен 0,2388 кал).

Обменную энергию определяют также расчетным методом по уравнениям регрессии, используя данные опытов по изучению переваримости питательных веществ кормов и рационов. Для расчетов в сухом органическом веществе определяется содержание питательных веществ: протеина, жира, клетчатки и золы.

Содержание питательных веществ в растительном сырье определяется общепринятыми методами: клетчатка по Геннебергу и Штоману и его ускоренными модификациями; жир – посредством его извлечения органическими растворителями; зола – посредством сжигания навески и последующего прокаливания пробы; сырой клетчатки – методом Кьельдаля или фотометрическим индофенольным.

Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) вычисляется по формуле:

$$\text{БЭВ} = 1000 - \text{СК} - \text{СЖ} - \text{СЗ},$$

где СК – сырая клетчатка, г;

СЖ – сырой жир, г;

СЗ – сырая зола, г.

Содержание обменной энергии для крупного рогатого скота вычисляют по следующим формулам (Косолапов В.М., Чуйков В.А. и др., 2014).

Зеленые корма:

$$\text{ОЭ} = 0,0166 \cdot \text{СП} + 0,0172 \cdot \text{СЖ} + 0,00286 \cdot \text{СК} + 0,01159 \cdot \text{БЭВ}$$

Грубые корма (сено, сенная резка, сенаж, солома, силос 50 % влаги и другие грубые корма):

$$\text{ОЭ} = 0,0212 \cdot \text{СП} + 0,020486 \cdot \text{СЖ} + 0,00159 \cdot \text{СК} + 0,0105 \cdot \text{БЭВ}$$

Сочные корма (корнеклубнеплоды, силос высокой влажности):

$$\text{ОЭ} = 0,0151 \cdot \text{СП} + 0,01378 \cdot \text{СЖ} + 0,00328 \cdot \text{СК} + 0,01265 \cdot \text{БЭВ}$$

Концентрированные корма (зерно злаков и бобовых культур, дерть, мука):

$$\text{ОЭ} = 0,02085 \cdot \text{СП} + 0,01715 \cdot \text{СЖ} + 0,001865 \cdot \text{СК} + 0,01226 \cdot \text{БЭВ}$$

Технические отходы перерабатывающей промышленности (жмыхи, шроты, дробина, барда, сухие корнеплоды, отруби и др.):

$$\text{ОЭ} = 0,02157 \cdot \text{СП} + 0,01667 \cdot \text{СЖ} + 0,003772 \cdot \text{СК} + 0,01074 \cdot \text{БЭВ}$$

Корма животного и микробного происхождения (молочные, мясные, рыбные продукты, дрожжи и др.):

$$\text{ОЭ} = 0,02461 \cdot \text{СП} + 0,02025 \cdot \text{СЖ} + 0,009769 \cdot \text{СК} + 0,00671 \cdot \text{БЭВ}$$

### 4.3.3. Определение содержания азота и сырого протеина в органическом веществе

Для определения содержания общего азота наиболее часто применяются методы Кьельдаля и фотометрический индофенольный.

Основу метода составляет разложение органического вещества кипящей концентрированной серной кислотой в присутствии катализаторов с образованием солей аммония. Добавлением щелочи аммоний переводят в аммиак, который вновь связывают кислотой и титруют. Сырой протеин определяют по содержанию в органическом веществе общего азота. Сырой протеин состоит из белков и амидов. Амиды включают нитраты, нитриты, содержащие азот гликоиды, свободные аминокислоты и их соли. Амиды используются микрофлорой рубца крупного рогатого скота для построения своего тела. В дальнейшем микробный белок переваривается и используется животным.

Показатели содержания азота пересчитывают на сырой протеин по следующей формуле:

$$\text{СП} = 6,25 \cdot x,$$

где 6,25 – коэффициент пересчета общего азота на сырой протеин;  
x – массовая доля азота в пробе, %.

### 4.4. Методика определения затрат техногенной (антропогенный) энергии

Затраты антропогенной энергии, направленной на активизацию фотосинтеза растений, являются важнейшей составной частью потоков энергии и вещества в агроэкосистемах. В естественных условиях продуктивность растительного покрова в среднем не превышает 0,8–1,0 т/га сухого вещества. Современные технологии позволяют увеличить продуктивность фотосинтеза до 10–12 т/га сухого вещества и выше. Наиболее действенными факторами оптимизации фотосинтетической деятельности посевов являются орошение и осушение, удобрения, защита посевов от вредителей и болезней, обработка почвы, видовой и сортовой состав культур, структура посевных площадей и система севооборотов.

Как уже отмечалось, антропогенная энергия включает энергетические овеществленные затраты на производство материально-технических средств, которые переносятся в затраты при их применении по частям по мере амортизации (машины, орудия, оборудования и др.); материально-технические ресурсы прямого действия (удобрения, мелиоранты, пестициды, семена и др.), энергетические затраты на производство которых полностью переносятся в затраты в год применения. Материально-технические ресурсы прямого действия (удобрения минеральные и органические, мелиоранты и др.) могут оказывать последствие на продуктивность полевых культур, естественных и культурных кормовых угодий в течение ряда лет. При наличии объективных данных по их последствию энергетические затраты, связанные с их применением, могут распределяться на ряд культур.

Энергетические затраты трудовых ресурсов имеют прямое действие при выполнении технологических операций.

По всем видам антропогенной энергии применяются энергетические эквиваленты, которые определяют затраты энергии в единицу эксплуатационного времени и затраты энергии на производство единицы применяемых средств.

При расчете энергетических эквивалентов на машины и орудия учитываются общие затраты энергии на их производство, годовая зональная нагрузка, срок эксплуатации, энергетические затраты на капитальный и текущий ремонты. На основании этих данных рассчитываются энергетические эквиваленты переноса энергии МДж/час на 1 кг массы и энергетические эквиваленты на 1 час эксплуатационного времени машин и оборудования. Технологические затраты энергии при применении машин и орудий рассчитываются на основе продолжительности рабочего времени при выполнении технологической операции и энергетических эквивалентов на 1 час работы. Например, при применении ДТ-75М и ЛДГ-10 на лущении стерни затрачено 0,69 часа. Известно, что энергетический эквивалент работы трактора ДТ-75М составляет 127 МДж/час, лущильника – 151 МДж/час.

Следовательно, перенос овеществленной энергии за 0,69 часа работы трактора составляет 88 МДж/га ( $127 \text{ МДж/час} \times 0,69 \text{ час/га} = 88 \text{ МДж/га}$ ), лущильника ЛДГ-10 – 104 МДж/га ( $151 \text{ МДж/га} \times 0,69 \text{ час/га} = 104 \text{ МДж/га}$ ).

При использовании агрегатов с электроприводом для перевода затрат электроэнергии в МДж пользуются соотношением 1 квт/час = 12 МДж. Например, для измелчения и погрузки на 1 га посева минеральных удобрений (АИР-20) необходимо 0,025 часа работы электродвигателя мощностью 20 квт/час. Следовательно, общий расход электроэнергии составит 0,5 квт/га ( $20 \text{ квт/час} \times 0,025 \text{ часа}$ ) или 6 МДж ( $12 \text{ МДж} \times 0,5 \text{ квт/час}$ ).

Технологические затраты энергии ресурсов прямого действия или оборотные средства определяют как произведение количества израсходованного материала на его энергетический эквивалент.

Затраты живого труда в соответствии с эквивалентами энергетических затрат на 1 чел.-час работы по отдельным категориям работников (трактористы-машинисты, шоферы, электромонтеры, операторы, полевые рабочие и др.).

Основным источником для расчета затрат совокупной энергии на возделывание культур являются технологические карты. В производственных условиях для расчетов пользуются технологическими картами, разработанными региональными научными и научно-производственными центрами. В экспериментальной работе научных учреждений аналогичные расчеты проводятся на основании энергетических затрат на изучаемые технологии возделывания культур.

Затраты совокупной энергии на технологические процессы при возделывании культур анализируются по циклам работ (основная обработка почвы, внесение удобрений, посев и т.д.) и по структуре затрат материально-технических и трудовых ресурсов.

В таблицах 3, 4 приведены примеры таких расчетов на примере возделывания кукурузы на силос.

Таблица 3. Общая схема расчета совокупной энергии на технологические процессы при возделывании кормовых культур  
(на примере возделывания кукурузы на силос)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Основная обработка почвы													
20-22		2,0	-75 -10	2,90	0,69	8,2	432	-	-	42	178	324	976
		1,0	-75 -4-35	0,74	1,35	15,4	811	-	-	82	348	128	1369
							1243			124	526	452	2345
Внесение удобрений													
		740		329	2,25	-	-	-	-	74	-	-	74
		740	-80 -0,75	10100	0,07	0,9	47	-	-	4	6	1	58
		740	30 / -20	10100	0,07	-	-	2,1	2,5	4	-	32	61
( 3 )		1,0	-82	2,84	0,35	1,04	55	-	-	21	32	155	263
							102			103	38	188	456
Предпосевная обработка почвы													
		1,0	-75 (18 2)	-1,0 -16	7,0	0,17	1,6	-	-	8	36	100	228
		2,0	-80	-4	2,29	0,87	8,8	-	-	53	75	146	738
		1,0	-80	-3,6	2,0	0,50	2,5	-	-	30	43	356	537
							656			91	154	602	1503

продолжение Таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Посев</b>													
( 50 / )		100		528	0,018	-	-	-	-	6	-	-	6
( 3 )		50	-53	5000	0,01	0,11	6	-	-	1	1	-	8
60		1	-80 -6	1,57	0,64	3,0	158	-	-	39	55	130	382
							164			46	56	130	396
<b>Уход за посевами</b>													
		1,0	-80 -1,0 -11	5,29	0,19	1,4	74	-	-	12	16	62	164
		1,0	-80 -1,0 -11	3,64	0,27	1,5	79	-	-	16	23	97	215
		0,3	-80	12,5	0,024	0,5	26	-	-	2	2	14	44
( 3 )		0,3	-80 -46	5,0	0,06	0,4	21	-	-	4	5	19	49
				-	0,08	-	-	-	-	3	-	-	3
		1,0	-80 -15	7	0,14	2,0	105	-	-	9	12	30	156
		2,0	-80 -4,2	1,43	1,40	5,0	264	-	-	85	120	169	638
							569			131	178	391	1269
<b>Уборка</b>													
( 60 / )		1,0	-281	0,33	3,03	25,5	1344	-	-	184	-	2618	4146
		30	-80 2 -4	4,3	7,0	36,0	1897	-	-	426	602	413	3338
		20	-130	8,05	2,5	5,4	292	-	-	151	153	-	596
		10	-53	5,0	2,0	3,0	162	-	-	121	94	-	377
							3695	-	-	882	849	3031	8457
							6429		25	1377	1801	4994	156

Таблица 4. Схема анализа структуры затрат совокупной энергии на выращивание и уборку культур по периодам и отдельным статьям  
(на примере возделывания кукурузы на силос)

Периоды работ	С.-х. машины и движители	Семена	Удобрения				ГСМ	Электроэнергия	Пестициды	Живой труд, МДж/га	Итого	
			всего	в том числе							МДж/га	%
				азотные	фосфорные	калийные						
Основная обработка почвы	978	-	-	-	-	-	1243	-	-	124	2345	4,9
Внесение удобрений	226	-	12430	10416	870	1144	102	25	-	103	12886	62,1
Предпосевная обработка почвы	756	-	-	-	-	-	656	-	-	91	1503	3,2
Посев	186	3250	-	-	-	-	164	-	-	46	3646	7,7
Уход за посевами	569	-	-	-	-	-	569	-	785	131	2054	4,3
Уборка	3880	-	-	-	-	-	3695	-	-	882	8457	17,8
ИТОГО:												
МДж/га	6595	3250	12430	10416	870	1144	6429	25	785	1377	30891	
%	21,3	10,5	40,2	33,7	2,8	3,7	20,8	0,10	2,5	4,5		100

Данные итоговой таблицы показывают, что по периодам работ в вегетационный период наибольшие затраты приходятся на внесение минеральных удобрений (62,1 %), посев (7,7 %) и уборку урожая (17,8 %).

По расходу энергии материально-технических средств и трудовых ресурсов наибольшие затраты энергии приходятся на минеральные удобрения (40,2 %, в том числе азотные 33,7 %), сельскохозяйственные машины и движители (21,3 %) и горюче-смазочные материалы (20,8 %).

По данным ВНИИ кормов (табл. 5) наименьшие затраты энергии при возделывании зернофуражных и кормовых культур отмечены на посевах многолетних бобовых трав и травосмесей с их участием, не требующих внесения энергоемких азотных удобрений (12,6–14,9 ГДж/га). Совокупные затраты энергии на возделывание и уборку зернофуражных культур составляют 20,6–26,2 ГДж/га, многолетних злаковых трав до 29 ГДж/га, кукурузы на силос – 31,2 ГДж/га, кормовой свеклы 45,7 ГДж/га.

При обосновании видового состава культур и структуры посевных площадей общие затраты совокупной энергии и по отдельным статьям необходимо учитывать с целью разработки ресурсосберегающих систем кормопроизводства и отдельных технологий.

Методика расчета затрат совокупной энергии при производстве кормов на пахотных землях и природных кормовых угодьях приведены в специальных изданиях [20, 21, 22, 23, 24, 26].



Таблица 5. Структура затрат совокупной энергии по отдельным статьям при возделывании основных кормовых культур (среднее за 1986–1992 гг.)

№ пп	Культура	Единица измерения	Машины и оборудование	Семена	Известь	удобрения				Топливо	Электро-энергия	Пестициды	Живой труд	Итого МДж/га
						всего	азотные	фосфор-ные	калийные					
1	Ячмень	МДж	2177	7568	3800	4474	3472	504	498	3184	14	580	479	22276
		%	9,8	34,0	17,1	20,1	15,6	-	-	14,3	0,05	2,6	2,1	100
2	Озимая пшеница	МДж	2725	8428	3800	6210	5208	504	498	3851	16	543	577	26150
		%	10,4	32,3	14,5	23,8	19,9	-	-	14,7	0,05	2,1	2,2	100
3	Овес	МДж	2047	5746	3800	5050	4340	378	332	3042	14	474	442	20615
		%	9,9	27,9	18,4	24,6	21,1	-	-	14,8	0,05	2,3	2,1	100
4	Клевер раннеспелый	МДж	4057	212	3800	959	-	378	581	5016	9	6	844	14903
		%	27,2	1,4	25,6	6,4	-	-	-	33,7	0,05	0,04	5,6	100
5	Клевер + тимopheевка	МДж	3361	211	3800	886	-	347	539	3678	9	6	693	12647
		%	26,6	1,7	30,0	7,0	-	-	-	29,1	0,07	0,05	5,5	100
6	Тимopheевка + овсяница + коострец	МДж	4022	133	3800	16285	14756	588	941	4185	30	5	744	29204
		%	13,8	0,5	13,0	55,8	50,5	-	-	14,3	0,1	0,02	2,5	100
7	Редька масличная	МДж	1970	873	-	3496	3038	126	332	3553	-	-	876	10768
	подкормочно	%	18,3	8,1	-	32,5	28,2	-	-	33,0	-	-	8,1	100
8	Кукуруза на силос (раннеспелый гибрид)	МДж	3427	3002	3800	13861	12152	378	747	5100	16	984	992	31182
		%	11,0	9,6	12,2	44,4	39,0	-	-	16,4	0,06	3,2	3,2	100
9	Кормовая свекла	МДж	7160	7160	110	3800	14935	13020	504	1411	11974	941	6272	45706
		%	15,7	0,2	8,3	32,7	28,5	-	-	26,2	1,1	2,1	13,7	100

## 4.5. Объекты исследований

Объекты исследований включают полевые стационарные опыты с севооборотами всех видов и базовые (модельные) хозяйства научных учреждений.

**В стационарных полевых опытах определяются** параметры накопления и распределения органического вещества в агроэкосистемах, включая товарную и дополнительную продукцию, кормовые средства, растительные и корневые остатки, их агроэнергетические коэффициенты; коэффициенты минерализации органического вещества почвы под различными культурами и коэффициенты трансформации поступающего в почву органического вещества; поступление ФАР и эффективность ее использования в зависимости от уровня и структуры затрат антропогенной энергии, соотношения антропогенных и биологических ресурсов; оптимальное соотношение биологических и антропогенных ресурсов, обеспечивающее хозяйственную и экологическую эффективность производственных процессов и воспроизводства плодородия почвы.

**На основе базовых хозяйств определяются:** общий выход энергии растениеводческой продукции, степень аккумуляции биомассой растений ФАР; энергия товарной продукции растениеводства, энергия растительного сырья для производства кормов и ее трансформация в цепи «энергия растениеводческого сырья – энергия кормов – энергия животноводческой продукции»; энергия, отчуждаемая из хозяйства в виде товарной продукции растениеводства и животноводства; энергия, поступающая в почву в виде растительных остатков, сидератов, органических удобрений; затраты антропогенной энергии и денежных средств на активизацию производственных процессов и воспроизводство почвенного плодородия; запасы энергии в почве, включая энергию гумуса.

Основными переменными параметрами, определяющими эффективность функционирования и воспроизводства агроэкосистемы, являются:

- почвенно-климатические ресурсы;
- соотношение пахотных и природных кормовых угодий;
- видовой состав культур;
- структура посевных площадей;
- уровень затрат антропогенной энергии;
- уровень энергетической и протеиновой продуктивности пашни;
- видовой состав кормов;
- технологии заготовки и хранения кормов;
- соотношение энергии товарной продукции растениеводства и энергии растительного сырья, направляемого на производство кормов;
- биоконверсия энергии кормов в продукты животноводства;
- воспроизводство энергетического баланса почвы.

Содержание энергии в сухом органическом веществе в растениеводстве (зерно, солома, зеленая масса на корм и заготовку кормов, корне- и клубнеплоды; растительные остатки, поступающие в почву; органическое вещество почвы) и животноводстве (молоко, мясо, шерсть, яйца и другие) определяется путем сжигания в калориметрической бомбе энергометра (см. «Определения калорийности органического вещества»). Продуктивность

основной и дополнительной продукции в растениеводстве, содержание гумуса, корневых и растительных остатков в почве определяются общепринятыми методами. Коэффициенты трансформации энергии в цепи «растительное сырье для производства кормов — корма — органические удобрения — животноводческая продукция» определяются экспериментальным путем.

Затраты антропогенной энергии на возделывание культур и воспроизводство плодородия определяются в соответствии с «Методическими указаниями по проведению полевых опытов с кормовыми культурами» (1997).

#### 4.6. Методика определения параметров продукционного блока

**Энергия физиологически активной радиации ( $E_{\text{фар}}$ ).** Основным источником энергии, необходимой растениями для образования органического вещества, является солнечная радиация. Солнечная энергия поступает на земную поверхность в виде излучения различной длины и частоты. В фотосинтезе органического вещества растениями основное значение имеет излучение с длиной волн в интервале 400–700 нм (нанометр – миллиардная часть метра,  $10^{-9}$  м) – физиологически активная радиация (ФАР). Эффективность использования ФАР отдельными видами растений, севооборотной площадью и сельскохозяйственными угодьями является наиболее объективным и точным показателем уровня производственной деятельности. Количество ФАР составляет примерно 35–38 % от общего количества поступающей солнечной радиации. Так, в Центральном экономическом районе (г. Долгопрудный) суммарная ФАР за вегетационный период со среднесуточными температурами выше  $5^{\circ}\text{C}$  (20.IV–10.X) составляет 2550 МДж/м<sup>2</sup> или 25000 ГДж/га (Справочник агронома по с.-х. метеорологии. Нечерноземная зона... 1986). Коэффициент полезного действия (КПД) ФАР – отношение количества энергии аккумулированной в биомассе фитоценоза к количеству поглощенной или приходящей физиологически активной радиации за период вегетации культур или фитоценоотических сообществ. По расчетам А.А. Ничипоровича (1956), КПД обычных производственных посевов составляет 0,5–1,5 %, хороших посевов 1,5–3,0 %, рекордных 3,5–5,0 %, теоретически возможный – 6,0–8,0 %.

Коэффициент полезного действия ФАР можно определять по формуле (Лебедев С.И., 1988):

$$\%(\quad) = \frac{B \cdot 100}{A}$$

где  $A$  – количество ФАР, поступившей за период вегетации на 1 га посевов, или энергия, которая была поглощена посевами, КДж;  $B$  – количество валовой энергии, аккумулированной в органической массе урожая или в биологической массе растений (надземная и подземная масса), КДж/га.

Для определения показателей ФАР пользуются данными специализированных метеостанций или справочными данными. В настоящее время имеются карты распределения ФАР на территории Российской Федерации

за вегетационный период и за отдельные месяцы. Для определения ФАР по данным прямой и рассеянной радиации применяется следующее уравнение (Тооминг Х.Т., 1977),

$$Q_{\text{фар}} = 0,43 \sum S^1 + 0,57 \sum D$$

где  $\sum S^1$  – суммарный приход прямой радиации на горизонтальную поверхность,  $\sum D$  – суммарный приход рассеянной радиации.

Количество валовой энергии, аккумулированной в органической массе растений, определяется аналитическими методами с последующим перерасчетом на единицу площади.

При анализе эффективности использования ФАР культурными и естественными ценозами определяются коэффициенты полезного действия отдельными видами и сортами культур, отдельными видами севооборотов, структурой посевных площадей на пахотных землях, культурными и естественными сенокосами и пастбищами. Можно также проводить анализ влияние отдельных факторов (орошение, удобрения, защита растений, обработка почвы, режимы использования травостоев и т.д.) на эффективность использования фитоценозами физиологически активной радиации.

Поступление физиологически активной солнечной радиации для отдельных культур рассчитывается, исходя из длительности их вегетационного периода.

**Энергия полевых агрофитоценозов ( $E_{\text{паци}}$ )** определяется в полевых опытах за ротацию севооборотов; в модельных хозяйствах не менее чем за три года в среднем со всей и с единицы площади. Включает аккумулированную энергию, содержащуюся в надземной массе – растениеводческой продукции ( $E_{\text{рп}}$ ), и энергию растительных и корневых остатков, пополняющих энергетический запас почвы ( $E_{\text{ркс}}$ ).

$$E_{\text{паци}} = E_{\text{рп}} + E_{\text{ркс}}$$

Выход энергии растениеводческой продукции с общей площади, занятой полевым агрофитоценозом, определяется по соотношению:

$$E_{\text{рп}} = Z(Q_1 d_1 S_1 + \dots + Q_n d_n S_n)$$

где  $Q_1 \dots Q_n$  – количество сухого вещества в урожае основной и дополнительной продукции, т/га;

$d_1 \dots d_n$  – содержание энергии в сухом веществе основной и дополнительной продукции, ГДж в 1 т;

$S_1 \dots S_n$  – площадь, занятая отдельной культурой, га;

$n$  – порядковый номер культуры.

Выход валовой энергии с урожаем основной и дополнительной продукции культуры определяется как их сумма. Например, количество сухого вещества (СВ) в урожае зерна ячменя ( $Q$ ) составляет 3,6 т/га, соломы – 3,9 т/га; содержание энергии ( $d$ ) 19,74 и 17,03 ГДж/т, соответственно.

$$E = (Qd + Q_1 d_1) = 3,6 \cdot 19,74 + 3,9 \cdot 17,03 = 71,1 + 66,4 = 137,5 \text{ ГДж/га.}$$

Аналогичным образом определяется выход энергии с единицы площади при возделывании промежуточных культур.

Средневзвешенный энергетический уровень единицы площади полевого агрофитоценоза ( $E_{pn}$ ) экспериментальных севооборотов (структуры посевных площадей) определяется по соотношению:

$$E_{pn} = \sum (E_i a_i + \dots E_n a_n) \text{ или } e_{pn} = (Q_1 d_1 a_1 + \dots Q_n d_n a_n)$$

где  $E_i \dots E_n$  – выход валовой энергии с единицы площади, занятой культурами в отдельных полях севооборота, ГДж/га;

$a_1 \dots a_n$  – удельный вес культуры в структуре посевных площадей, в долях от единицы; валовая энергия промежуточной культуры входит в ее суммарный выход с одного поля севооборота;

$Q_1 \dots Q_n$  – количество сухого вещества в урожае, т/га;

$d_1 \dots d_n$  – содержание энергии в СВ, ГДж в 1 т;

1... n – порядковый номер культуры.

или

$$E_{pn} = \frac{E_{pn}}{S}$$

где  $E_{pn}$  – выход валовой энергии с общей площади полевого агрофитоценоза, ГДж;  $S$  – общая площадь полевого агрофитоценоза, га.

Полученные данные обобщаются в таблице по форме 1. Так, при общей площади полевого агрофитоценоза 1500 га валовой выход энергии с растениеводческой продукцией составит ( $E_{pn}$ ) 165918 ГДж. Следовательно, средневзвешенная продуктивность 1 га пашни составит:

$$e_{pn} = \frac{E_{pn}}{S} = \frac{165918}{1500} = 110,61$$

или  $e_{pn} = \sum (E_1 a_1 + E_2 a_2 + E_3 a_3 + E_4 a_4 + E_5 a_5 + E_6 a_6 + E_7 a_7) = (128,0 \cdot 0,25 + 108,4 \cdot 0,20 + 77,9 \cdot 0,05 + 42,0 \cdot 0,06 + 109,2 \cdot 0,25 + 56,1 \cdot 0,12 + 149,6 \cdot 0,07) = 32,0 + 21,68 + 3,89 + 8,52 + 27,3 + 6,73 + 10,47 = 110,61$  ГДж/га.

Второй вариант расчета позволяет установить роль отдельных культур в общем уровне энергетической продуктивности 1 га пашни.

Валовая энергетическая продуктивность полевых агрофитоценозов включает энергию растительных ( $E_p$ ) и корневых ( $E_k$ ) остатков ( $E_{pk}$ ):

$$E_{pk} = E_p + E_k$$

Общая средневзвешенная энергия растительных и корневых остатков определяется по аналогии с определением энергии растениеводческой продукции и обобщается в таблице. Так, например, валовая энергия растительных и корневых остатков с площади 1500 га составит 138994 ГДж, или на 1 га пашни (табл. 6,7):

$$e = \frac{E}{S} = \frac{138994}{1500} = 92,66 \quad /$$

или  $e_{pk} = \sum (E_1 a_1 + E_2 a_2 + E_3 a_3 + E_4 a_4 + E_5 a_5 + E_6 a_6 + E_7 a_7) = (97,0 \cdot 0,25 + 94,9 \cdot 0,20 + 55,0 \cdot 0,05 + 45,9 \cdot 0,06 + 120,9 \cdot 0,25 + 57,6 \cdot 0,12 + 97,0 \cdot 0,07) = 24,25 + 18,98 + 2,75 + 2,75 + 30,23 + 6,91 + 6,79 = 92,66$  ГДж/га.

**Агроэнергетический анализ в  
специализированных животноводческих хозяйствах**

Таблица 6. Производство сухого вещества и валовой энергии с растениеводческой продукцией (Е<sub>рп</sub>)

, ( )				, ,		- (d), /	( ) ,	
	(5)	( )		1			1	
(1)	375	0,25		3,1	1162,6	19,1	59,2	22226
				4,0	1500,0	17,2	68,8	25800
(2)	300	0,20		2,9	870,0	18,9	54,8	16443
				3,1	930,0	17,3	53,6	16089
(3)	75	0,05		2,3	172,6	19,0	43,7	3279
				2,0	150,0	17,1	34,2	2565
(4)	90	0,06		6,0	540,0	19,3	115,8	10422
				1,4	126,0	18,7	26,2	2356
(5)	375	0,25		6,0	2250,0	18,2	109,2	40950
(6)	180	0,12		3,1	558,0	18,1	56,1	10100
(7)	105	0,07		8,0	840,0	18,7	149,6	15708
	1500	1,00		-	9159,2	-	-	165918
	-	-		6,11	-	18,11	110,61	-

Таблица 7. Валовая энергия корневых и растительных остатков

	(n)						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(S),	375	300	75	90	375	180	105
, ( )	0,25	0,20	0,05	0,06	0,25	0,12	0,07
(Q), /							
	4,1	3,6	2,6	1,1	6,0	2,8	4,5
	1,5	1,8	0,5	1,4*	0,7	0,4	1,0
(d), /							
	17,1	17,3	17,9	18,1	18,0	18,1	17,6
	17,9	18,1	17,8	18,6	18,4	18,3	17,8
, /							
	70,1	62,3	46,1	19,9	108,0	50,4	79,2
	26,9	32,6	8,9	26,0	12,9	7,2	17,8
	97,0	94,9	55,0	45,9	120,9	57,6	97,0
( =SQd)							
	26288	18690	3458	1791	40500	9072	8316
	10088	9780	668	2340	4838	1296	1869
138994	36376	28470	4126	4131	45338	10368	10185
100%	26,2	20,5	3,0	3,0	32,5	7,5	7,3

\* Листья сахарной свеклы

Во втором случае расчетов средневзвешенного показателя можно также дать оценку роли отдельных культур в воспроизводстве энергетического уровня почвы.

Следовательно, в изучаемом полевом агрофитоценозе в почву ежегодно поступает 92,66 ГДж/га валовой энергии.

Суммарная энергетическая продуктивность полевого агрофитоценоза ( $E_{\text{паци}}$ ) составит (табл. 6):

$$E_{\text{паци}} = E_{\text{рп}} + E_{\text{рк}} = 110,61 + 92,66 = 203,27 \text{ ГДж/га},$$

в том числе валовая энергия растениеводческой продукции 54,4 %.

**Затраты антропогенной (техногенной) энергии ( $E_{\text{тех}}$ )** для производства валовой энергии полевых агрофитоценозов определяются в соответствии с «Методическими указаниями по проведению полевых опытов с кормовыми культурами» (М., 1997), «Методическими рекомендациями по биоэнергетической оценке севооборотов и технологий выращивания кормовых культур» (М., 1989). Основу расчетов составляют технологические карты возделывания и уборки культур. Для расчета затрат техногенной энергии в полевых опытах можно пользоваться типовыми региональными технологическими картами и нормативами.

Полученные данные обобщаются в таблице с расчетом энергетических коэффициентов. Энергетические коэффициенты позволяют дать анализ видовому составу культур по эффективности использования антропогенных ресурсов.

Средневзвешенные затраты техногенной энергии в полевом агрофитоценозе определяются по соотношению:

$$E_{\text{тех}} = \sum (E_i a_i + \dots E_n a_n)$$

где  $E_1 \dots E_n$  – затраты техногенной энергии при возделывании отдельных культур, ГДж/га;

$a_1 \dots a_n$  – удельный вес культур в структуре посевных площадей, в долях от единицы;

1...n – порядковый номер культуры.

Например, в соответствии с данными таблицы 8, средние затраты техногенной энергии в изучаемом полевом агрофитоценозе составят:

$$e_{\text{тех}} = \sum (24 \cdot 0,25 + 22 \cdot 0,20 + 23 \cdot 0,05 + 28 \cdot 0,06 + 16 \cdot 0,25 + 18 \cdot 0,12 + 26 \cdot 0,07) = 21,3 \text{ ГДж/га}.$$

Используя средние данные по выходу валовой энергии с растениеводческой продукцией, растительными и корневыми остатками, определяются средние энергетические коэффициенты полевого агрофитоценоза. В нашем примере энергетический коэффициент в целом составляет 9,50, в том числе по растениеводческой продукции 5,15.

**Параметры использования продукции растениеводства.** Рациональное использование продукции растениеводства является важнейшим условием эффективного функционирования хозяйственного механизма и агроэкосистемы в целом. В условиях недостатка ресурсов требования



экономической и экологической эффективности системы часто имеют противоречивый характер. Одум Ю. (1975) отмечал, что человек не может извлекать из агроэкосистемы более 1/3 валовой энергии, если он не может восполнять ее потери.

Таблица 8. Затраты техногенной энергии и энергетическая эффективность полевого агрофитоценоза

, ( )			- ( )	(£),				
	(S)	( )						
					-	-		
(1)	375	0,25	24	225,0	59,2/71,6	97,0	9,49	5,45
(2)	300	0,20	22	203,3	54,8/53,6	94,9	9,24	4,93
(3)	75	0,05	23	133,3	43,7/34,2	55,0	5,80	3,39
(4)	90	0,06	28	161,7	115,8/26,2	45,9	6,71	5,07
(5)	375	0,25	16	230,1	109,2	120,9	14,38	6,83
(6)	180	0,12	18	113,7	56,1	57,6	6,32	3,12
(7)	105	0,07	26	246,6	149,6	97,0	9,48	5,75
			21,3	202,38	109,72	92,66	9,50	5,15

В числителе – основная продукция, в знаменателе – дополнительная.  
Энергетический коэффициент определяется как отношение валовой энергии растениеводства к затратам техногенной энергии.

В модельных хозяйствах распределение продукции растениеводства по производственным циклам определяется по фактическому ее использованию в среднем по сравниваемым периодам функционирования системы. Энергетическая оценка системы может проводиться на основании анализа деятельности одного или нескольких хозяйств, за один или несколько сравниваемых периодов (например, ранее применяемая и усовершенствованная система). Анализ производства и распределения продукции растениеводства производится с общей площади полевого агрофитоценоза (табл. 9).

В данном примере растениеводческая продукция используется на товарные и кормовые цели, семена, подстилку для животных и непосредственно для использования на органические удобрения (солома, ботва). При использовании растениеводческой продукции на другие цели (укрывной материал и т. д.) вводятся дополнительные статьи расхода. В нашем примере 53,4 % от общего производства сухого вещества используется на кормовые цели.

Для прогнозного анализа эффективности использования растениеводческой продукции в экспериментальных севооборотах данные целесообразно приводить в расчете на 1 га (табл. 10).

Таблица 9. Производство и распределение валовой продукции растениеводства по производственным циклам (модельные хозяйства)

Культуры	Площадь		Вид продукции	Выход сухого вещества, т		Характер использования СВ (Q), т				
	га (5)	структура в долях от единицы (а)		с 1 га	всего	товарная продукция	кормовые цели	семена	подстилка	органические удобрения
Озимая пшеница	375	0,25	зерно	3,1	1162,6	986,3	101,3	75,0	-	-
			солома	4,0	1500,0	-	-	-	375	1125
Ячмень	300	0,20	зерно	2,9	870,0	132,0	675,0	63,0	-	-
			солома	3,1	930,0	-	120,0	-	810	-
Горох	75	0,05	зерно	2,3	172,6	17,3	138,8	16,5	-	-
			солома	2,0	150,0	-	150,0	-	-	-
Сахарная свекла	90	0,06	корне-плоды	6,0	540,0	513,0	27,0	-	-	-
			листья	1,4	126,0	-	-	-	-	126
Многолетние травы	375	0,25	зеленая масса	6,0	2250,0	-	2250,0	-	-	-
Однолетние травы	180	0,12	зеленая масса	3,1	558,0	-	558,0	-	-	-
Кукуруза на силос	105	0,07	зеленая масса	8,0	840,0	-	840,0	-	-	-
Всего	1500	1,00		6,07	9099,2	1648,6	4860,1	154,5	1185	1251
В процентах	-	-		-	100,0	18,1	53,4	1,7	13,0	13,8

При этом за основу принимается структура распределения сухого вещества растениеводческой продукции, сложившаяся в эффективно действующих модельных хозяйствах.

В целом характер распределения энергии растениеводческой продукции ( $E_{рп}$ ) в системе определяется соотношением:

$$E_{рп} = e_{тпр} + e_{рсж} + e_{дрп}$$

где  $e_{тпр}$  – энергия товарной продукции, ГДж;

$e_{рсж}$  – энергия растительного сырья, используемого в животноводстве, ГДж;

$e_{дрп}$  – энергия дополнительной растениеводческой продукции, направляемой непосредственно на удобрение, ГДж.

При дополнительных статьях расхода соответствующие параметры вводятся в соотношение.

Таблица 10. Параметры распределения продукции растениеводства по производственным циклам (экспериментальные севообороты)

Культуры	Структура посева в долях от единицы (а)	Вид продукции	Выход сухого вещества, т/га	товарная продукция					
				%	т/га	кормовые цели	семена	подстилка	органические удобрения
Озимая пшеница (Q <sub>1</sub> )	0,25	зерно	3,1	85	2,63	0,27	0,20	-	-
		солома	4,0	-	-	-	-	1,0	3,0
Ячмень (Q <sub>2</sub> )	0,20	зерно	2,9	15	0,44	2,25	0,21	-	-
		солома	3,1	-	-	0,40	-	2,7	-
Горох (Q <sub>3</sub> )	0,05	зерно	2,3	10	0,23	1,85	0,22	-	-
		солома	2,0	-	-	2,00	-	-	-
Сахарная свекла (Q <sub>4</sub> )	0,06	корнеплоды	6,0	9,5	5,70	0,30	-	-	-
		листья	1,4	-	-	-	-	-	1,4
Многолетние травы (Q <sub>5</sub> )	0,25	зеленая масса	6,0	-	-	6,00	-	-	-
Однолетние травы (Q <sub>6</sub> )	0,12	зеленая масса	3,1	-	-	3,10	-	-	-
Кукуруза на силос (Q <sub>7</sub> )	0,07	зеленая масса	8,0	-	-	8,00	-	-	-

## 4.7. Методика определения параметров биоконверсионного блока

### Энергия товарной продукции растениеводства (E<sub>тпр</sub>)

Производство товарной продукции растениеводства характеризуется наиболее короткой технологической схемой «энергия продукции растениеводства – энергия товарной продукции растениеводства». Исходной информацией для расчетов являются данные, приведенные в таблицах 9,10.

Применительно к модельному хозяйству расчеты проводятся по следующей форме (табл. 11).

Таблица 11. Площадь и валовое содержание энергии в товарной продукции растениеводства

, га	, т		, т/га	, т/га	, т	
		1				1
	986,3	3,1	318,2	19,1	18838	59,20
	132,0	2,9	45,5	18,9	2495	54,8
	17,3	2,3	7,5	19,0	329	43,7
	513,0	6,0	85,5	19,3	9901	115,8
	1648,6	-	456,7	-	31563	-
	-	3,61	-	19,1	-	69,1

Средневзвешенный выход валовой энергии с единицы площади, занятой товарными культурами (S<sub>mk</sub>), определяется по соотношению:

$$e_{\text{мnp}} = \frac{E_{\text{мnp}}}{S_{\text{mk}}} = \frac{31563}{456,7} = 69,1 \quad /$$

с общей площади полевого агрофитоценоза ( $S_{\text{пц}}$ ):

$$e_{\text{мпр}} = \frac{E_{\text{мпр}}}{S_{\text{пц}}} = \frac{31563}{1500} = 21,04 \quad /$$

Для экспериментального севооборота средний выход энергии товарной продукции определяется по соотношению (3):

$$e_{\text{тпр}} = \sum(Q_1 d_1 a_1 + \dots + Q_n d_n a_n) = \sum(2,63 \cdot 19,1 \cdot 0,25 + 0,44 \cdot 18,9 \cdot 0,20 + 0,23 \cdot 19,0 \cdot 0,05 + 5,70 \cdot 19,3 \cdot 0,06) = 12,56 + 1,66 + 0,22 + 6,60 = 21,04 \text{ ГДж/га.}$$

Для завершенных технологических схем определяются общие и средневзвешенные затраты техногенной энергии, энергетические коэффициенты (табл. 12).

Таблица 12. Энергетическая эффективность производства товарной продукции растениеводства

Культура, вид продукции	Площадь, га	Затраты техногенной энергии, ГДж		Выход энергии с товарной продукцией, ГДж/га	Энергетический коэффициент
		на 1 га	всего		
Зерно озимой пшеницы	318,2	27,70	8814	59,20	2,14
Зерно ячменя	45,5	25,30	1151	54,80	2,17
Зерно гороха	7,5	25,90	194	43,70	1,69
Корнеплоды сахарной свеклы	85,5	28,00	2394	115,80	4,14
Итого	456,7	-	12553	-	-
В среднем	-	27,49	-	69,1	2,51

В затраты включена техногенная энергия на подработку товарного зерна. Энергетический коэффициент определяется как отношение выхода энергии с единицы площади к затратам техногенной энергии.

Средневзвешенные затраты техногенной энергии на единицу площади, занятой товарными культурами ( $S_{\text{мк}} = 456,7$  га), составят:

$$e_{\text{мех}} = \frac{12553}{459,7} = 27,49 \quad /$$

на единицу общей площади полевого агрофитоценоза ( $S_{\text{пц}} = 1500$  га):

$$e_{\text{мех}} = \frac{12553}{1500} = 8,37 \quad /$$

Энергия растительного сырья для использования в животноводстве ( $E_{\text{рсж}}$ ) включает энергию растительного сырья для производства кормов ( $E_{\text{рск}}$ ) и энергию растительного сырья, используемого на подстилку ( $E_{\text{рсп}}$ ):

$$E_{\text{рсж}} = E_{\text{рск}} + E_{\text{рсп}}$$

Производство энергии растительного сырья для производства кормов определяется по соотношению 1:

$$E_{\text{рск}} = \sum(Q_1 d_1 S_1 + \dots + Q_n d_n S_n).$$

Определяется также выход энергии на единицу площади, занятой кормовыми культурами, и общую площадь полевого агрофитоценоза; исходная информация приведена в таблицах 9,10.

Средневзвешенный выход валовой энергии с общей площади полевого агрофитоценоза ( $S=1500$  га), используемой для производства кормов, определяется по соотношению:

$$e = \frac{E_{\text{рск}}}{S} = \frac{89250}{1500} = 59,5 \quad /$$

Таблица 13. Выход энергии с растительным сырьем для производства кормов ( $E_{\text{рск}}$ )

, (Q)	1 (q)	(S),	/ (d),	, ( )	
				( )	1 ( )
101,3	3,1	32,68	19,1	1935	59,21
675,0	2,9	232,76	18,9	12758	54,81
138,8	2,3	60,34	19,0	2637	43,70
120,0	3,1	-	17,3	2076	53,63
150,0	2,0	-	17,1	2565	3420
27,0	6,0	4,50	19,3	521	115,78
2250,0	6,0	375,0	18,2	40950	109,20
558,0	3,1	180,0	18,1	10100	56,11
840,0	8,0	105,0	18,7	15708	149,6
4860,1	-	990,28	-	89250	-
-	4,91	-	18,36	-	90,13

Важнейшим условием эффективного использования энергии при производстве продукции животноводства является качество кормов или их питательность. Современные системы оценки кормов основаны на содержании в сухом веществе обменной энергии и питательных веществ, включая клетчатку, протеин, жир и безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ). Обменная энергия (ОЭ) определяется в прямых балансовых опытах на животных по разности между валовой энергией корма или рациона и энергией выделенных организмом животного в процессе жизнедеятельности. Обменную энергию можно определить также по уравнениям регрессии разработанных по обобщенным данным прямых опытов на животных.

Качество кормов определяется в основном содержанием в сухом веществе обменной энергии и протеина. Важнейшее значение в общей питательности сухого вещества имеет энергопротеиновое соотношение. Энергетическая и протеиновая питательность сухого вещества кормовых культур является важнейшим показателем, определяющим их площади в структуре посевных площадей.

При оценке культур по этим показателям следует ориентироваться на необходимую концентрацию ОЭ и СП в 1 кг СВ рациона для определенного вида и уровня продуктивности животных. Так, например, в таблице

14 приведена средняя суточная потребность в ОЭ и сыром протеине для коров с суточным удоjem от 5–10 до 35–40 литров.

Таблица 14. Нормативная концентрация энергии и протеина в 1 кг сухого вещества рациона для производства молока жирностью 3,6–3,8% для коров массой 600 кг (Григорьев Н.Г., Волков Н.П. и др., 1989)

					1		1
		,	,	%	,	,	
5	11-13	95	1,06	8,8	8,0		11,0
10	13-15	120	1,45	10,4	8,6	104	12,1
15	15-17	145	1,91	11,9	9,1	119	13,1
20	16-18	164	2,25	13,2	9,6	132	13,8
25	17-19	184	2,56	14,2	10,2	143	14,0
30	18-20	204	2,99	15,7	10,7	157	14,7
35	19-21	224	3,45	17,3	11,2	173	15,4
40	20-21	244	3,89	19,0	11,9	190	16,0
1- .	11-13	104	1,15	9,6	8,7	96	11,0
2- .	10-12	110	1,22	11,1	10,0	111	11,1
	8-10	65	0,53	5,9	8,0	59	7,4

Примечание: в 1 ЭКЕ 10(десять) МДж ОЭ.

Данные таблицы показывают, что уровень продуктивности животных определяется общим потреблением сухого вещества, содержанием в сухом веществе обменной энергии и протеина. Высокопродуктивные животные потребляют сухого вещества на 100 кг живой массы значительно больше, чем низкопродуктивные. На уровень потребления сухого вещества существенное влияние оказывает концентрация обменной энергии. В таблице 15 приведены данные по содержанию обменной энергии и сырого протеина в сухом веществе основных кормовых культур, возделываемых в Центральном экономическом районе.

Таблица 15. Содержание энергии и протеина в сухом веществе основных кормовых и зерновых культур (данные длительных опытов ВНИИ кормов)

		1		1		
		,	,			
		12,3	121	9,8	>40	15-17
		13,4	114	8,5	>40	
		11,8	120	10,2	40	15-16
		12,2	120	9,8	>40	15-16
		11,4	134	11,8	35-40	20-22
		9,2	18	20,5	15-16	38-40
		10,1	161	15,9	24-25	30-35
		9,4	151	16,1	18-20	25-28
		9,5	146	15,4	15-18	25-27
	,	9,6	135	14,1	20	20-22
	,	9,6	135	14,1	20	20-22
		10,2	150	14,7	25	25-27
		10,1	182	18,0	24-25	35-38
		10,4	82	7,9	25-27	<5
	( )	12,7	81	6,4	>40	<5

По концентрации ОЭ и СП в сухом веществе культуры можно разделить на следующие:

I. Культуры с содержанием в сухом веществе обменной энергии, обеспечивающие суточный удой >40 л/сутки; протеина – 5–20 л/сутки: озимая рожь, озимая пшеница, озимое тритикале, ячмень, овес, кормовая свекла.

II. Культуры с содержанием протеина в СВ, обеспечивающие суточный удой 35–40 литров, обменной энергии – 15–25 литров: люцерна, клевер раннеспелый, викоовсяная смесь.

III. Культуры с содержанием в СВ обменной энергии, обеспечивающие суточный удой >25 литров, протеина – <5 литров: кукуруза на силос.

IV. Культуры с содержанием в СВ протеина обеспечивающие суточный удой 25–28 л, обменной энергии – 15–20 литров: клевер позднеспелый, клевер с тимофеевкой, кострец безостый.

V. Культуры с содержанием в сухом веществе ОЭ и протеина, обеспечивающие суточный удой 20–25 литров: травосмеси клевера, тимофеевки, овсяницы; костреца, тимофеевки, овсяницы.

Таким образом, по содержанию обменной энергии высокую молочную продуктивность (свыше 25 л/сутки) обеспечивают культуры I и III групп: по содержанию протеина – I и IV групп. Следовательно, эти группы и виды культур будут являться ведущими при интенсивном молочном производстве.

При скармливании зеленой массы по содержанию в сухом веществе ОЭ и сырого протеина можно с высокой долей достоверности прогнозировать



уровень продуктивности животных. При заготовке объемистых кормов для стойлового содержания животных часть энергии затрачивается на процессы консервирования, однако общая тенденция эффективности использования питательных веществ сохраняется.

На основе общего выхода с единицы площади обменной энергии и сырого протеина (СП), концентрации их в сухом веществе и нормативной потребности животных основан метод косвенной оценки возможного производства продукции с единицы площади, занятой кормовыми культурами. В таблице 16 приведен пример расчета выхода молока с 1 га травопольного и травяно-зернового севооборотов.

Таблица 16. Расчет выхода молока с 1 га кормового севооборота при среднегодовом удое коров 4 т в год по показателям содержания в кормах сухого вещества, обменной энергии и сырого протеина (Григорьев Н.Г., Гаганов А.П., 2001)

) 1 :		-
,	6,1	6,9
,	64,1	76,6
,	915	988
) 1 :		
,	10,5	11,1
, %	15,0	14,3
) 1 4		
,	4,9	4,9
,	45,5	45,5
,	654	654
: ,	9,3	9,3
, %	13,3	13,3
) 4 , 1		
,	1,24	1,41
,	1,41	1,68
,	1,40	1,51
) ( ) 1		
:		
,	4,96	5,64
,	5,64	6,72
,	5,60	6,04

По концентрации в сухом веществе ОЭ и СП травопольный и травяно-зерновой севообороты обеспечивают нормативные показатели потребности животных. Лимитирующим фактором в биомассе производимой в севооборотах является сухое вещество, недостаток которого относительно легко устранить, комбинированием рационов животных.

Определение выхода обменной энергии и сырого протеина с единицы площади кормовых культур проводится аналогично расчетам выхода валовой энергии.

Энергия растительного сырья, используемого на подстилку ( $E_{\text{рсп}}$ ), определяется по следующей форме (табл. 17).

Таблица 17. Количество сухого вещества и валовой энергии, используемых на подстилку

	, т	, МДж	, кг
	375,0	17,2	6450
	810,0	17,3	14013
	1185,0	-	20463

Средневзвешенное использование валовой энергии растениеводческой продукции на подстилку с единицы площади полевого агрофитоценоза составит:

$$= \frac{E_{\text{рсп}}}{S} = \frac{20463}{1500} = 13,64 \quad /$$

**Энергия растительного сырья, направляемого непосредственно на удобрения.** В биологизированных системах земледелия и особенно в районах, специализирующихся на производстве товарного зерна, будет возрастать значение дополнительной растительной продукции, используемой непосредственно на удобрение. В нашем примере в качестве таких удобрений используются солома озимой пшеницы и листья сахарной свеклы (табл. 18).

Таблица 18. Количество валовой энергии поступающей в почву с дополнительной растениеводческой продукцией

	, т	1, МДж	, кг
	1125,0	17,2	19350
	126,0	18,7	2356
	1251,0		21706

Средневзвешенное использование валовой энергии дополнительной растениеводческой продукции непосредственно на удобрение составит:

$$e = \frac{E_{\text{опн}}}{S} = \frac{21706}{1500} = 14,47 \quad /$$

### Энергия семян собственного производства

Количество сухого вещества и валовой энергии поступающих в почву с семенами определяется, исходя из площади посева и нормы их высева в конкретных районах (табл. 19).

Средневзвешенное потребление валовой энергии в виде семян составит:

$$e = \frac{E_c}{S} = \frac{2936,7}{1500} = 1,96 \quad /$$

При приобретении больших объемов семян в других организациях их валовая энергия, поступающая в почву, учитывается отдельно, что позволит определить поток энергии, поступающий в систему извне.

Таблица 19. Валовая энергия семян, поступающих в почву

	, т	1, МДж	, кг
	75,0	19,1	1432,5
	63,0	18,9	1190,7
	16,5	19,0	313,5
	154,5		2936,7

**Характер и структура распределения валовой энергии растениеводческой продукции.** На основании полученной информации анализируется характер и структура использования валовой энергии полученной растениеводческой продукции (табл. 20).

Таблица 20. Структура использования валовой энергии растениеводческой продукции

			-	-	-	
( )	165918	31563	89250	20463	21706	2936
1	110,61	21,04	59,50	13,64	14,47	1,96
%	100	19,02	53,80	12,33	13,08	1,77

**Энергия кормов ( $E_k$ ),** используемых в хозяйстве, включает энергию кормов, производимых на пашне ( $E_{кп}$ ), энергию кормов с естественных угодий ( $E_{кеп}$ ) и энергию покупных кормов ( $E_{пк}$ ):

$$E_k = E_{кп} + E_{кеу} + E_{пк}$$

Выход энергии кормов в модельном хозяйстве определяется по следующим статьям:

- 1) с общей площади отдельных видов сельскохозяйственных угодий (пашня, сенокосы, пастбища), ГДж;
- 2) с общей площади сельскохозяйственных угодий, используемых для их производства, ГДж;
- 3) в среднем с единицы площади пашни, сенокосов и пастбищ в отдельности, ГДж/га.

Энергия покупных кормов определяется по фактическим объемам их потребления и энергоемкости по отдельным видам (комбинированные корма, жмых, шроты и др.).

Общий выход энергии с площади, занятой кормовыми культурами на пашне и природными кормовыми угодьями, определяется по соотношению:

$$E = \sum (Q_1 k_1 d_1 S_1 + \dots Q_n k_n d_n S_n),$$

где 1...n– порядковый номер культуры, вида угодий;

$Q$  – количество сухого вещества исходного растительного сырья по культурам и видам производимых кормов, т/га;

$k$  – коэффициент биоконверсии исходного сухого вещества в готовый корм по культурам и видам кормов, в долях от единицы;

$d$  – содержание энергии в т СВ готового корма, ГДж;

$S$  – площадь культур, сенокосов, пастбищ для производства различных видов кормов, га.

Для определения средневзвешенного выхода энергии с кормами с единицы площади вместо показателя общей площади ( $S$ ) вводится показатель удельного веса культуры или угодий в структуре посева –  $a$  (в долях от единицы):

$$E = \sum (Q_1 k_1 d_1 a_1 + \dots Q_n k_n d_n a_n)$$

Коэффициенты биоконверсии устанавливаются на основании определения энергоемкости сухого вещества исходного растительного сырья и готовых кормов; потери сухого вещества в процессе заготовки и хранения определяются экспериментально или на основе обобщения имеющихся данных. В таблице 48 на странице 83 приведены данные по потерям и коэффициенты биоконверсии сухого вещества в процессе заготовки и хранения кормов в Центральном экономическом районе.

В готовых кормах определяется концентрация валовой (ВЭ) и обменной (ОЭ) энергии, сырого протеина, выход сухого вещества. Такие данные позволяют определить показатели биоконверсии исходного растительного сырья в кормовые средства (объемистые и концентрированные), оптимизировать технологии заготовки и хранения кормов с целью максимальной сохранности питательных веществ. Потери сухого вещества исходного растительного сырья в процессе заготовки и хранения кормов в зависимости от применяемых технологий могут составлять от 5–10 до 35–40 % (Методические рекомендации по биоэнергетической оценке севооборотов, 1989). Так, при приготовлении силоса из провяленных трав с химическим консервированием потери сухого вещества составляют 5–10 %, а при заготовке силоса из свежескошенной массы – 20–30%. Наибольшие потери

Таблица 21. Сравнительная эффективность выращивания и приготовления кормов из растительного сырья многолетних трав и пропашных культур (среднее за 1988–1991 гг.)

	1		/	
	,	,		
Клевер луговой				
	72,0	67,32	14,21	4,74
— " —	60,5	65,34	16,02	4,08
— " —	49,9	49,40	15,87	3,11
Клевер в смеси с тимофеевкой				
	76,0	78,28	12,63	6,19
— " —	36,8	66,35	13,39	4,96
— " —	49,4	48,41	13,19	3,67
Смесь костреца, овсяницы и тимофеевки				
	88,0	90,11	27,97	3,22
— " —	77,4	74,30	28,01	2,65
— " —	70,4	64,77	28,86	2,24
— " —	51,5	54,21	28,08	1,93
Кукуруза (раннеспелый гибрид)				
	98,0	90,55	31,18	2,90
— " —	78,4	73,70	33,60	2,19
Кормовая свекла (корнеплоды)				
	96,0	119,81	32,53	3,68
,	89,3	111,45	45,71	2,44

сухой исходной растительной массы отмечаются при приготовлении сена полевой сушки – до 35–40%.

Расчеты, проведенные на основании типовых технологических карт (Типовые технологические карты производства кормов, 1979) и нормативных потерь сухого вещества при консервировании, показывают (табл. 21), что более высокой эффективностью отличаются технологии приготовления кормов из многолетних бобовых и бобово-злаковых трав.

При использовании злаковых трав выход обменной энергии с готовым кормом (сенаж) увеличивается в 1,2–1,3 раза, затраты совокупной энергии в 1,7–2,1 раза, а коэффициенты энергетической эффективности снижаются с 4,1–5,0 до 2,7 единиц. На многолетних травах более эффективна технология сенажирования, при которой сохранность сухого вещества выше, чем при силосовании или приготовлении сена полевой сушки. При этом затраты энергии на указанные технологии примерно равны (Шпаков А.С., 1995).

При использовании для силосования кукурузного сырья с влажностью 82–83 % выход обменной энергии составляет 78 ГДж/га, а коэффициент энергетической эффективности при затратах совокупной энергии 33,6 ГДж/га – 2,2 единицы. Примерно такой же выход обменной энергии обеспечивают многолетние злаковые травы при приготовлении сенажа. При силосовании сырья из многолетних злаковых трав выход обменной энергии снижается на 10 % по сравнению с кукурузой. Однако по энерго-протеиновому соотношению силос из злаковых трав значительно превосходит кукурузный, что дает основание предполагать о более высокой его эффективности при кормлении животных. Так, например, по справочным данным (Шумилин И.С. и др., 1980) в 1 кг сухого вещества силоса из кукурузы содержится 38–49 г, а из многолетних злаковых трав – 101 г переваримого протеина.

Среди пропашных культур наибольший выход сухого вещества и обменной энергии с готовых кормов обеспечивают посеvy кормовой свеклы (соответственно 8,9 т/га и 112 ГДж/га). Эффективность посевов этой культуры значительно повышается при использовании на кормовые цели листьев. Однако затраты энергии на производство и хранение корнеплодов самые высокие, что ограничивает их применение в животноводстве.

**Выход энергии кормов с полевых земель ( $E_{кп}$ )** определяется с общей площади, занятой кормовыми культурами, и с 1 га. Выход энергии кормов с общей площади пашни необходим для расчета их биоконверсии в животноводческую продукцию; с единицы площади – для приведения к единому показателю параметров системы.

Площадь пашни для производства кормов определяется по фактическому расходу отдельных видов продукции и урожайности сухого вещества с единицы площади. Так, при продуктивности 3,1 т/га СВ зерна и расходе его на корм 101,25 т, площадь озимой пшеницы, используемой на кормовые цели, составляет 32,66 га. Аналогичным образом проводятся расчеты по всем культурам. Методика расчета по сухому веществу позволяет более точно определить площадь пашни, используемой для производства кормов, в том числе по видам (табл. 22).

Таблица 22. Площади пашни для производства кормов

	, 375	, 101,25	, / 3,1	, 32,66
	300	675,0	2,9	232,76
	75	138,75	2,3	60,33
	-	120,0	-	-
	-	150,0	-	-
	90	27,00	6,0	4,50
•	150	900,0	6,0	150,0
•	225	1125,0	5,0	225,0
•	90	270,0	3,0	90,0
•	90	288,0	3,2	90,0
	105	840,0	8,0	105,0
	1500	-	-	990,25

Выход энергии кормов с полевых земель определяется по форме, приведенной в таблице 23.

Таблица 23. Выход энергии кормов с полевых земель

	- (S),	(a), - (Q), /	- (κ)	1 (d),	( ),	
						1
	32,66	0,03	3,1	0,99	19,1	1914 58,6
	232,76	0,22	2,9	0,98	18,9	12758 54,81
	60,33	0,06	2,3	0,98	19,0	2584 42,8
	-	-	0,51	1,00	17,3	2062 -
	-	-	2,49	1,00	17,1	2569 -
	4,50	0,04	6,0	0,94	19,3	490 108,9
•	150,0	0,15	6,0	0,66	17,8	10573 70,5
•	225,0	0,22	5,0	0,84	18,1	17105 76,0
•	90,0	0,09	3,0	0,97	18,1	4740 52,7
•	90,0	0,09	3,2	0,82	17,9	4227 47,0
	105,0	0,10	8,0	0,83	18,3	12759 121,5
	990,75	1,00				71781 72,45
	32,66	0,03	3,1	0,99	19,1	1914 58,6

Так, например, при общей площади сельскохозяйственных угодий 2400 га под пашней занято 1500 га, в том числе непосредственно для производства кормов — 991,25 га. Общий выход энергии кормов с этой площади составляет 71579 ГДж, а с 1 га — 73,4 ГДж.

**Выход энергии кормов с естественных кормовых угодий ( $E_{\text{кв}}$ )** определяется по аналогичной методике (табл. 24). Так, например, при наличии в хозяйстве 900 га естественных кормовых угодий, из которых 500 га занимают пастбища и 400 га сенокосы, общий выход энергии кормов составит 59147 ГДж, а с единицы площади — 65,7 ГДж/га.

Таблица 24. Выход энергии с сенокосов и пастбищ

№ п/п	Площадь (S), га	Урожайность (a), ц/га	Выход энергии (Q), ГДж/га	Урожайность (κ)	Выход энергии (d), ГДж	(κ <sub>к</sub> ),	
						1	1
•	420	0,47	5,0	0,97	18,2	37073	41,49
•	80	0,09	4,5	0,84	18,3	5534	6,23
•	400	0,44	3,5	0,66	17,9	16540	18,19
	900	1,00	-	-	-	59147	65,7

**Энергия покупных кормов ( $E_{\text{кп}}$ )** определяется по их фактическому расходу, включая жмыхи, шроты и концентраты (табл. 25). Например, для обеспечения содержания протеина в зернофураже на уровне 15–16 % в хозяйстве приобретено 96 т сухого вещества высокобелкового сырья и 29 т комбикормов для высокопродуктивных коров. Определяются параметры этого сырья и общий выход валовой энергии.

Таблица 25. Выход валовой энергии с покупными кормами

№ п/п	Валовая энергия, ГДж	Выход энергии, ГДж/т	Валовая энергия, ГДж
1	48	18,1	869
2	19	18,0	342
3	29	18,2	529
4	96	-	1740

В итоге определяется общая энергия потребляемых кормов и ее структура в зависимости от источников поступления (табл. 26).

Таблица 26. Общая энергия потребляемых кормов

№ п/п	Валовая энергия, ГДж	Выход энергии, ГДж/т	Валовая энергия, ГДж
-	71781	54,1	0,54
-	59147	44,6	0,45
-	1740	1,3	0,01
	132668	100	1,00

Так, общее количество энергии, потребляемой с кормами, составляет 132668 ГДж, в том числе ее поступление с пахотных земель составляет 54,1 %, естественных угодий 44,6 %, с покупными кормами и кормовыми добавками – 1,3 %.



**Энергия животноводческой продукции ( $E_{пж}$ )** включает энергию основной ( $E_{опж}$ ) и дополнительной ( $E_{дпж}$ ) продукции:

$$E_{пж} = E_{опж} + E_{дпж}$$

Энергия основной и дополнительной животноводческой продукции определяется по соотношению:

$$E_{опж} \text{ или } E_{дпж} = Q_1 d_1 + \dots Q_n d_n,$$

где  $1...n$  – порядковый номер продукции;

$Q_1... Q_n$  – количество сухого вещества животноводческой продукции по видам, т;

$d_1...d_n$  – содержание энергии в 1 т СВ животноводческой продукции по видам, ГДж.

Содержание сухого вещества в производимой животноводческой продукции и ее энергетические коэффициенты определяются в динамике в течение года с дальнейшим определением средневзвешенных показателей; количество производимой основной животноводческой продукции и характер ее использования – на основании годовой статистической отчетности; дополнительной – исходя из нормативной переваримости сухого вещества кормов. Например, при общем количестве сухого вещества кормов 7356 т и его переваримости на уровне 70 % в экскременты переходит 30 %. Полученные данные сводятся в таблице 27.

Таблица 27. Выход энергии с основной и дополнительной продукцией животноводства

	(Q),	1 (d),	-		
,	1664	18,1	30126	35,0	65,0
· ·	1248	-	22595	26,3	49,0
	416	-	7531	8,7	16,0
,	891	18,2	16222	18,8	35,0
· ·	757	-	13789	16,0	30,0
	134	-	2433	2,8	5,0
	5	18,2	91	0,1	-
( )	2207	18,0	39726	46,1	-
			86165	100,0	-
· ·			46439	53,9	100,0

**Энергия основной животноводческой продукции**, производимой с отдельных видов угодий, определяется пропорционально произведенному количеству энергии кормов, включая покупные (табл. 28). При этом допускается, что качество кормов в составе рационов является средним:

$$E_{п, пку, пк} = E_{опж} a,$$

где  $E$  – энергия животноводческой продукции, ГДж, получаемая с пашни (п), с природных кормовых угодий (пку) за счет покупных кормов (пк);

$E_{опж}$  – выход энергии с основной продукцией животноводства, ГДж;

$a$  – удельный вес энергии кормов, производимых на отдельных видах угодий, в долях от единицы.

Таблица 28. Выход энергии животноводческой продукции с пашни, культурных и естественных сенокосов и пастбищ

		( )	
	46439	0,54	25077
		0,45	20898
		0,01	464

Следует отметить, что определение выхода энергии животноводческой продукции с отдельных сельскохозяйственных угодий требует уточнения, поскольку качественные показатели кормовых средств, а, следовательно, и объемы выхода животноводческой продукции с единицы площади (пашня, сенокосы, пастбища), будут в определенной степени различаться.

**Энергия товарной продукции животноводства ( $E_{\text{тж}}$ )**, произведенной на пахотных землях, определяется исходя из ее общего количества, структуры по видам и характера использования. Расчет проводится, используя данные, полученные в предыдущих разделах (табл. 29).

Таблица 29. Валовая энергия животноводческой продукции по видам

	0,65	16300
	0,49	12228
	0,16	4012
	0,35	8777
	0,30	7523
	0,05	1254
	1,00	25077
	0,79	19811

Следовательно, из общего количества энергии животноводческой продукции на товарные цели используется 19811 ГДж или 79 %.

**Затраты техногенной энергии ( $E_{\text{тех}}$ )** на приготовление кормов определяются по основным технологическим циклам: 1) выращивание; 2) очистка, сушка (для зерновых); 3) приготовление отдельных видов кормов. Основой для расчетов являются технологические карты. Расчеты следует проводить на единицу площади посева. Например, технологические затраты на выращивание и уборку на кормовые цели озимой пшеницы составляют 24 ГДж/га. При урожайности зерна 3,75 т/га (влажность 18 %, засоренность 3 %) валовой выход с площади 32,66 га составит 122,48 т. Затраты энергии на очистку, сушку, смешивание и размол такого количества составят дополнительно 107,78 ГДж или 3,3 ГДж/га ( $107,78 : 32,66 = 3,30$  ГДж/га). Техногенные затраты на производство концентрированных кормов рассчитываются на общую площадь и на единицу площади, занятой зернофуражными культурами (табл. 30).

Таблица 30. Средние затраты техногенной энергии на 1 га

			1			-		-
	32,66	0,10	3,75	122,48	27,3	27,3	2,2	1,1
	232,76	0,72	3,62	842,59	25,0	25,0	1,6	1,4
	60,33	0,18	3,01	181,59	26,4	26,4	1,8	2,6
	325,75	1,0	3,52	1146,66	25,48	25,48	-	-

Средневзвешенные и общие затраты на производство кормов с 1 га определяют по соотношению:

$$e_{\text{тех}} = \sum (e_i a_i + \dots e_n a_n).$$

где  $e_{\text{тех}}$  – энергетические затраты на производство кормов, ГДж;  
 $e_1 \dots n$  – энергетические затраты на производство вида корма, ГДж/га;  
 $a_1 \dots n$  – площадь, на которой производится вид корма, га.

Данные обобщаются в таблице 31.

Таблица 31. Общие и средневзвешенные затраты техногенной энергии на выращивание растительного сырья и производство кормов

		1	
	325,75	25,48	8300,11
	150,0	21,80	3270,0
	225,0	21,10	4747,5
	90,0	18,0	1620,0
	90,0	24,5	2205,0
	105,0	34,8	3654,0
	4,50	28,0	126,0
	-	1,6	61,9
	-	2,8	210,0
	990,75	24,42	24194,5

**Энергетическая эффективность производства кормов и животноводческой продукции** определяется на основе обобщения полученных параметров (табл. 32).

Таблица 32. Энергетическая эффективность производства кормов и животноводческой продукции на пахотных землях

		1
	990,75	-
, (н)	89250	90,08
,	71781	72,45
..	56548	57,08
, (н)	250077	25,31
..	19811	20,00
, (E <sub>мех</sub> )	24195	24,42
..	19134	19,31
(н / )	0,35	
(н / )	1,04	

Таким образом, если коэффициент биоконверсии товарной продукции растениеводства близок к единице, а на единицу техногенных затрат производится 2,51 единицы энергии, то при использовании энергии растениеводческой продукции в животноводстве эти показатели составляют 0,35 и 1,04 соответственно.

Как уже отмечалось, оценка перспективных полевых агрофитоценозов или экспериментальных севооборотов может проводиться в соответствии с методикой прогнозной оценки продуктивного действия кормов по выходу животноводческой продукции (Григорьев Н.Г., Гаганов А.П., 2001).

#### **4.8. Методика определения параметров энергетического баланса почвы**

Почва является открытой термодинамической системой, уровень устойчивости которой определяется множеством факторов. В естественных условиях энергетический уровень почв обеспечивается определенной постоянной биологической активности почвенной микрофлоры.

При сельскохозяйственном использовании и поступлении в почву дополнительного количества органического вещества, элементов минерального питания и мелиорантов существенно меняется состав микрофлоры и повышается ее биологическая активность. Отмечается, что в условиях повышенной биологической активности органическое вещество, поступающее в почву, подвергается более быстрой минерализации, а ее участие в формировании гумуса и потенциального плодородия почвы снижается (Н.А. Туев, 1989).

Следует отметить, что исследование энергетического баланса почвы является наиболее сложной научной задачей, поскольку параметры расхода и поступления энергии в систему определяются множеством факторов. Вероятно, что полученные данные и их применение в обосновании баланса энергии почвы будут иметь определенные допущения.

Баланс энергии в почве может быть положительным, нулевым или отрицательным; отрицательный баланс свидетельствует о несовершенстве системы и необходимости ее оптимизации с использованием биологических и антропогенных ресурсов. Энергетический баланс почвы определяется запасами энергии в почве ( $E_{\text{почв}}$ ); количеством поступающей вновь образованной энергии в виде соломы, сидератов, семян, других растительных остатков ( $E_{\text{дрпс}}$ ), растительных и корневых остатков ( $E_{\text{рко}}$ ), органических удобрений ( $E_{\text{оргу}}$ ); интенсивностью минерализации органического вещества ( $E_{\text{оргм}}$ ).

**Энергия почвы ( $E_{\text{почв}}$ )** представлена энергией гумуса ( $E_{\text{гум}}$ ), а также негумифицированными и гумифицированными растительными остатками прошлых лет ( $E_{\text{нгр}}$ ):

$$E_{\text{почв}} = E_{\text{гум}} + E_{\text{нгр}}$$

Энергия гумуса определяется в начале и конце периода исследования (после полной ротации севооборотов) по весовым его запасам с дальнейшим

пересчетом в энергетические единицы. Например, запасы гумуса в серой лесной почве при весе  $A_{\text{пах}}$  3250 т/га и его содержании 2,2 % составляют в конце периода исследования 71,5 т/га ( $Q = \frac{3250 \cdot 2,2}{100}$ ); в начале исследования – 69,5 т/га.

В модельных хозяйствах запасы гумуса определяются по итогам очередного агрохимического обследования почв.

Энергия гумуса в почве определяется по соотношению:

$$E_{\text{гум}} = Q_{\text{г}} d_{\text{г}} S,$$

где  $Q$  – запасы гумуса в почве, т/га;

$d_{\text{г}}$  – содержание энергии 1 т гумуса (примерно 23,045 ГДж, требует уточнения по регионам);

$S$  – площадь культуры или отдельной группы культур, га; при определении запасов энергии гумуса на 1 га экспериментального севооборота  $S = 1$ .

Количество негумифицированных и гумифицированных растительных остатков, включая остатки органических удобрений, определяется одновременно с определением количества корневой массы культур в соответствии с рекомендациями по агрохимическим методам исследования почв (1960). Энергетические коэффициенты ( $d_{\text{нгр}}$ ) этой фракции органического вещества почвы определяются с помощью энергомера; запасы энергии – аналогично запасам энергии гумуса. Следует отметить, что негумифицированные и гумифицированные растительные остатки в Апах в значительной степени определяют свойства почвы, прежде всего физические, являются ближайшим резервом энергии, макро- и микроэлементов для почвенной флоры и фауны. Определение постоянных запасов энергии в почве проводится по следующей форме (табл. 33).

Таблица 33. Содержание энергии в почве

		/				
				/	/	,
	375	70,9	623477	1,6	18,4	11040
	300	71,2	500892	1,5	18,1	8145
	75	71,3	125399	1,1	18,6	2372
	90	69,8	147313	2,1	18,5	3497
	375	72,8	640185	2,4	18,8	16960
	180	71,4	301379	1,9	18,2	6224
	105	68,9	169649	1,8	18,3	3459
	1500	-	2508294	-		51657
	-	71,32	1672	-		34,4

Среднее содержание энергии в 1 т гумуса ~ 23,045 ГДж.

Таким образом,  $E_{\text{почв}} = E_{\text{гум}} + E_{\text{нгр}} = 2508294 + 51657 = 2559951$  ГДж или на 1 га  $e_{\text{почв}} = 2559951 : 1500 = 1706,6$  ГДж.

**Энергия, поступающая в почву ( $E_{пп}$ )**, включает энергию дополнительной растениеводческой продукции ( $E_{дрп}$ ), растительных и корневых остатков, семян ( $E_{ркс}$ ), органических удобрений ( $E_{оргу}$ ):

$$E_{пп} = E_{дрп} + E_{ркс} + E_{оргу}.$$

**Методика определения энергии дополнительной растениеводческой продукции**, используемой на удобрения, приводится в подразделе 4,7, таблице 18. В соответствии с приведенным примером, количество энергии в таком органическом веществе составляет 21706 ГДж, в том числе соломы озимых 19350 ГДж.

**Методика определения валовой энергии корневых и растительных остатков** приводится в подразделе 4,7, таблица 7. Дополнительно проводится расчет по количеству энергии, поступающей в почву с семенами, включая приобретенные (табл. 34).

Таблица 34. Количество энергии, поступающей в почву с семенами, растительными и корневыми остатками

, ,	375	300	75	90	375	180	105
, /	0,20	0,21	0,22	0,005	0,020	0,20	0,030
/ ,	18,6	18,5	18,6	17,7	18,1	18,5	18,9
, ,	1388	1170	308	9	150	612	63
( . 7) ,	36376	28470	4126	4131	45338	10368	10185
, ,	377764	29640	4434	4140	45488	10380	10249

Таким образом, энергия растительных и корневых остатков, семян составляет 142694 ГДж, в том числе семян 3700 ГДж.

**Энергия органических удобрений ( $E_{оргу}$ )** определяется с учетом только органического вещества, поступившего с пахотных земель. Такой подход предполагает объективную оценку возможности воспроизводства энергетического и вещественного уровня полевых агрофитоценологических сообществ без привлечения энергии и вещества с других угодий и структур агроландшафтов: сенокосы и пастбища, лес и др. (табл. 35).

Таблица 35. Поступление энергии в почву с органическими удобрениями, произведенными на пахотных землях (площадь 1500 га)

		1
, ,	39726	26,48
, %	54,1	
, ,	21492	14,32
, ,	20463	13,64
, ,	41955	27,96
	0,85	
, ,	35662	23,77

Коэффициенты биоконверсии экскрементов и подстилки в органические удобрения требуют экспериментального определения.

Общее количество энергии, поступающее в почву, включает энергию растительных и корневых остатков, солому зерновых и зернобобовых культур, органических удобрений (табл. 36).

Таблица 36. Общее количество энергии, поступающее в почву

			1
1.	, ,	142694	95,13
2.	( , )	21706	14,47
3.		35662	23,77
		200062	133,37

**Энергия минерализованного органического вещества почвы ( $E_{оргм}$ ).** В продукционном и средообразующем процессах полевых агрофитоценологических сообществ расходуется энергия гумуса и постоянно поступающего в почву вновь образованного органического вещества, обеспечивающая жизнедеятельность почвенной биоты, вовлечение в малый биологический круговорот минеральных и органических биологически активных веществ. Параметры расхода энергии необходимы для составления энергетического баланса почвы, а также для анализа потоков поступления, расхода и «консервации» энергии в почве.

Энергия минерализованного органического вещества почвы определяется по сумме энергии минерализованного гумуса и вновь поступившего органического вещества. При этом предполагается, что энергия негумифицированных и гумифицированных органических остатков, т.е. промежуточных продуктов разложения ( $E_{нгр}$ ), остается постоянной величиной.

Энергию минерализованного органического вещества почвы можно определить по соотношению:

$$E_{оргм} = E_{мг} + [(E_{ркс} + E_{оргу} + E_{дрп}) - (E_{мг} + \frac{\pm \Delta E_{сум}}{n}) - E_{нгр}]$$

где  $E_{мг}$  – энергия минерализованного гумуса в среднем за год, ГДж/га;

$E_{ркс}$  – энергия ежегодно поступающих в почву корневых и растительных остатков, семян, ГДж/га;

$E_{оргу}$  – энергия органических удобрений, ГДж/га;



$E_{\text{дрп}}$  – энергия дополнительной продукции, используемой на удобрения, ГДж/га;

$\pm \Delta E_{\text{гум}}$  – энергия прибавки (убыли) гумуса за период исследований, ГДж/га.

Сумма показателей  $(E_{\text{мг}} + \frac{\pm \Delta E_{\text{сум}}}{n})$  является энергией вновь образован-

ного гумуса. Логично предположить, что энергия вновь образованного гумуса компенсирует ее потери от минерализации.

$n$  – период исследований, лет;

$E_{\text{нгр}}$  – энергия негумифицированных и гумифицированных органических остатков, ГДж/га.

**Энергия минерализованного гумуса** определяется по соотношению:

$$E_{\text{мг}} = \sum (Q_1 d_1 k_1 S_1 + \dots + Q_n d_n k_n S_n),$$

где  $Q$  – количество гумуса по полям севооборотов или отдельными культурами, т/га;

$d$  – содержание энергии в 1 т гумуса, ГДж;

$k$  – коэффициент минерализации гумуса под отдельными культурами, в долях от единицы;

$S$  – площадь, занятая отдельной культурой, га;

1... $n$  – порядковый номер культуры.

Полученные данные анализируются по следующей форме (табл. 37)

Таблица 37. Энергия минерализованного гумуса

	(S),	(Q),	( )*	- Е ,
	375	70,9	0,008	4902
	300	71,2	0,008	3938
	75	71,3	0,007	863
	90	69,8	0,015	2172
	375	72,8	0,005	3146
	180	71,4	0,007	2073
	105	68,9	0,015	2501
	1500	-	-	19595
1	-	-	-	13,06

\* Содержание энергии в 1 т гумуса  $d \sim 23,045$  ГДж. Определение коэффициентов минерализации гумуса под отдельными культурами является одной из основных задач экспериментальных исследований.

**Энергия прибавки (убыли) гумуса** в среднем за год определяется по весовому его количеству в почве и энергетическому эквиваленту:

$$\pm E_{\text{сум}} = \frac{(Q_{\text{с2}} - Q_{\text{с1}}) d_{\text{с}}}{n}$$

где,  $Q_{\text{с}}$  – средневзвешенное количество гумуса в  $A_{\text{пах}}$ , т/га

( $Q_{\text{с1}}$  – в начале исследования,  $Q_{\text{с2}}$  – в конце периода исследования);

$d_{\text{с}}$  – содержание энергии в 1 т гумуса  $\sim 23,045$  ГДж;

$n$  – длительность периода исследований, количество лет.

Средневзвешенное количество гумуса, содержащееся на единице площади полевого агрофитоценотического сообщества, определяется по соотношению:

$$Q_r = Q_1 a_1 + \dots + Q_n a_n,$$

где  $Q$  – количество гумуса, культур, т/га;

$a$  – удельный вес культуры в структуре посевных площадей, в долях от единицы;

$1 \dots n$  – порядковый номер культуры.

Полученные данные обобщаются по следующей форме (табл. 38).

Таблица 38. Динамика содержания гумуса в почве за период исследований

Культура, порядковый номер	Структура посева, в долях от единицы ( $a$ )	Запасы гумуса, ( $Q$ ), т/га		Средневзвешенное содержание гумуса под культурами, т	
		начало периода	конец периода	начало периода	конец периода
Озимая пшеница (1)	0,25	69,5	70,9	17,38	17,38
Ячмень (2)	0,20	69,9	71,2	13,98	13,98
Горох (3)	0,05	69,8	71,3	3,49	3,49
Сахарная свекла (4)	0,06	68,8	69,8	4,13	4,13
Многолетние травы (5)	0,25	71,1	72,8	17,78	17,78
Однолетние травы (6)	0,12	69,8	71,4	8,38	8,38
Кукуруза (7)	0,07	67,4	68,9	4,42	4,42
Среднее на 1 га посева	1,0	-	-	69,86	69,86

Запасы гумуса в модельных хозяйствах определяются по результатам агрохимического обследования почв.

Следовательно, энергия прибавки (убыли) гумуса в среднем за годы исследуемого периода составит:

$E_{гум} = (71,32 - 69,86) \cdot 23,045 = 33,65$  ГДж/га; в среднем за один год  $33,65 : 7 = 4,80$  ГДж/га.

Общая энергия минерализованного органического вещества составит:

$$E_{оргм} = E_{ме} [(E_{ркс} + E_{орпу} + E_{орпн}) - (E_{ме} + \frac{E_{гум}}{n}) - E_{ирг}] = 13,06 + [(95,1 + 23,8 + 14,5) - (13,06 + \frac{33,65}{7}) - 34,4] = 94,19 \text{ ГДж/га}$$

Таким образом, из общего количества энергии минерализованного органического вещества почвы энергия гумуса составит 13,06 ГДж/га, а энергия вновь поступившего органического вещества с растительными остатками, органическими удобрениями и семенами 81,13 ГДж (94,19 - 13,06).

Основные параметры для расчета потоков энергии органического вещества в почве обобщаются в следующей форме (табл. 39).

**Баланс энергии в почве** определяется на основе биоконверсионных процессов, включающих поступление, расход и «консервацию» ее в почве (табл. 40).

Таким образом, при использовании пахотных угодий в зернотравянопропашной системе кормопроизводства и рациональном использовании вновь синтезированного органического вещества можно обеспечить бездефицитный

Таблица 39. Основные параметры трансформации энергии в почве

	, ,	
	*	1
( )	2559951	1706,6
( )	2508994	1672,2
( )	51657	34,4
, :	200062	133,4
, ( );	142694	95,1
( );	21706	14,5
( )	35662	23,8
( )	19595	13,06
(7 )	26835	17,89
1	7211	4,83

\* Площадь пашни 1500 га.

Таблица 40. Основные параметры баланса энергии в почве

Показатели	ГДж/га
Общее содержание энергии ( $A_{\text{паш}}$ )	1706,6
в т. ч. гумус	1672,2
- гумифицированные и негумифицированные растительные остатки	34,4
Энергия минерализованного гумуса	13,06
Поступление энергии ( $A_{\text{паш}}$ )	133,40
в т. ч. убывает в процессе минерализации (94,19 – 13,06)	81,13
поступает в негумифицированные и гумифицированные растительные остатки	34,40
трансформируется в гумус ( $E_{\text{г}} + \frac{\pm \Delta E_{\text{гум}}}{n}$ )	17,86
Превышение энергии вновь образованного гумуса над энергией минерализованного гумуса, $\pm$ ГДж	+4,83
Коэффициент биоконверсии вновь поступающей энергии в гумус, в долях от единицы (17,86:133,4)	0,134

баланс энергии в почве. В нашем примере превышение энергии вновь образованного гумуса над энергией минерализованного составит 4,81 ГДж/га. Коэффициент по конверсии вновь поступающей в почву энергии в энергию гумуса составит в долях от единицы 0,134 или 13,4 %. По обобщенным данным, гумифицируется 10–20 % поступающей в почву органической массы (Тувев Н.А., 1989). Естественно предположить, что при насыщении структуры посевных площадей многолетними травами с травянозерновой или травопольной системами кормопроизводства потоки энергии, поступающей в почву, будут возрастать. При этом могут иметь место как положительные, так и отрицательные тенденции, требующие тщательного изучения, поскольку нарушение устойчивого энергетического баланса почвы может приводить к непроизводительным потерям энергии (правило Ле-Шателье).

## 4.9. Основные параметры эффективности полевого агрофитоценоза

Анализ энергетической эффективности полевого агрофитоценоза целесообразно проводить по форме, представленной в таблице 41. В данной таблице представлены обобщенные энергетические параметры по блокам (продукционный, биоконверсионный, почвенный) и обобщенные параметры эффективности использования энергии в полевом агрофитоценозе. В последнем общем блоке параметров определяются параметры отчуждаемой из системы энергии с товарной продукцией, рассеиваемой в период биоконверсии производимого органического вещества, его минерализации в почве; определяются коэффициенты рециркуляции энергии в системе («замкнутость системы» как отношение поступающей в систему стабильной энергии к общему ее производству  $55,77:203,27=0,27$ ); коэффициент трансформации (биоконверсии) энергии в продовольственную продукцию.

Таблица 41. Агроэнергетическая эффективность полевого агрофитоценоза

Показатели	Параметры
1	2
<i>Основные параметры и эффективность продукционного процесса</i>	
Количество энергии ФАР за период вегетации, ( $E_{\text{фар}}$ ) ГДж/га	19520
Выход валовой энергии полевого агрофитоценоза ( $E_{\text{рп}}$ )	203,27
в т. ч. растениеводческая продукция, всего	110,61
•товарные цели	21,04
•семена	1,96
•подстилка	13,64
•удобрение	14,47
•производство кормов	59,50
•корневые и растительные остатки	92,66
Затраты техногенной энергии на выращивание и уборку ( $E_{\text{тех}}$ ), ГДж	21,30
Энергетический коэффициент ( $E_{\text{рп}}/E_{\text{тех}}$ )	9,54
•на производство растениеводческой продукции	5,19
Коэффициент использования ФАР ( $E_{\text{рп}}/E_{\text{фар}}$ )	1,04
•на производство растениеводческой продукции	0,57
<i>Эффективность биоконверсии растениеводческой продукции в производственных циклах</i>	
	1500
	0,30
( ), /	69,10
	~ 1,0
( ),	27,49
( / )	2,51
	0,66
• ( )	90,08
• ( )72,45	72,45

Продолжение таблицы 41

1	2
( / )	0,80
( ), /	25,31
( )	20,00
( / )	0,28
( ), /	24,42
( / )	1,04
, /	13,06
( ) (± / )	+4,80
(17,86/133,4),	0,134
<i>Параметры и эффективность использования энергии в полевых агрофитоценозах, ГДж/га</i>	
Производство энергии, всего ( $E_{\text{пш}}$ )	203,27
в т. ч. с растениеводческой продукцией ( $E_{\text{рп}}$ )	110,61
Поступает в систему (энергия рециркуляции – $E_{\text{р}}$ ), всего, в т. ч.	55,77
•с продукцией животноводства ( $E_{\text{рж}}$ )	3,51
•с негумифицированными и гумифицированными остатками	34,40
•трансформируется в гумус	17,86
Отчуждается из системы ( $E_{\text{отж}}$ ), в т. ч.	147,50
•с товарной продукцией растениеводства ( $E_{\text{тпр}}$ )	21,04
•животноводства ( $E_{\text{тж}}$ )	13,21
•рассеивается в период биоконверсионных процессов производства животноводческой продукции, включая энергию, трансформируемую в органические удобрения (энтропия)	28,45
•рассеивается при минерализации органического вещества в почве	81,14
•неучтенные потери	3,66
Коэффициент рециркуляции энергии («замкнутость» систем) ( $E_{\text{р}}/E_{\text{пш}}$ )	0,27
Коэффициент трансформации энергии в продовольственную продукцию ( $E_{\text{рж}} + E_{\text{тпр}} + E_{\text{тж}}/E_{\text{пш}}$ )	0,34

На основании обобщенных данных анализируется энергетическая эффективность системы, разрабатываются мероприятия по эффективному использованию энергии в веществе при производстве продовольствия и воспроизводству агроэкосистемы.

Так, полученные данные показывают, что анализируемый полевой агрофитоценоз характеризуется относительно низким коэффициентом использования ФАР (0,57 %) при производстве растениеводческой продукции; достаточно высоким коэффициентом окупаемости затраченной техногенной энергии (5,19). Для производства товарной продукции растениеводства используется 30 % площади пашни, животноводческой продукции – 66 %; коэффициент биоконверсии растениеводческой продукции в товарную близок к единице, в животноводческую – не превышает 0,28; окупаемость

затрат техногенной энергии при производстве товарной продукции составляет 2,51, животноводческой продукции – 1,04.

Для анализируемого полевого агрофитоценотического сообщества характерен положительный энергетический баланс почвы (+ 4,8 ГДж в год); коэффициент биоконверсии поступающей в почву энергии в энергию гумуса составляет 0,134.

Общее количество энергии, производимой полевым агрофитоценозом, составляет 203,27 ГДж/га; поступает в систему (энергия рециркуляции) 55,77 ГДж/га, коэффициент рециркуляции энергии («замкнутость системы») не превышает 0,27; отчуждается из системы (энтропия) 147,5 ГДж/га, в том числе с товарной продукцией – 34,25 ГДж/га; рассеивается в период биоконверсионных процессов производства животноводческой продукции и минерализации органического вещества в почве 109,59 ГДж/га.

Таким образом, для повышения энергетического уровня и устойчивости круговорота энергии в агрофитоценотическом сообществе необходимы приемы, обеспечивающие повышение коэффициентов трансформации энергии в гумус, негумифицированные и гумифицированные растительные остатки, снижение энтропии энергии органического вещества; повышение эффективности производства – приемы и технологии, увеличивающие коэффициенты биоконверсии энергии растениеводческой продукции в энергию товарной продукции при снижении техногенных затрат.

По данной методике и разработанной схеме в агроэкоэкосистемах можно анализировать потоки углерода, азота, зольных макро- и микроэлементов.

## **5. Основные направления повышения энергетической эффективности систем кормопроизводства в специализированных животноводческих хозяйствах**

### **5.1. Продукционный блок**

В системах сельскохозяйственного производства продукционный блок занимает центральное место. Основными показателями эффективности продукционного блока являются уровень аккумуляции культивируемыми и природными растительными сообществами солнечной физиологически активной радиации (ФАР) и уровень антропогенных затрат на ее интенсификацию. Повышение коэффициентов использования ФАР растительными сообществами при снижении затрат материально-технических ресурсов на организационные и производственные процессы является основополагающим требованием современного сельского хозяйства.

При разработке моделей управления продукционными процессами за основу принимается иерархическая значимость основных факторов (Образцов А.С., 2001): свет –  $\text{CO}_2$  – тепло – влага – минеральное питание. В природных условиях содержание в атмосфере углекислого газа ( $\text{CO}_2$ )

остается почти постоянным, дневная радиация, прямая и рассеянная, по существу не лимитирует потенциальную продуктивность растительных сообществ. В практике управления продуктивностью растительных сообществ основное место занимают тепло, влага и минеральное питание. При этом минеральное питание, определяемое свойствами почвенного покрова (тип почв, механический состав, рН, физические, водно-физические и другие), в наибольшей степени лимитирует уровень продуктивности. Так, например, по расчетам А.С. Образцова (2001) в Центральной России продуктивность многолетних злаковых трав может составлять в среднем по тепловым ресурсам 17–18, по влагообеспеченности 12–14, а по обеспеченности почв доступными запасами азота не более 2,5–2,9 т/га сухого вещества.

Важнейшим направлением повышения эффективности производственного процесса является рациональное использование природных ресурсов наряду с применением новейших организационных, технических и технологических решений.

Рациональное использование природных и антропогенных ресурсов включает мероприятия, также имеющие иерархическую структуру: организационно-территориальные, организационно-хозяйственные, агротехнические, технологические.

**Организационно-территориальные мероприятия** федерального и регионального уровня включают природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда страны (пояс, зона, провинция, округ, район, подрайон); систему защитных лесных насаждений, крупные осушительные и оросительные системы и другие. Реализация таких мероприятий позволяет:

- оценить биоклиматический потенциал территорий по долготе и широте;

- научно обосновать агроэкологическое районирование культур и естественных кормовых угодий, системы ведения сельскохозяйственного производства;

- обосновать перспективные регионы специализации и концентрации отдельных отраслей, включая производство товарной продукции растениеводства и животноводства.

По существу природно-сельскохозяйственное районирование положено в основу рационального использования природных тепловых и водных ресурсов. В условиях высокой теплообеспеченности и избыточного увлажнения территорий важнейшим фактором управления производственным процессом является орошение и осушение.

Оптимальное размещение сельскохозяйственного производства в соответствии с природно-сельскохозяйственным районированием позволяет эффективно использовать тепловые и водные ресурсы, почвенный покров в соответствии с биологическими требованиями растительных сообществ. К сожалению, в последние десятилетия этому важнейшему направлению рационального использования природных ресурсов не уделяется должного внимания научными учреждениями и органами АПК. Зональное и региональное размещение видов и сортов продовольственных, кормовых и

технических культур в соответствии с их биологическими требованиями, адаптивным потенциалом (толерантностью к факторам среды) является фундаментальным требованием экологически и экономически устойчивого растениеводства (Жученко А.А., 2009–2011), а в целом и систем сельскохозяйственного производства. Важнейшим направлением оптимизации систем является изучение параметров энерго- и массообмена в зональных и региональных системах ведения сельскохозяйственного производства. Такой метод позволяет в наибольшей степени обеспечить динамическое равновесие энергии и вещества в системе, сократить до возможного минимума их энтропию, непроектные потери энергии и вещества.

**Организационно-хозяйственные мероприятия** проводятся на районном и локально-топологическом уровнях (табл. 42).

Таблица 42. Примерные организационные уровни и единицы агроландшафтных систем (Ландшафтное земледелие..., Курск, 1993, ч. 2)

Единицы агроландшафтных систем	Общая характеристика	Примеры
<b>I. Районный уровень</b>		
1.1. Природно-хозяйственный округ	Группа районов, формирующих территориальное единство по рельефу, почвообразующим породам и почвенному покрову, специализации производства	Природно-сельскохозяйственный округ
1.2. Природно-хозяйственный район	Сочетание близких местностей, образующих территориальное единство с однотипным подходом к оптимизации агроландшафтных систем и специализации отраслей	Природно-сельскохозяйственный район
<b>II. Локальный (топологический) уровень</b>		
2.1. Природно-хозяйственная местность	Сочетание массивов в пределах функционирования целостной системы предприятия с единым центром управления	Сельскохозяйственное предприятие
2.2. Природно-хозяйственный массив	Однородная группа земельных участков, образующих единую технологическую систему	Массив севооборотный, сенокосно-пастбищный, орошаемый, поле севооборота
2.3. Природно-хозяйственный контур	Элементарная однородная часть земельных массивов с единой технологией использования	Рабочий земельный участок, луг и т. д.

**Организационно-хозяйственные мероприятия** на районном и локально-топологическом уровнях требуют наиболее тщательного научного и практического обоснования, особенно в пределах функционирования целостной системы предприятия с единым центром управления.

Мероприятия, имеющие межхозяйственное значение, включают организацию природоохранных территорий, защитного лесоразведения, регулирование водосборных бассейнов, мелиорации, противоэрозионные системы, охрану биоразнообразия флоры и фауны. В целом система ведения отдельного хозяйства должна быть составной частью единого территориального комплекса сохранения, конструирования и управления агроэкосистемами с устойчивым балансом энергии и вещества.



**Организационно-хозяйственные мероприятия** в отдельных хозяйствах наряду с вышеуказанными включают:

— агроландшафтно-экологический анализ территории и планирование устойчиво функционирующих агроэкосистем, включая ее эстетические свойства, в которых средостабилизирующие компоненты (лес, луг, кустарник, водные объекты, многолетние травы и др.) должны занимать около 50 %. Показатель доли средостабилизирующих компонентов агроэкосистем требует уточнения по объектам районирования на основе баланса энергии и вещества;

— выделение однородных групп земельных участков по механическому составу, рельефу, уровню плодородия и размещение сельскохозяйственных угодий (пашня, естественные и культурные сенокосы и пастбища, многолетние насаждения и другие) в соответствии с биологическими и экологическими требованиями растительных сообществ и их адаптивным потенциалом; определение видового состава культур и ценозов, обеспечивающих максимально возможную реализацию почвенно-климатических ресурсов и производство продукции в соответствии с планируемой специализацией предприятия. Оптимальный видовой состав культур и ценозов при их рациональном размещении на территории землепользования позволяет повысить продуктивность угодий на 15–20 % без дополнительных затрат антропогенной энергии;

— природоохранные, почвозащитные, мелиоративные мероприятия в составе единого территориального комплекса;

— инфраструктуру сельскохозяйственного предприятия, включая производственные и селитебные объекты, дорожную сеть и другие;

— планирование объемов производства продукции растениеводства и животноводства, ресурсов для создания материально-технической базы, их экономическую и агроэнергетическую эффективность.

**Агротехнические мероприятия** включают разработку научно обоснованных систем с целью повышения продуктивности ценозов, качества растительного сырья при эффективном использовании энергии и вещества:

— систему и параметры использования сельскохозяйственных угодий (пашня, сенокосы, пастбища и другие);

— систему видового и сортового состава культур и агрофитоценозов, параметры насыщения сельскохозяйственных угодий ведущими культурами, группами культур;

— систему севооборотов, сенокосо- и пастбищеоборотов;

— систему удобрения (органическая, минеральная, органо-минеральная), известкования (гипсования) в севооборотах, сенокосо- и пастбищеоборотах;

— систему обработки почвы (отвальная, безотвальная, поверхностная, комбинированная и другие);

— систему защиты агрофитоценозов от вредителей, болезней и сорняков;

— систему машин и орудий по механизации производственных процессов.

Разработка и реализация агротехнических мероприятий должны обеспечить формирование ресурсосберегающей стратегии развития, обоснование и создание материально-технической базы растениеводства и кормопроизводства. При обосновании агротехнических мероприятий основными энерго- и ресурсосберегающими направлениями являются:

— оптимальное размещение сельскохозяйственных угодий и производственных объектов, обеспечивающих максимальное использование почвенно-климатических ресурсов, снижение транспортных и инфраструктурных затрат;

— максимальное насыщение агроландшафтов многолетними травами длительного пользования с целью снижения затрат на мелиоративные и противозерозионные мероприятия, воспроизводство почвенного плодородия, затрат кормов на единицу животноводческой продукции и воспроизводство ценозов;

— максимально-возможное насыщение ценозов бобовыми видами, обеспечивающее снижение затрат на наиболее энергоемкие азотные удобрения, производство кормового протеина, воспроизводство запасов азота и гумуса в почве. По нашим расчетам (Шпаков А.С., 1995), затраты совокупной энергии на возделывание многолетних бобовых трав и их травосмесей со злаковыми в 2,3–2,5 раза меньше по сравнению со злаковыми видами и кукурузой;

— применение ресурсосберегающих систем обработки почвы в севооборотах. Длительными опытами ВНИИ кормов установлено, что замена в кормовых севооборотах традиционных приемов обработки почвы на сочетание отвальной, безотвальной и поверхностной с применением комбинированных агрегатов при подготовке почвы к посеву позволяет сократить затраты энергии на 25 %, топлива – на 28, труда – на 27 %. В специализированных животноводческих хозяйствах затраты на обработку почвы сокращаются вследствие насыщения сельскохозяйственных угодий многолетними травами длительного пользования.

В целом уровень продуктивности кормовых ценозов определяется видовым и сортовым составом культур, уровнем применения удобрений, мелиоративными мероприятиями по управлению режимом увлажнения и реакцией почвенного раствора, применением средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков. По обобщенным экспериментальным данным (Шпаков А.С., Воловик В.Т., 2012), на дерново-подзолистых почвах за счет естественного плодородия почв злаковые виды формируют не более 20–30 % сухого вещества, бобовые и травосмеси с их участием, обладающие азотфиксирующей способностью – 55–60 % (табл. 43).

Таблица 43. Параметры долевого участия факторов в формировании продуктивности культур (сухое вещество), %

Факторы	Многолетние травы		Однолетние травы		Кукуруза
	злаковые	бобовые и бобово-злаковые	злаковые	бобовые и бобово-злаковые	
Естественное плодородие	20	60	25	55	30
Минеральные удобрения	65	15	55	22	40
Мелиорация	3	7	5	5	7
Сорта, гибриды	7	10	9	12	15
Химические средства	3	5	3	4	5
Прочие факторы	2	3	3	2	3

На посевах злаковых видов основным фактором, обеспечивающим повышение продуктивности посевов (40–65 %), являются минеральные удобрения, в первую очередь азотные. На посевах бобовых и бобово-злаковых видов, которые размещаются на почвах более высокого плодородия, доля участия минеральных удобрений, преимущественно фосфорно-калийных, в общем сборе сухого вещества не превышает 15–20 %. Эти данные свидетельствуют о необходимости мер, обеспечивающих возрастание объемов применения минеральных удобрений в сельском хозяйстве страны и расширение посевов бобовых культур с целью сокращения затрат на их применение.

В настоящее время в стране применяется около 10 % удобрений от общего их производства, что недопустимо для современного сельского хозяйства. Оптимальное сочетание биологического и минерального азота является обязательным условием эффективного полевого кормопроизводства. Основными факторами, обеспечивающими увеличение доли биологического азота в общем его круговороте, являются бобовые многолетние культуры и органические удобрения. По научно обоснованным параметрам доля многолетних трав в структуре посевов кормовых культур может составлять в хозяйствах молочного направления не менее 60 %, мясного — 80 %, в том числе бобовых видов и травосмесей с их участием соответственно 40–45 и 55–60 %. В реутилизации азота и других питательных веществ существенная роль принадлежит органическим удобрениям. Однако в настоящее время в связи с сокращением поголовья животных и отсутствием средств внесения органических удобрений в стране не превышает 53–54 млн т, что примерно в 10 раз меньше нормативного.

Важная роль в реализации почвенно-климатического потенциала территорий принадлежит сортам и гибридам нового поколения, устойчивым к неблагоприятным факторам среды, включая почвенные условия (кислотность, уплотнение и др.). В современных условиях своевременная смена сорта позволяет увеличить сбор сухого вещества на 7–15 % в зависимости от видового состава растений, а также значительно повысить качество продукции.

Общим фоном для реализации потенциала вида, его сортовых особенностей является оптимизация почвенных условий посредством мелиоративных

мероприятий, а также защитные меры против вредителей, болезней и сорняков. Без применения этих мероприятий не реализуется в полном объёме даже естественное плодородие почв. При применении комплекса агротехнических мер непосредственное влияние на сбор сухого вещества мелиоративных и защитных мероприятий, прочих факторов (севооборот и др.) оценивается от 8 до 17 %.

**Технологические мероприятия** – совокупность взаимоувязанных механизированных процессов со строго регламентированными сроками и качеством работ, обеспечивающих максимально возможную продуктивность кормовых и зернофуражных культур требуемого качества. Включают место культуры в севообороте, сенокосо- и пастбищеобороте, обработку почвы, набор видов и сортов, подготовку семян к посеву, сроки, способы посева, нормы высева, дозы, сроки и способы внесения удобрений, средств защиты растений, уход за посевами, сроки и способы уборки растительного сырья и зернофуража.

В практике технологические мероприятия оформляются в виде строго регламентированных технологических карт, которые являются документом пошагового выполнения механизированных работ, обоснованием потребности в материально-технических и трудовых ресурсах. Технологические карты используются также для расчета энергетических затрат на возделывание как отдельных культур, так и в целом кормовых ценозов.

Важнейшим направлением ресурсосбережения при возделывании кормовых культур является применение технических средств нового поколения, характеризующихся высокой производительностью, совмещением и качественным выполнением технологических операций. По традиционной технологии только на предпосевной обработке почвы и посеве выполняются отдельно около десяти операций агрегатами с низкой производительностью, с несовершенными рабочими органами и высокой металлоемкостью, а низкий уровень обеспеченности уборочными агрегатами приводит к значительному снижению качественных показателей растительного сырья и кормов.

По данным ВНИИ кормов (Шпаков А.С., 1995), по продуктивности и затратам совокупной энергии на возделывание кормовые культуры различаются существенно (табл. 44).

Таблица 44. Продуктивность и агроэнергетическая эффективность возделывания основных кормовых культур

Основные группы культур, культуры	Выход с 1 га		Затраты совокупной энергии, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности (ОЭ/затраты Э)
	обменной энергии, ГДж	сырого протеина, кг		
Зерновые	32-38	336-378	22-26	1,4-1,5
Многолетние бобовые травы (клевер, люцерна)	56-73	1155-1176	11-15	4,8-5,3
Многолетние бобово-злаковые травосмеси	75-82	145-1149	13-19	4,3-5,7
Многолетние злаковые травы	84	1181-1229	29-33	2,6-2,9
Кукуруза	93	811	35	2,7
Кормовая свекла (корнеплоды)	122	778	46	2,7

Наименьшие затраты совокупной энергии при возделывании многолетних бобовых трав и травосмесей с их участием (11–19 Гдж/га); окупаемость затрат энергией биомассы – 4,3–5,7. На культурах, требующих применения азотных удобрений, затраты энергии возрастают до 29–46 Гдж/га, а коэффициент их окупаемости снижается до 2,6–2,9. Низкая агроэнергетическая эффективность отмечается при возделывании зерновых культур, где на кормовые цели используется только половина биомассы в виде зерна. Следовательно, разработка ресурсосберегающих технологий возделывания злаковых и других культур, требующих интенсивного применения удобрений, является важнейшим направлением исследований. Решение проблемы возможно на основе применения нового поколения видов и форм удобрений, средств защиты растений, способов их внесения, совмещения технологических операций.

**Качество производимого растительного сырья** в специализированных животноводческих хозяйствах является важнейшим фактором ресурсосбережения. В таблицах 45 приведены данные по примерному суточному надоеу молока в зависимости от концентрации обменной энергии (ОЭ) и сырого протеина в сухом веществе рациона и основных групп кормовых культур.

Таблица 45. Нормативная концентрация энергии и протеина в 1 кг сухого вещества рациона для производства молока жирностью 3,6–3,8 % для коров массой 600 кг (Григорьев Н. Г., Волков Н. П. и др., 1989)

					1		1
				%			
5	11-13	95	1,06	8,8	8,0	88	11,0
10	13-15	120	1,45	10,4	8,6	104	12,1
15	15-17	145	1,91	11,9	9,1	119	13,1
20	16-18	164	2,25	13,2	9,6	132	13,8
25	17-19	184	2,56	14,2	10,2	143	14,0
30	18-20	204	2,99	15,7	10,7	157	14,7
35	19-21	224	3,45	17,3	11,2	173	15,4
40	20-21	244	3,89	19,0	11,9	190	16,0
1-	11-13	104	1,15	9,6	8,7	96	11,0
2-	10-12	110	1,22		10,0	111	11,1
	8-10	65	0,53	5,9	8,0	59	7,4

Примечание: в 1 ЭКЕ 10 (десять) МДж ОЭ.

Данные таблицы 46 показывают (Шпаков А.С., 1995), что оптимальное энерго-протеиновое соотношение в растительном сырье отмечается в травянозерновом севообороте 5, где многолетние клеверозлаковые травосмеси занимают 67, а зерновые – 33 %. В этом севообороте выход условной продукции составляет 5680–5880 кг/га при невысоких затратах энергии на 1 ц (387 МДж).

При чередовании злаковых трав и клевера (севооборот 6) выход условной продукции может составить 5880 кг/га, а ее дальнейший рост будет лимитироваться недостаточной концентрацией энергии в сухом веществе.

В севооборотах 3 и 4 с возделыванием клеверозлаковых травосмесей, с зерновыми и пропашными культурами выход условной продукции может составить 6040–6640 кг/га, при весьма существенном дефиците протеина (131–192 кг/га) и значительных затратах энергии на 1 ц (426–442 МДж); наименее эффективны севообороты без многолетних трав, где затраты энергии на 1 ц продукции могут составить 533–598 МДж

Таким образом, качество растительного сырья для производства кормов является важнейшим направлением энерго- и ресурсосбережения. Следует также отметить, что потребность в концентрированных кормах, в том числе промышленного производства, находится в прямой зависимости от качества растительных объемистых кормов. Высококачественные объемистые корма существенно снижают потребность в комбикормах, на производство которых затрачивается значительное количество энергии.

Таблица 46. Условный выход животноводческой продукции в зависимости от структуры посевных площадей и уровня продуктивности севооборотов по сухому веществу

Севооборот, структура посева	Условный выход молока, кг/га		Обеспеченность сухого вещества протеином	Затраты энергии на 1 ц условной продукции, МДж
	по сухому веществу (СВ)	по протеину		
I. Пропашной (пропашные 100 %)	10280	5760	-536	533
II. Зернопропашной (зерновые 50%, пропашные 33 %, однолетние травы 17 %)	5480	4600	-100	598
III. Травяно-пропашной (многолетние бобово-злаковые травы 33 %, однолетние травы 18%, пропашные 50 %)	8160	6640	-192	426
IV. Зернотравяно-пропашной (зерновые 34 %, многолетние бобово-злаковые травосмеси 33 %, пропашные 23 %)	7120	6040	-131	442
V. Зернотравяной (зерновые 33%, многолетние бобово-злаковые травосмеси 67 %)	5680	5880	+26	387
VI. Травопольный (злаковые травы 70 %, бобовые 30 %)	5880	6720	+115	330

## 5.2. Производственный биоконверсионный блок

Фотосинтетическую энергию растительных сообществ необходимо в максимальной степени использовать для производства животноводческой продукции, воспроизводства энергетического и вещественного баланса почвенного покрова. Наибольшие затраты и потери энергии и вещества

Таблица 48. Потери сухого вещества в процессе заготовки и хранения кормов  
(Методические рекомендации по биоэнергетической оценке севооборотов и технологий  
выращивания кормовых культур, 1989)

Культура, фаза, влажность сырья	Вид корма	Потери сухого вещества в среднем, %	Коэффициенты био конверсии СВ( Кд)
1	2	3	4
Злаковые травы	Зеленый корм	2-3*	0,97-0,98
	Корма искусственной сушки	6-8	0,92-0,94
	Сено полевой сушки	30-35	0,65-0,70
	Сено,высушенное активным вентилярованием	20-25	0,75-0,80
	Сенаж	12-18	0,82-0,88
	Силос из провяленных трав	18-20	0,80-0,82
	Силос из провяленных трав с химическим консервированием	5-10	0,90-0,95
	Силос из свежескошенной массы	20-30	0,70-0,80
	Силос из свежескошенной массы с химическим консервированием	12-20	0,80-0,80
Бобовые травы	Зеленый корм	2-3*	0,97-0,98
	Корма искусственной сушки	9-10	0,90-0,91
	Сено полевой сушки	35-40	0,60-0,75
	Сено,высушенное активным вентилярованием(кроме клевера)	23-28	0,72-0,77
	Сенаж	16-20	0,80-0,84
	Силос из провяленной массы с химическим консервированием	10-12	0,88-0,90
Бобово-злаковые травы	Зеленый корм	2-3*	0,97-0,98
	Сено полевой сушки	32-37	0,63-0,68
	Сено,высушенное активным вентилярованием	20-26	0,74-0,80
	Сенаж	12-20	0,80-0,88
	Силос из провяленных трав	14-20	0,80-0,86
Кукуруза восковой спелости влажностью 60–70 %	Силос в траншеях,укрытых пленкой и землей	10-15	0,85-0,90
	Силос в траншеях,укрытых измельченной соломой	20-25	0,75-0,80
Кукуруза молочно- восковой спелости влажностью 70–75 %	Силос в траншеях,укрытых пленкой и землей	15-18	0,82-0,85
	Силос в траншеях,укрытых измельченной соломой	20-23	0,77-0,80
Кукуруза молочной спелости влажностью 78–81 %	Силос в траншеях,укрытых пленкой и землей	20-25	0,15-0,80
	Силос в траншеях,укрытых пленкой, с химическим консервированием	15-15	0,85-0,88

\*механические потери при уборке  
происходят при заготовке и хранении кормов для зимнего содержания  
животных; наименьшие – при использовании в кормлении зеленой рас-  
тительной массы, произведенной в севооборотах и на пастбищах. Низкие  
потери энергии обмечаются также при производстве товарной продукции  
растениеводства (зерно, картофель и другие).



Эффективность использования фотосинтетической энергии увеличивается при использовании побочной продукции растениеводства в кормлении животных (солома зернобобовых культур, семенных посевов многолетних трав и другие) и воспроизводстве энергетического и вещественного баланса почвы (солома и растительные остатки культур, органические удобрения и другие).

Основные потери органического вещества (энергии) происходят в процессе заготовки и хранения кормов для зимнего содержания животных (табл. 48).

Величина таких потерь определяется видом культуры, фазой их развития, применяемыми технологиями и может составлять от 6–8 до 35–40 %. На многолетних травах наибольшие потери сухого вещества наблюдаются при приготовлении сена (20–25 и 35–40 %); наименьшие – сенажа и силоса из провяленной массы с химическими консервантами (5–10 и 14–20 %).

Таблица 49. Сравнительная эффективность выращивания и приготовления кормов из растительного сырья многолетних трав и пропашных культур (среднее за 1988–1991 гг.)

	1			
	,	,		
			/	
Клевер луговой				
1.	72,0	67,32	7,74	8,70
2. /	72,0	37,32	14,21	4,74
3. - " -	60,5	66,34	16,02	4,08
4. - " -	49,9	49,40	15,87	3,11
Клевер в смеси с тимopheевкой				
1.	76,0	78,28	5,15	12,73
2. /	76,0	78,28	12,63	6,19
3. - " -	63,8	66,35	13,39	4,96
4. - " -	49,4	48,41	13,19	3,67
Смесь коостреца, овсяницы и тимopheевки				
1.	88,0	90,11	21,61	4,14
2. /	88,0	90,11	27,97	3,22
3. - " -	77,4	74,30	28,01	2,65
4. - " -	70,4	64,77	28,86	2,24
5. - " -	61,6	51,24	28,08	1,93
Кукуруза (раннеспелый гибрид)				
1.	98,0	90,55	25,36	3,57
2. /	98,0	90,55	31,18	2,90
3. - " -	78,4	73,70	33,60	2,19
Кормовая свекла (корнеплоды)				
1.	96,0	119,81	32,53	3,68
2. ,	89,3	111,45	45,71	2,44



При силосовании кукурузы потери минимальные при уборке посевов в фазе восковой спелости и хранении кормов в траншеях, укрытых пленкой и землей (10–15 %).

Расчеты, проведенные на основании данных, полученных в длительных опытах, типовых технологических карт (ВИК, 1983) и нормативных потерь сухого вещества при консервировании, показывают (табл. 49), что более высокой эффективностью отличаются технологии приготовления кормов из многолетних бобовых и бобово-злаковых трав. При использовании злаковых трав выход обменной энергии с готовым кормом (сенаж) увеличивается в 1,2–1,3 раза, затраты совокупной энергии в 1,7–2,1 раза, а коэффициент энергетической эффективности снижается с 4,1–5,0 до 2,7 единиц. На многолетних травах более эффективна технология сенажирования, при которой сохранность сухого вещества выше, чем при силосовании или приготовлении сена полевой сушки. Следует отметить, что затраты на указанные технологии примерно равны. При использовании для силосования кукурузного сырья с влажностью около 80 % выход обменной энергии может составлять до 78 ГДж/га, а коэффициент энергетической эффективности при затратах совокупной энергии 33,6 ГДж/га – 2,2 единицы.

Примерно такой же выход обменной энергии обеспечивают многолетние злаковые травы при приготовлении сенажа. При силосовании сырья из многолетних трав выход обменной энергии снижается на 10 % по сравнению с кукурузой. Однако по энергопротеиновому соотношению силос из многолетних трав значительно превосходит кукурузный, что дает основание предполагать более высокую его эффективность при кормлении животных.

Среди пропашных культур наиболее высокий выход сухого вещества и обменной энергии с готовым кормом обеспечивают посевы кормовой свеклы. Культура перспективна, как уже отмечалось, для крестьянских и фермерских хозяйств.

Научными учреждениями страны разработаны и рекомендованы производству перспективные технологии заготовки объемистых кормов, основные из которых представлены в таблице 50. Проблема повышения качества сена должна быть решена путем ускоренной полевой сушки (в 2–2,5 раза) на основе глубокого нарушения целостности стеблей и частичного расщепления волокон с последующей укладкой массы в прокосы; приготовлением прессованного сена, а также применением активного вентилирования при приемлемой цене на электроэнергию.

Перспективной является технология силосования слабопроявленных (30–40 % сухого вещества) бобовых и бобово-злаковых трав с использованием биологических и химических препаратов. Эта технология превосходит классическое сенажирование по надежности, сохранности питательных веществ (около 90 %), энергетической и протеиновой питательности корма. С увеличением производства консервантов приготовление слабопроявленного силоса будет возрастать.

Разработаны и применяются надежные, эффективные технологии приготовления энергонасыщенного силоса (9,5–10,5 МДж ОЭ в 1 кг СВ) из кукурузы, однолетних бобово-злаковых смесей, сорго при высокой сохранности питательных веществ (86–92 %).

Таблица 50. Основные технологии заготовки объемистых кормов

	1	
		%
	0,45-0,50	10-11
*	0,48-0,52	11-12
	0,70-0,72	16
*	0,80-0,83	18
55-60% ( )	0,35-0,40	5,9-6,0
65-70 % – ( , , ) *	0,40-0,42	6,2-6,5
10 *	0,24	2,28
-	0,21	2,05
*	0,96-1,05	24

\* Технологии требуют ускоренного освоения.

Разработана и рекомендована производству новая технология приготовления травяной муки из листовой массы бобовых трав, которая позволяет снизить в 2,5 раза расход топлива на 1 т протеина, увеличить энергетическую питательность с 8,6–8,8 до 10,9-11,0 МДж ОЭ, содержание протеина с 13 до 28%, а клетчатки снизить с 23–26 до 12–18%.

Основная проблема увеличения производства кормов и повышения их качества на основе перспективных технологий – оснащение отрасли новым поколением технических средств. Для этого необходимо усовершенствовать систему машин, разработать концепцию технического обеспечения на основе научно обоснованных параметров восстановления региональных систем кормопроизводства, освоение прогрессивных технологий заготовки и хранения кормов, организационных форм сельскохозяйственных предприятий. Это позволит осуществлять целенаправленную лизинговую и кредитную политику федеральным и региональным органам на приобретение и производство машин, а также финансирование научно-исследовательских работ по созданию нового поколения технических средств.

Таким образом, основными направлениями ресурсо- и энергосбережения в биоконверсионном блоке животноводческих предприятий являются:

- максимально-возможное использование зеленой растительной массы в кормлении животных в летний период, включая наименее энергозатратную пастбищную. Это направление перспективно в мелких и средних предприятиях с ограниченными материально-техническими ресурсами;
- применение ресурсосберегающих технологий заготовки и хранения кормов на зимний период, обеспечивающих высокую сохранность энергии и вещества от исходной биомассы на основе нового поколения технических средств, консервантов, хранилищ и укрывных материалов;

— максимально-возможное использование побочной продукции растениеводства в кормлении животных и воспроизводстве почвенного плодородия (солома бобовых и злаковых, растительные остатки, сидераты, органические удобрения);

— размещение сельскохозяйственных угодий (прифермские и полевые севообороты, культурные сенокосы и пастбища), обеспечивающее снижение энергетических затрат на транспортировку растительного сырья, зерна, кормов к местам их хранения; органических удобрений – к местам применения;

— высокое качество объемистых кормов, позволяющее существенно сократить потребность в концентрированных кормах промышленного производства, кормовых добавках; повысить коэффициент их биоконверсии в животноводческую продукцию. Так, по данным ВНИИ кормов, при концентрации в 1 кг СВ 8 МДж ОЭ и достаточном содержании протеина на синтез молока используется 54 %, а при концентрации 11 МДж – 68 % обменной энергии рациона. При этом потребление сухого вещества возрастает примерно с 2,5 до 3,2 кг на 1 ц массы животного (Григорьев Н.Г., Волков Н.П. и др., 1989).

Основная цель производственного биоконверсионного блока – эффективное использование энергии растительной биомассы на производство единицы энергии животноводческой продукции.

### 5.3. Блок энергетического баланса почвы

В устойчивом и продуктивном функционировании практической агро-экосистемы важнейшая роль принадлежит управлению энергетическим и вещественным балансом почвенного покрова. Органическое вещество почвы включает инертный гумус и активную часть – лабильные гуминовые и фульвокислоты, негумифицированные органические вещества, определяющую интенсивность круговорота потоков энергии и вещества в системе «почва-растение». При поступлении в почву свежего органического вещества примерно 80–90 % его массы минерализуется в течение 2-х лет; 10–20 % подвергаются гумификации. Гумус является инертным веществом, однако и его соединения также минерализуются в среднем 1,5–2,0 % от исходных его запасов (Туев Н.А., 1989). Активная часть органического вещества почвы является источником легкодоступных элементов питания и энергии для почвенной флоры и фауны, высших растений, оказывающая положительное влияние на водный, воздушный, окислительно-восстановительный режимы, буферность почвы, определяющие уровень фотосинтетической активности растительного покрова. По данным ряда авторов (Мишина Н.Ю., Фокин А.Д., 1984; Фокин А.Д., 1989; Ганжара Н.Ф., 1989), увеличение количества гумуса в почве оказывает меньшее положительное влияние на эффективное плодородие, чем аналогичное увеличение количества растительных остатков.

По обобщенным данным (Михайличенко Б.П., Новоселов Ю.К. и другие, 1999), наиболее интенсивная минерализация органического вещества

почвы отмечается под пропашными культурами, наименее – под многолетними травами, особенно длительных сроков пользования. По данным ВНИИ кормов (Кутузова А.А., Трофимова Л.С., Проворная Е.Е., 2015) на долголетних травостоях поступление валовой энергии в почву значительно превышает ее потери с минерализацией. Так, в зависимости от системы ведения угодий (органическая, минеральная) в течение 5 лет накопление валовой энергии в почве может возрастать на злаковых травостоях на 36–78, а на бобово-злаковых – на 12–16 %.

В специализированных животноводческих хозяйствах, где в структуре сельскохозяйственных угодий значительный удельный вес занимает многолетняя травянистая растительность и производятся большие объемы органических удобрений, оптимизация потоков энергии в почвенном покрове не является сложной задачей. В большей степени проблема заключается в оптимизации и управлении балансом минеральных элементов питания и реакцией почвенного раствора, требующая значительных антропогенных затрат.

Высокие затраты энергии требуются также на применение органических удобрений. Органические удобрения являются важнейшим источником энергии, минеральных веществ, обладают положительным действием на свойства почвы. Вместе с тем их утилизация является обязательным требованием экологической безопасности агроэкосистем. С органическими удобрениями в почву может поступать до 2/3 минеральных элементов (Гольштай Н., Боинчан Б., 2000) и до 1/3 валовой энергии, потребляемых животными с кормами. В среднем за год на ферме среднего размера (около 1000 условных голов) производство подстилочного навоза может составить примерно 8 тыс. тонн. В целом для подготовки, погрузки, транспортировки до 3 км и разбрасывании таких удобрений потребуется примерно 896 ГДж энергии, что эквивалентно энергии 16,5 т автомобильного бензина. На крупных комплексах затраты энергии на утилизацию навоза возрастают в связи с производством жидкого навоза и дополнительными затратами на технологические линии по разделению фракции или его внесения на поля по трубопроводным системам.

Наименее затратными мероприятиями по воспроизводству энергетического и вещественного баланса почвы наряду с растительными и кормовыми остатками растений является солома злаковых и других видов, сидераты бобовых и других культур.

Таким образом, основные направления ресурсосбережения и оптимизации потоков энергии и вещества в почве специализированных животноводческих предприятиях являются:

- максимальное насыщение сельскохозяйственных угодий многолетней травянистой растительностью, включая сенокосы и пастбища длительного пользования;

- максимально возможное насыщение посевных площадей (севообороты, культурные сенокосы и пастбища) видами семейства бобовых (мотыльковых) с целью снижения потребности в азотных минеральных удобрениях, оптимизации процессов гумусообразования вследствие более

узкого соотношения азота и углерода (N : C) в растительных и корневых остатках, более высокого качества органических удобрений;

— дифференцированная система применения удобрений, позволяющая увеличить долю биологических ресурсов в повышении почвенного плодородия и сокращения затрат на их транспортировку. Целесообразно в прифермских севооборотах применять преимущественно органическую, на сенокосах и пастбищах – минеральную, в полевых отдаленных севооборотах – сидеральную в сочетании с применением минеральных удобрений и соломы;

— применение новых форм и способов применения минеральных удобрений с целью снижения объемов их применения, непроизводительных потерь, повышения коэффициентов их использования растениями в сочетании с бактериальными и биологически активными препаратами;

— применение инновационных технологий подготовки, хранения и использования органических удобрений.

**Таким образом, разработка и реализация комплекса мероприятий по ресурсо- и энергосбережению в специализированных животноводческих предприятиях позволит снизить затраты на производство продукции, повысить ее конкурентоспособность на продовольственном рынке, обеспечить устойчивость функционирования и экологическую безопасность агроэкосистем.**

## Заклучение

Современные проблемы производства продовольствия определяются экспоненциальным ростом затрат антропогенной энергии на каждую дополнительную единицу продукции или их неэффективным использованием. Второй важнейшей проблемой является недостаточная оценка территориальных почвенно-климатических ресурсов страны в реализации продуктивного и адаптивного потенциала отдельных видов растительных сообществ и отраслей. В последние годы эта работа, являющаяся основной для научно обоснованной специализации и концентрации отраслей, по существу, не проводится. Для оценки эффективности производства наиболее объективным является энергетический анализ потоков энергии и вещества в предприятиях и территориальных комплексах, независимый от колебания цен и курса валют, инфляции и деформации ценовых межотраслевых пропорций. Особенно важен такой анализ в предприятиях по производству животноводческой продукции, где технологическая схема более сложная и сопровождается значительными непроизводительными потерями энергии и вещества в биоконверсионных процессах. В специализированных животноводческих хозяйствах обязательным условием энергетического анализа должен являться учет качественных показателей кормов по содержанию энергии, протеина, незаменимых аминокислот, макро- и микроэлементов, поскольку качество кормов на 35–40 % определяет продуктивность животных, а следовательно, и эффективность биоконверсии.

Применительно к специализированным животноводческим хозяйствам необходимо дальнейшее совершенствование методологических основ энергетического анализа, включая в единую систему растениеводство и животноводство – агрозооэнергетику. Необходима энергетическая оценка эффективности биоконверсии кормов животными в зависимости от их качества, типов кормления и рационов, факторов, влияющих на эти процессы (содержание, уход, кормление, доение, ветеринарное обслуживание и др.), которые включают значительную часть энергетических затрат на производство мясо-молочной продукции.

Следует также выделить энергетический анализ эффективности производства продовольствия в отдельное научное направление, как наиболее наукоемкое и перспективное. Анализ потоков энергии и вещества может широко использоваться в экологии, почвоведении, селекции и физиологии растений и животных, природопользовании, конструировании устойчивых агроэкосистем. Это позволит учитывать весь комплекс энергетических и информационных потоков, в том числе тех, которые напрямую не входят в систему производства продовольствия, но без которых нормальное функционирование продовольственного цикла и жизнеобеспечение населения сельских территорий невозможно.

Энергетический анализ сельскохозяйственного производства позволит разрабатывать наиболее объективные направления ресурсосбережения, рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Особое значение приобретает агроэнергетический анализ в условиях развития информационных систем с использованием дистанционного зондирования территорий, разработки и использования цифровых технологий управления агроэкосистемами. Для повышения эффективности научных исследований в области агроэнергетического анализа необходимо совершенствовать методы управления продукционными процессами, использование энергии и вещества в биоконверсионных циклах. Важнейшей задачей является также создание современной материально-технической и приборной базы исследований, подготовка специалистов, разработка нормативной базы данных по накоплению и эффективному использованию энергии и вещества в агроэкосистемах. Это позволит разрабатывать объективные математические модели прогнозирования и оптимизации управления потоками энергии и вещества в антропогенных агроэкосистемах.

Необходимо также усовершенствовать методологию научных исследований. В современных условиях весьма актуальным является дифференцированный подход к научному обоснованию систем кормопроизводства в зависимости от почвенно-климатических условий, специализации и уровня ресурсного обеспечения на основе имитационного моделирования, закладки и проведения сети региональных длительных комплексных опытов по единой методике и централизованном управлении головными учреждениями научных центров.



## Список использованной литературы

1. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Изд-во АПСССР, 1960. – 556 с.
2. Базаров Е.И., Широков Ю.А., Агрозооэнергетика. – М.: Агропромиздат, 1987. – 156 с.
3. Булаткин Г.А. Анализ потоков энергии в агроэкосистемах // Вестник Российской академии наук. – 2012 – Т. 82, №8 – С. 1–9.
4. Вильямс В.Р. Травопольная система земледелия. Избранное. Соч. Т. 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 802 с.
5. Волгин В.И., Романенко Л.В., Прохоренко П. Н. и др. Полноценное кормление молочного скота – основа реализации генетического потенциала продуктивности. – М.: РАН, 2018. – 260 с.
6. Воробьев С.В. Основы полевых севооборотов (применительно к Нечерноземной зоне). – М.: Колос, 1962. – 197 с.
7. Ганжара Н.Ф. Гумус, свойства почв и урожай // Земледелие. – 1989. – № 12. – С. 23–27.
8. Гольдштайн В., Боинчан Б. Ведение хозяйства на экологической основе в лесостепной и степной зонах Молдовы, Украины и России. – М.: Изд-во «Эконива», 2000. – 272 с.
9. ГОСТ ISO9831-2017 Корма для животных, продукции животноводства, экскременты или моча. Определение валовой энергии. Метод сжигания в калориметрической бомбе: Межгосударственный стандарт корма для животных, продукция животноводства, экскременты или моча. Определение валовой энергии, метод сжигания в калориметрической бомбе. Дата введения 2019-01-01.
10. Григорьев Н.Г., Волков Н.П., Воробьев Е.С. и др. Биологическая полноценность кормов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 287 с.
11. Григорьев Н.Г., Гаганов А.П. Методика прогнозной оценки продуктивного действия кормов по выходу животноводческой продукции. Программа и методика проведения научных исследований по полевому кормопроизводству. – М.: РАСХН, ВНИИ кормов, 2001. – 43 с.
12. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологическая функция почвы: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 135 с.
13. Жученко А.А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии. Теория и практика. – М.: ООО «Издательство Агрорус», 2009–2011. – Т. 1. – 816 с.
14. Клапп Э. Сенокосы и пастбища. Пер с нем. Н.С. Архангельского. – М.: Изд-во с.-х. литературы, 1961. – 612 с.
15. Косолапов В.М., Чуйков В.А. и др. Физико-химические методы анализа кормов. – М.: Изд. Дом «Типография Россельхозакадемии», 2014. – 344 с.
16. Курганова Е.В. Плодородие и продуктивность почв Московской области. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. – 320 с.
17. Кутузова А. А. Лекции послевузовского образования. – М., 2013. – 115 с.
18. Кутузова А.А., Трофимова Л.С., Проворная Е.Е. Методика оценки потоков энергии в луговых агроэкосистемах. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Угрешская типография, 2015. – 32 с.
19. Ландшафтное земледелие. Часть 2. Методические рекомендации по разработке ландшафтных систем земледелия в многоукладном сельском хозяйстве. – Курс., 1993. – 54 с.
20. Лукашик Н.А., Тащилин В.А. Зоотехнический анализ кормов. – М., 1965. – 225 с.

21. Методика определения экологической емкости и биоэнергетического потенциала территории агроландшафта. – Курск, РАСХН, ВНИИЗиЭ. – 2000. – 32 с.
22. Методика ресурсно-экологической оценки эффективности земледелия на биоэнергетической основе. – Курск, РАСХН, ВНИИЗиЭ. – 1999. – 48 с.
23. Методические рекомендации по биоэнергетической оценке севооборотов и технологий выращивания кормовых культур. – М.: ВАСХНИЛ. – 1989. – 71 с.
24. Методические рекомендации по проектированию адаптивного производства сельскохозяйственной продукции на базе высоких компьютерных технологий. – М.: РАСХН, ВНИИМС. – 1999. – 114 с.
25. Методические указания по применению оптимизационных методов математического моделирования для перспективного планирования управления кормопроизводством в сельскохозяйственных предприятиях. – М.: ВИК.-2012. – 68 с.
26. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. – М.: РАСХН. – 1997. – 156 с.
27. Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства. – М.: РАСХН, ВНИИ кормов. – 1995. – 173 с.
28. Методическое руководство по организации кормопроизводства в специализированных животноводческих хозяйствах по производству молока и мяса в Нечерноземной зоне России / В. М. Косолапов, А.С. Шпаков Н.А. Ларетин и др. – М.: Типография РАСХН, 2014. – 57 с.
29. Михайличенко Б. П., Новоселов Ю.К., Шпаков А.С., Киреев В. Н., Харьков Г. Д., Макарова Т.И., Рудоман В.В., Михайличенко М.В. Гришин И.А., Бражникова Т.С., Попков В.В., Яртиева Ж.А., Прологова Т.В., Ян В.П., Гридасов И.И., Маевский Э.П., Русинов Н.И., Монашев В.Л. Концепция сохранения и повышения плодородия почвы на основе биологизации полевого кормопроизводства по природно-экономическим районам России. – М.: Информагротех, 1999. – 108 с.
30. Мишина Н.Ю., Фокин А.Д. Влияние растительных остатков и гумусовых веществ на эффективное плодородие дерново-подзолистых почв // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 1984. – № 3. – С. 85–91.
31. Ничипорович А.А., Фотосинтез и теория получения высоких урожаев // Тимирязевские чтения. – М.: изд-во АН СССР, 1956. – С. 1–93.
32. Образцов А.С. Потенциальная продуктивность культурных растений. – М.: ФГНУ «Росинформагротек», 2001. – 504 с.
33. Одум Ю. Основы экологии. Пер с англ. / Под ред. Н.П. Наумова. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
34. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. – Л.: Изд-во «Наука», 1971. – 354 с.
35. Свентицкий И.И., Свентицкая Д.В. Биофотометрия и анализ потоков энергии в растениеводстве: обзорная информация / ВНИИТЭИСХ. – М., 1985. – 54 с.
36. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии. Нечерноземная зона Европейской части РСФСР. – Л.: Гидромет. – 1986. – 526 с.
37. Типовые технологические карты производства кормов в Нечерноземном районе Нечерноземной зоны РСФСР на 1979–1985 гг. / ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса. – М., 1979. – 64 с.
38. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – М.: Гидрометеиздат, 1977. – 197 с.
39. Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
40. Фокин А.Д. Органическая часть почвы // Почвоведение. – 1989. – С. 109.



41. *Шильников И.А.* и др. Потери кальция и магния из пахотных почв // Химия в сельском хозяйстве. – 1977. – № 6. – С. 23–38.
42. *Шпаков А. С.* Научное обоснование создания интенсивных кормовых севооборотов на основе комплексной оценки культур в Центральном экономическом районе: диссертация на соискание ученой степени доктора с.-х. наук (06.01.01). – М., 1995. – 468 с.
43. *Шпаков А. С., Воловик В.Т.* Основные факторы продуктивности кормовых культур // Кормопроизводство. – 2012. – № 6. – С. 17–19.
44. *Шпаков А.С.* Проблемы научного обеспечения и организации адаптивного кормопроизводства в Центральном экономическом районе // Кормопроизводство. – 2005. – № 12. – С. 2–6.
45. *Шумилин И.С., Державин Г.П., Артютин А.М. и др.* Состав и питательность кормов (союзные республики, экономические районы РСФСР): справочник / Под ред. И.С. Шумилина. – М.: Агропромиздат, 1980. – 303 с.

## Содержание

Введение.....	3
1. Основные требования и критерии конструирования и оценки агроландшафтных систем и агроландшафтов .....	5
2. Специализация и концентрация молочно-мясного животноводства и их роль в устойчивом функционировании агроэкосистем.....	10
3. Основные принципы организации систем кормопроизводства в специализированных животноводческих хозяйствах.....	14
4. Методические основы анализа потоков энергии и вещества.....	22
4.1. Общая схема исследования и анализа.....	22
4.2. Основные показатели эффективности систем кормопроизводства.....	25
4.3. Определение энергии органического вещества.....	27
4.3.1. Методика определения энергии органического вещества колориметром.....	28
4.3.2. Определение энергии органического вещества по химическому составу.....	34
4.4. Методика определения затрат техногенной (антропогенной) энергии.....	36
4.5. Объекты исследований .....	42
4.6. Методика определения параметров продукционного блока.....	43
4.7. Методика определения параметров биоконверсионного блока.....	50
4.8. Методика определения параметров энергетического баланса почвы.....	65
4.9. Основные параметры эффективности полевого агрофитоценоза.....	72
5. Основные направления повышения энергетической эффективности систем кормопроизводства в специализированных животноводческих хозяйствах.....	74
5.1. Продукционный блок.....	74
5.2. Производственный биоконверсионный блок.....	82
5.3. Блок энергетического баланса почвы.....	87
Заключение.....	89
Список использованной литературы.....	91



**АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ  
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ**

**А.С. Шпаков, Т.В. Прологова, В.Т. Воловик**

Формат 70x100 1/16

Гарнитура Times

Подписано в печать 22.10.2021

Усл.-п. л. 6. Уч.-изд. л. 5,34

Тираж 300 экз.

Верстка и корректура ООО «ВИН»

Издатель - Российская академия наук

Публикуется в авторской редакции

Отпечатано в экспериментальной цифровой типографии РАН

Издается по решению Научно-издательского совета  
Российской академии наук (НИСО РАН) от 12.02.2021 г.  
Распространяется бесплатно