

На правах рукописи

Фузелла Татьяна Шалвовна

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ
ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОПТИМИЗАЦИИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ
(на примере СПК «Нелюбино»)**

25.00.36 – «Геоэкология»

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук**

Томск 2009

Работа выполнена в лаборатории самоорганизации геосистем
Института мониторинга климатических и экологических систем
СО РАН (г. Томск)

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор
Поздняков Александр Васильевич

Официальные оппоненты: доктор географических наук, доцент
Севастьянов Владимир Вениаминович
кандидат географических наук, доцент
Соболева Надежда Петровна

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Красноярский
государственный аграрный университет»

Защита состоится 28 января 2010 г. в 14.30 часов на
заседании диссертационного совета Д 212.267.19 при ГОУ ВПО
«Томский государственный университет» по адресу: 634050, г.
Томск, пр. Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке
Томского государственного университета по адресу г. Томск, пр.
Ленина, 34а

Автореферат разослан «25» декабря 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат геолого-
минералогических наук

Н.И. Савина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одной из важнейших проблем геоэкологии является разработка научных основ рационального использования земельных и энергетических ресурсов, а также оценка состояния управления природно-техническими системами, в том числе агроэкосистемами (АГЭС). С данных позиций представляется особенно актуальным изучение природно-энергетических обменных процессов при формировании экологически устойчивых АГЭС в рамках отдельного региона (хозяйства). Необходимость перехода к энергосбережению в агропромышленном комплексе (АПК) обусловлена экспоненциальным ростом затрат невозполнимой энергии на каждую дополнительную единицу продукции, все возрастающими масштабами разрушения и загрязнения окружающей среды, высокой зависимостью вариабельности величины и качества урожая от «капризов» погоды. За последние сто лет валовой мировой продукт возрос в 500 раз – с 60 до 30000 млрд дол/год, увеличилась в 14 раз энергетическая мощность техносферы (с 10^{12} Вт до $14 \cdot 10^{12}$ Вт). В развитых странах расходы энергии на одного человека в сутки достигают $1,5 \cdot 10^9$ Дж, а суммарное энергопотребление на земном шаре превысило 380 млрд т (более 10^{22} Дж).

В условиях нарастающего дефицита энергетических ресурсов крайне важно ввести в экономическую оценку экологическую составляющую, смешанные эколого-экономические показатели, кроме денежного, привести еще и к энергетическому эквиваленту, так как только в единицах энергии можно сопоставить ценность природных и экономических товаров и услуг [Одум, 1996].

Денежные оценки не позволяют сопоставить стоимость труда и его выражение в виде заработка. Более целесообразно применить универсальную физическую единицу, чей обменный курс является постоянным, твердым и понятным. Многие исследователи сходятся во мнении, что такой является энергетическая единица. «Энергия является единственной объективной и всеобщей мерой стоимости любого вида произведенной продукции не только человеком, но и природой (того или иного вида природных ресурсов). Эта мера не зависит ни от спроса и предложения, ни от цены. ... Энергетическая мера стоимости - это наиболее полная и точная, не зависящая от времени и конъюнктуры рынка, количественная оценка стоимости производимой продукции. Как мера стоимости, энергия удобна и

тем, что она бесценна, так как без нее невозможно не только существование всего живого, но и формирование и развитие косных систем» [Поздняков, 1998].

Энергетический подход позволяет выявить и изучить структурные и функциональные зависимости между компонентами систем, в частности сельскохозяйственных, а также исследовать в динамике влияние различных энергетических источников на поведение агроэкосистем [Денисенко, 2000]. Без использования энергетического анализа невозможно эффективное управление производством.

Гипотеза и постановка задач исследования.

Существующая методика определения энергетических затрат в сельскохозяйственных производственных процессах предполагает производить расчет на основании нормативных затрат ресурсов. Предлагаемый нами методический подход направлен на то, чтобы определять энергетические потоки на основании данных о реальных, сложившихся в конкретном году затратах ресурсов в производстве продукции.

В отличие от оценки природно-ресурсного потенциала [Осипов и др., 1997], которая определяется суммой покомпонентных оценок и сравнивается с эталоном территории, энергетический подход обеспечивает сопоставимость оценок природно-ресурсных возможностей систем. В данном диссертационном исследовании показано на конкретном примере, с какой энергетической эффективностью могла бы работать агроэкосистема, если бы она использовала не только традиционные источники энергии, но и энергию, накапливаемую в процессе производства в отходах.

Разработанность проблемы. В основу методологии исследования положены идеи выдающегося американского геоэколога Г. Одума, которые изложены им в широко известных фундаментальных научных произведениях: «Энергетический базис человека и природы» [1978] и «Бухгалтерия окружающей среды, эмергия и принятие решений» [1996]. Его идеи положили начало применению энергетического анализа функционирования геосистем как в зарубежных странах, так и в нашей стране. Наибольшую методологическую значимость из отечественных имеют исследования, проводимые А.С. Миндриным, Е.А. Денисенко, Г.А. Булаткиным и др. А.С. Миндрин в

монографическом произведении «Энергоэкономическая оценка сельскохозяйственной продукции» [1997] привел расчеты энергетических эквивалентов энергоносителей (ископаемых топлив) и используемых в АПК исходных материалов, дал энергетическую характеристику эффективности производства сельскохозяйственной продукции, а также определил количество химической энергии, необходимой для восстановления природных объектов (на примере почвенного плодородия). О.В. Фельдман, Е.А. Денисенко и Д.О. Логофет провели сравнительный анализ эффективности использования возобновляемой и невозобновляемой энергии в современных и доиндустриальных хозяйствах [Энергетический подход при оценке эффективности использования ресурсов, 1998]. В монографии «Эколого-энергетические основы оптимизации продуктивности агроэкосистем» Г.А. Булаткин [2008], на основе эколого-энергетической оценки, выявил пути решения проблемы восстановления плодородия почв и повышения продуктивности агроэкосистем, приближающиеся к оптимальным, которые приведут к экономии энергетических ресурсов.

Постановка задач нашего исследования, в соответствии с разрабатываемой в лаборатории самоорганизации геосистем ИМКЭС СО РАН методологией энергетического анализа эффективности функционирования геосистем, предполагает рассматривать их (геосистемы) как операционально замкнутые системы, в которых учитываются затраты энергии в сравнении с получаемыми на выходе потоками энергии [Поздняков, 1998; Поздняков, Шуркина, 2008]. В настоящее время концепция энергетического анализа переходит в стадию поиска путей практической реализации ее основных принципов.

Целью исследования является оценка эффективности функционирования и оптимизация использования ресурсов в агроэкосистеме на основе балансового подхода, с учетом местных природных условий и ресурсов, на примере действующего хозяйства – сельскохозяйственного производственного комплекса (СПК) «Нелюбино» Томской области. Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- определить основные источники энергии в функционировании агроэкосистем;

- определить и оценить энергетическую эффективность функционирования агроэкосистемы при различной энергетической нагрузке;

- разработать и описать алгоритм сбалансированной модели АГЭС, основанной на потоках вещества, энергии и информации, на примере конкретного объекта исследования;

- выявить и показать возможности энергетического анализа для оптимизации потоков вещества и энергии в АГЭС.

Объект исследования. В качестве объекта исследования выступает СПК «Нелюбино», расположенное на территории Томского района Томской области.

Информационную базу работы составили научно-техническая документация и документы бухгалтерского учёта хозяйства СПК «Нелюбино», статистические материалы, справочные и картографические материалы. На основе полученных данных были рассчитаны энергетические потоки природной, антропогенной и техногенной энергии для изучаемого хозяйства.

В качестве основных методов исследования использовались аналитический, сравнительный, географический и математический методы. Полученный материал обработан с применением компьютерных программ: MS Excel, Statistica 6 for Windows Stat.Soft Inc. 2006; построены графики, схемы, диаграммы.

Научная новизна. Разработана новая модель оптимизации функционирования сбалансированной агроэкосистемы на примере СПК «Нелюбино», основанная на потоках вещества, энергии и информации, которая может быть использована как модель для проведения количественного и качественного анализа различных АГЭС. Автором разработана программа «Agronom 1.0» [соавтор Е.Н. Тимошок], адаптированная под природные условия Томской области, которая позволяет ускорить анализ, рассчитать большое количество вариантов функционирования и выбрать наиболее оптимальный, что важно в научном и практическом планах.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Основным источником энергии в функционировании агроэкосистем и в производстве продукции является природная рента, создаваемая солнечной энергией и ее производными: энергией атмосферных осадков и потенциальной энергией, запасенной в почвах.

- Аграрно-экологическая геосистема функционирует на основе вещественно-энергетических и информационных обратных связей между основными элементами, что позволяет ее рассматривать как замкнутую структуру функциональных отношений между выходными потоками энергии и входными ее характеристиками.

- Потенциальные возможности повышения эколого-энергетической эффективности функционирования АГЭС связаны с уменьшением потребностей в энергии за счёт использования отходов для производства биогаза и органических удобрений.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Энергетическая концепция позволяет существенно дополнить методику анализа современных экологических проблем. Результаты исследования могут быть использованы при разработке научных концепций, подготовке планов, программ по рациональному природопользованию в агропромышленном комплексе, а также в образовательном процессе в вузах, ведущих подготовку кадров по специальностям геоэкология, экология, агроэкология и др.

Апробация работы. Научные результаты, методические положения и выводы диссертации использованы при разработке следующих проектов по плановой тематике Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН:

- Проект № 24.1.7 «Закономерности и особенности самоорганизации геосистем и социально-экономических систем в процессе их взаимодействия»;

- Проект № 63.1.3 «Трансформация энергетических характеристик геосистем в условиях глобальных климатических изменений».

По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе две из них в журналах, рекомендованных ВАК Минобразования РФ. Основные положения диссертации докладывались на международных, всероссийских и региональных научно-практических конференциях и семинарах: Российско-Французском Форуме «Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте» [Томск, 2006], Всероссийском научном семинаре «Самоорганизация социальных систем» [Новосибирск, 2006], Съезде экологов нефтяных регионов [Ханты-Мансийск, 2007], Всероссийской научно-технической

конференции «Энергетика: Экология, надёжность, безопасность» [Томск, 2008, 2009], Международной научно-практической конференции «Аграрная наука сельскому хозяйству» [Барнаул, 2009], Всероссийской научной конференции «Теоретические и прикладные вопросы современной географии» [Томск, 2009].

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 140 наименований и приложения. Работа изложена на 163 страницах, включая 25 рисунков и 21 таблицу. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю д.г.н., профессору А.В. Позднякову, руководству СПК «Нелюбино» за согласие предоставить материалы для проведения нашего научного исследования.

Автор считает приятным долгом отметить творческую атмосферу общения с коллегами по работе, полезность дискуссий, высказанных замечаний и пожеланий в ходе работы. Искреннюю благодарность автор выражает всем, кто взял на себя нелёгкий труд по ознакомлению с работой, за конструктивные замечания и помощь в оформлении работы.

В первой главе диссертационного исследования - **«Энергетический подход как метод исследования агроэкосистем»** автором обобщены и систематизированы современные представления об энергетическом анализе; проанализированы исторические предпосылки появления энергетической оценки. Приведены основные понятия и определения, используемые в работе, и рассмотрены принципы организации агроэкосистем.

Глава вторая, **«Идержки и перспективы использования энергии»**, посвящена вопросам энергопотребления, анализу его современного состояния; рассмотрены проблемы интенсификации сельхозпроизводства на рубеже XX-XXI вв., описаны источники возобновляемых ресурсов для Томской области. Установлено, что потенциал природных возобновляемых энергетических ресурсов Томской области, и территории хозяйства «Нелюбино» в частности, позволяет использовать возобновляемые источники энергии в децентрализованных системах электроснабжения с применением энергоустановок малой мощности.

Третья глава, **«Анализ функционирования агроэкосистемы «Нелюбино»**, посвящена описанию района

исследования и построению структурной потоковой модели АГЭС на примере сельхозпредприятия Томской области, с учётом экологических факторов; представлены результаты произведённого эколого-энергетического анализа. Для АГЭС «Нелюбино» описаны рассчитанные автором циркулирующие потоки энергии в 1991, 1999 и 2004 гг.

В четвертой главе, «Сбалансированная модель агроэкосистемы «Нелюбино», предложена балансовая модель агроэкосистемы, учитывающая функционирование потоков вещества и энергии. Она позволяет вычислить наиболее оптимальное использование побочного продукта животноводства и растениеводства в качестве сырья для получения биогаза, а также продукта, оставшегося от переработки биогаза - в качестве высококонцентрированного органического удобрения. Расчет оптимальных вариантов функционирования агроэкосистемы был сделан на основе авторской программы «Agronom 1.0», составленной на основе разработанного алгоритма балансовой модели. Проведен анализ экономичности применения дополнительных источников энергии с целью повышения эффективности функционирования системы.

В заключении в краткой форме изложены основные выводы и подведены итоги диссертационного исследования.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Основным источником энергии в функционировании агроэкосистем и в производстве продукции является природная рента, создаваемая солнечной энергией и ее производными: энергией атмосферных осадков и потенциальной энергией, запасенной в почвах.

Существование агроэкосистем основано на постоянном притоке вещества и энергии извне и её трансформации внутри системы, где происходит изменение текущего энергетического состояния последней за счет дополнительной энергии, поступающей в систему в той или иной форме. Более четко понять отличия в функционировании различных АГЭС можно с помощью сопоставления потоков в натуральных единицах. На примере СПК «Нелюбино» Томской области проведен анализ энергетической эффективности функционирования АГЭС и определена доля энергетического вклада природы в производство

сельскохозяйственной продукции. СПК «Нелюбино» специализируется на производстве зерна и мясо-молочной продукции, вместе с тем климатические и природные условия в целом позволяют возделывать здесь все сельскохозяйственные культуры, районированные в Томской области. За последние двадцать лет в хозяйстве сократилась в 2 раза площадь используемых сельскохозяйственных угодий. Количество занятого в работах населения в условиях неустойчивой экономической ситуации уменьшилось в 2,5 раза, а обеспеченность техникой за данный период сократилась на 40%.

Для агроэкосистемы «Нелюбино» нами были вычислены энергетические потоки на основе эколого-энергетического анализа по [Денисенко [1990]. В модели определяются существенные для системы материальные потоки и вычисляется их энергетический эквивалент. Методологическая ценность такого подхода заключается в том, что при этом оцениваются затраты энергии в объективной форме, в отличие от стоимостных показателей, для которых характерна субъективность.

Для перевода в единую систему единиц потоки вещества конвертируются в энергетические (через их энергетические эквиваленты). Рассматривая АГЭС как преобразователь входных потоков искусственной энергии (минеральные удобрения, электроэнергия, топливо и т.д.) и внутренних потоков (корма, органические удобрения, солома) в выходные потоки произведённой сельскохозяйственной продукции, мы описываем функционирование АГЭС в виде потоков энергии, поступающей в неё за год. Энергетическая эффективность системы в целом рассчитывается по формуле [Денисенко, 1990]:

$$\varepsilon = \frac{q_{out} + P_{out}}{Q_{in} + P_{in}} \quad (1)$$

где Q_{in} , q_{out} – величины входного и выходного (соответственно) потока энергии в растениеводстве; P_{in} , p_{out} – величины входного и выходного потока энергии в животноводстве.

Основными элементами природной среды, создающими природную энергетическую ренту, для агроэкосистемы являются: энергетический потенциал почвы; энергия атмосферных осадков и площадь территории агроэкосистемы. Солнечная энергия, играющая роль внешнего, определяющего развитие системы потока, вычислялась по формуле Г. Одума [1996]:

$$E_s = S \cdot C \quad (2)$$

Количество E_s , поступающее на территорию, занимаемую СПК «Нелюбино», составляет $E_s=30 \cdot 10^{16}$ Дж/год ($4,2 \cdot 10^{13}$ Дж/га/год).

Энергетический потенциал серой лесной почвы $E_{овп}$ исследуемой территории вычислялся по формуле В.М. Володина [2000]:

$$E_{овп} = Z_2 (H \cdot G \cdot V) \cdot Q \quad (3)$$

где Z_2 - запасы гумуса в почвенном слое $H=0-35$ см, G - общий гумус, %; V - объёмная масса почвы, г/см³; Q - энергетический эквивалент гумуса, Дж/га. Энергия почвы составляет $E_{почв} = 14,5 \cdot 10^{12}$ Дж ($2,042 \cdot 10^9$ Дж/га).

Энергия атмосферных осадков определена по формуле Г. Одума [1996]:

$$E_{ос} = SQG \quad (4)$$

где S - площадь территории хозяйства; Q - количество выпадающих осадков (517 мм/год); G - свободная химическая энергия Гиббса без учета транспирации растениями – 4,94 Дж/г. Энергия атмосферных осадков $E_{ос} = 181,6 \cdot 10^{12}$ Дж/год.

Природная рента агроэкосистемы, дающая основную экономию энергии в хозяйственной деятельности АГЭС, в энергетических единицах в целом составляет:

$$PP = E_s + E_{почв} + E_{ос} = 30,01 \cdot 10^{16} \text{ Дж/год} \quad (5)$$

В АГЭС «Нелюбино» в качестве основных входных потоков техногенной энергии нами выделены следующие: топливо (дизельное, бензин), электроэнергия, удобрения (N, P, K), комбикорм, ядохимикаты, сельскохозяйственная техника, инфраструктура и труд человека. Потоки на выходе: зерновые культуры, мясо и молоко.

Расчет энергетических потоков агроэкосистемы представлен в табл. 1-2. Затраты техногенной энергии в 1991 г. в целом составляли $152,3 \cdot 10^{12}$ Дж, в 1999 г. – $114,3 \cdot 10^{12}$ Дж, в 2004 г. – $93,3 \cdot 10^{12}$ Дж. Непосредственные трудовые (энергетические) затраты человека (работников СПК «Нелюбино») хотя и очень малы и составили в среднем $0,1 \cdot 10^{12}$ Дж (в качестве эквивалента взяты энергозатраты на нормальный метаболический процесс – 0,7 МДж/час), тем не менее они играют определяющую роль – обуславливают синергетическое объединение и взаимодействие потоков энергии, вещества и информации.

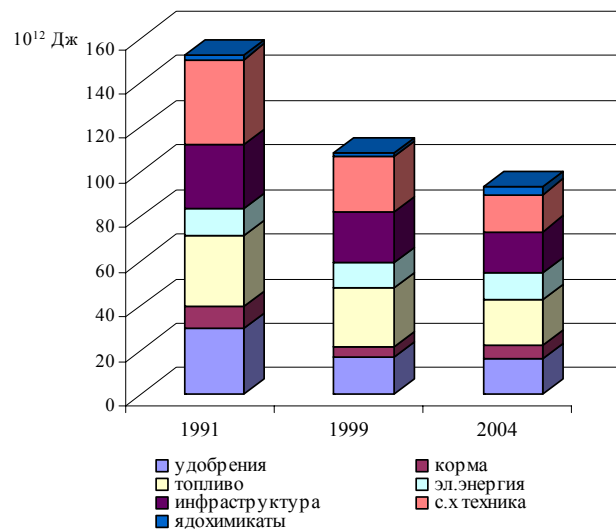


Рисунок 1 Распределение энергоресурсов в АГЭС «Нелюбино»

Затраты энергии в виде топлива, на использование сельскохозяйственной техники и обслуживание инфраструктуры - наиболее высокие из всех энергозатрат; на втором месте стоят затраты на удобрения, электроэнергию и комбикорма (рис. 1). Таким образом, затраты техногенной энергии в агроэко системе в 1991 г. в целом составляли $152,3 \cdot 10^{12}$ Дж, в 1999 г. – $114,3 \cdot 10^{12}$ Дж, в 2004 г. - $93,3 \cdot 10^{12}$ Дж.

Общее количество продукции на выходе системы в целом составляло: в 1991 г. - $115,4 \cdot 10^{12}$ Дж, в 1999 г. - $97,9 \cdot 10^{12}$ Дж и в 2004 г. - $70,5 \cdot 10^{12}$ Дж; энергетическая эффективность ϵ всей системы (без учёта природной ренты) в целом в 1991 г. равнялась 0,76, в 1999 г. - 0,86, в 2004 г. - 0,75. Различие данных показателей по годам объясняется структурным соотношением между растениеводством и животноводством в системе.

Природная рента агроэко системы в энергетических единицах составляла $30,01 \cdot 10^{16}$ Дж/год.

Энергетическая эффективность функционирования АГЭС с учетом природной энергии снижается в несколько сот раз и в среднем составляет 0,0003.

Таблица 1 - Энергетические характеристики функционирования агроэкосистемы «Нелюбино»

Функционирование агроэкосистемы	1991	1999	2004
	Энергия 10^{12} Дж/год		
Энергия на выходе	115,3	97,9	70,2
Энергия на входе	152,3	114,3	93,3
Эффективность	0,76	0,86	0,75

Таблица 2 - Энергетическая эффективность агроэкосистемы с учетом природной энергии

Показатели	1991	1999	2004
Выход продукции, 10^{12} Дж	115,3	97,9	70,2
Израсходовано:			
Техногенная энергия, 10^{12} Дж	152,3	114,3	93,3
Природная энергия, 10^{16} Дж	30,01	30,01	30,01
Антропогенная энергия, 10^{12} Дж	0,1	0,1	0,1
Всего затрачено, 10^{16} Дж	30,0253	30,0214	30,0193
Эффективность	0,0005	0,00033	0,00023

В результате проведенного анализа установлено, что величина потоков энергии на выходе из системы и потоков энергии, выделяемых в побочном продукте, никак не учитывается при функционировании АГЭС, что указывает на незамкнутость структуры функциональных отношений, при которой не используются дополнительные источники энергии. Для дальнейшего развития АГЭС «Нелюбино» необходимо, чтобы система работала в замкнутой структуре, что вызывает потребность в разработке новых технологий получения энергии из возобновляемых ресурсов.

2. Аграрно-экологическая геосистема функционирует на основе вещественно-энергетических и информационных обратных связей между основными элементами, что позволяет ее рассматривать как замкнутую структуру функциональных отношений между выходными потоками энергии и входными характеристиками.

В настоящее время исследования в области применения энергетического анализа к системам и процессам сводятся в основном к энергетической оценке отдельных технологических операций, без изучения и описания общей структуры потоков вещества, энергии и информации в АГЭС. Поскольку конечной количественной оценкой эффективности функционирования зачастую становится экономическая оценка, то временные изменения конъюнктуры рынка способны привести к необоснованному свертыванию сельского хозяйства в отдельных регионах, а не к поиску наиболее эффективных методов преобразования энергии окружающей среды в энергию продукции АГЭС. Нами предлагается применить алгоритм расчёта по использованию побочного продукта производства СПК «Нелюбино», разработанный на основе энергетического анализа и оптимизации балансовой модели агроэкосистемы.

Метод расчета сбалансированной модели агроэкосистемы, произведенный на основе программы «Agronom 1.0», реализован в Turbo Delphi 2006 Explorer for Windows [Фузелла и др., 2009б]. В основу модели положена система объектов с определенными свойствами и функциями, а также концептуальное положение о том, что блоки АГЭС (растениеводство, животноводство, вспомогательный блок - поддерживающая и контролирующая активность человека) связаны между собой, а также с внешней средой потоками энергии, вещества и информации.

Именно потоки информации, касающиеся внутренних и внешних связей, определяющие и контролируемые потоки вещества и энергии, являются в наибольшей степени контролируемые человеком. Набор данных, реализованных в существующей программной версии модели, описывает урожайность и энергетическую ценность кормов, выращиваемых в Томской области, потребности скота наиболее распространенных в ней пород и показатели, связанные с производством биогаза из различных побочных продуктов. Общий вид модели может быть формализован как схема, представленная на рисунке 2. Структура функциональных отношений АГЭС включает в себя сеть с различными потоками. Кроме информации о побочной продукции от растениеводства и животноводства, поступает информация о выработке дополнительной продукции – третичного продукта, который получается в результате производства биогаза.

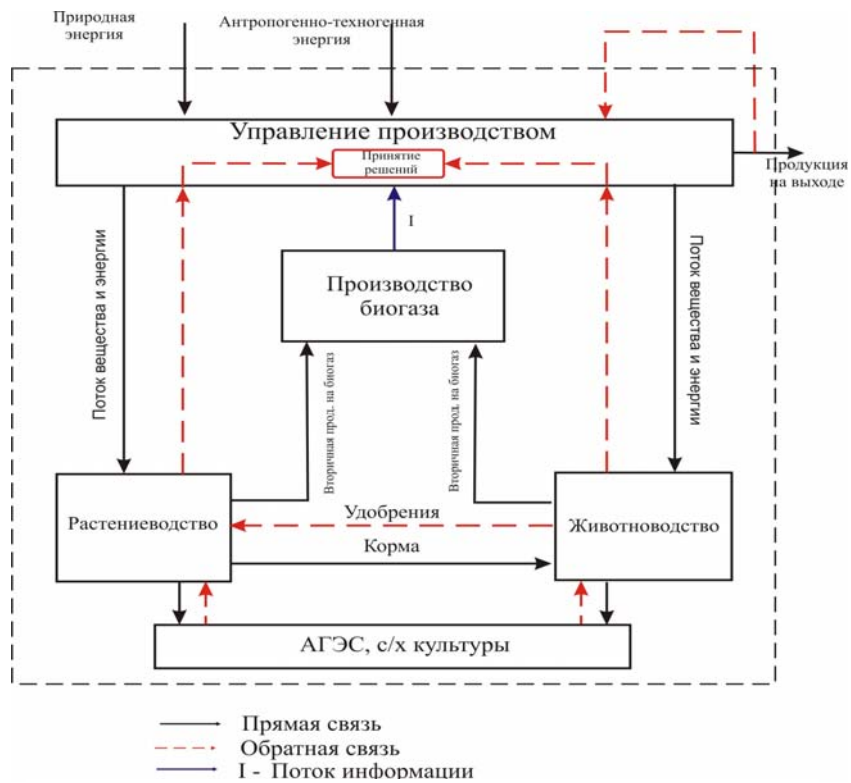


Рисунок 2 Схема структуры функциональных отношений в АГЭС

Мы выделяем следующие потоки: внешние входы в систему – природная и техногенно-антропогенная энергия; выход в виде продукции; потоки информации (в виде прямых и обратных связей); распределители потоков, где осуществляется управление ими в соответствии с целями, оптимизирующими функционирование всей системы в целом.

Поток энергии на входе равен сумме потребностей в энергии для производства в растениеводстве и в животноводстве. В силу наличия взаимосвязи вещества и энергии, для описания потоков использовались либо вещество, либо энергия. К примеру, определенную массу вещества можно выразить содержанием энергии в виде информации о том, что данный продукт является концентрированным кормом и поступает от некоторой системы А в некоторую систему В и т. д. В пределах данной модели расходы на топливо и электричество представлены как чисто энергетический поток. Возможные варианты использования биомассы растениеводства и животноводства осуществляются в блоке

управления в соответствии с целями. При построении потоковой модели агроэкосистемы основное внимание было уделено решению задачи в оптимизационной форме: найти вариант распределения внутренних потоков, минимизирующий затраты на входе, при фиксированном выходе из системы.

Предлагаем краткий алгоритм расчета потоков энергии в АГЭС [см. подробнее в статье Фузелла и др., 2009б]:

1) вычисляются потребности различных отраслей исследуемого хозяйства по удобрениям, кормам и энергии, которые в большей степени зависят от запланированного выхода продукции;

2) вычисляется фактический баланс источников энергии, который сводится к трём балансовым соотношениям по удовлетворению потребностей в удобрениях, кормах и энергии;

3) все балансы сводятся в одно уравнение, в левой части которого отражены суммы фактических источников удобрений, кормов и прямой энергии, а в правой – сумма всех потребностей. Это уравнение разрешается относительно суммы величин энергии и вещества (выраженных также в энергетических единицах), поступающих из внешних источников.

Энергия, поступающая в АГЭС из среды, представляет собой энергию не только топлива, но и удобрения, и кормов. Поэтому значение целевой функции, отражающей сумму потребленной энергии, будет больше либо равным величине закупаемой энергии.

Общий вид целевой функции [Бровкин, 1988]:

$z = (c, x) \rightarrow \min$, где z – значение целевой функции, соответствующее конкретным значениям переменных, характеризующих состояние системы (именно эта величина и подлежит минимизации), c – вектор коэффициентов целевой функции, x – вектор основных переменных модели. В нашей модели описывается экономичность АГЭС в энергетическом аспекте.

Целевая функция в данной работе представляет собой энергетическую стоимость потребляемых внешних ресурсов (затраты энергии):

$$z = \sum_{i=1}^n c_i V_i \rightarrow \min, \text{ где } V_i - \text{ потоки потребляемых ресурсов,}$$

c_i – их стоимость в энергетическом выражении.

В качестве критерия оптимизации выбрана минимизация затрат, выраженных в энергетических единицах (в Дж). Побочный продукт, а также отходы сельскохозяйственного производства могут использоваться для удовлетворения различных потребностей АГЭС, а точнее - в трёх направлениях: в качестве корма; в качестве органического удобрения; в качестве сырья для производства биогаза. Интерфейс программы представлен на рисунке 3.

Мы апробировали работу нашей модели в программе «Agronom 1.0» применительно к функционированию АГЭС «Нелюбино».

Расчёт показал, что общие затраты на производство в 1991 г. *составили бы* $128,4 \cdot 10^{12}$ Дж, в 1999 г. - $103,8 \cdot 10^{12}$ Дж, в 2004 г. - $83,8 \cdot 10^{12}$ Дж, что обуславливает повышение энергетической эффективности АГЭС в среднем на 13%.

Таким образом, для уменьшения затрат потребляемой энергии требуется введение информационных связей между элементами и учёт потоков энергии на выходе в виде продукции. Такой подход означает рассмотрение АГЭС как операционально замкнутой системы. Системы, обменивающиеся веществом, энергией и информацией со средой и другими системами, преобразующие входной поток энергии в иную форму, где посредством обратных связей образуется замкнутый контур причинно-следственных связей и являются операционально замкнутыми системами.

3. Потенциальные возможности повышения эколого-энергетической эффективности функционирования АГЭС связаны с уменьшением потребностей в энергии за счёт использования отходов для производства биогаза и органических удобрений.

Производимая внутри агроэкосистемы энергия может использоваться для самообеспечения энергетическими ресурсами. Нами проведена оценка функционирования АГЭС «Нелюбино» для 1991, 1999 и 2004 гг. с учётом использования *вторичного продукта* ($E_{II} = E_{б/г \text{ сол}} + E_{б/г \text{ нав}}$). При этом производство биогаза *составило бы* в 1991 г. - $18,6 \cdot 10^{12}$ Дж, в 1999 г. - $17,1 \cdot 10^{12}$ Дж и $18,3 \cdot 10^{12}$ Дж в 2004 г. Система была бы способна обеспечить сама себя энергией на 22 %, т.е. около 1/5 от суммарных затрат энергии компенсировалось бы за счёт производства биогаза.

Агроном-проект v 1.0

Введите данные

Посевные площади | Животноводство | Побочные продукты | Удобрения | Энергетика

	Потребность в продукции	Потребность в кормах (КЕ)		Произведено навоза
		Концентраты	Грубые корма	
говядина (т)	127	1769110	758190	3048
молоко (т)	200	134400	57600	700
свинина (т)		0	0	0
птица (т)		0	0	0
яйца (т)		0	0	0
Всего:		1903510	815790	3748

Получено кормов (КЕ)	
Концентраты	0
грубые корма	0
солена	0

Остаточная потребность	
Концентраты	1903510
Грубые корма	815790

К концентратам относят зерновые и кормовые культуры, овощи, фрукты. К грубым кормам - технические культуры, полая их сенажом, кукурузу на силос. Под соленой понижен любой побочный продукт всего производства.

Значение целевой функции: 32361032

Рисунок 3 Интерфейс программы «Агроном 1.0»

Дальнейшая оптимизация сбалансированной модели показала, как бы работала система, если бы использовалась вторичная продукция на биогаз, а продукт, оставшийся от переработки биогаза $E_{III} = E_{сол} \cdot m_{сол} + E_{нав} \cdot m_{нав}$ (третичный продукт), - на удобрение. В результате ретроспективного анализа функционирования хозяйства установлено, что в 1991 г. производство дополнительной энергии *составило бы* $34,9 \cdot 10^{12}$ Дж, в 1999 г. - $31,1 \cdot 10^{12}$ Дж, а в 2004 г. - $29,9 \cdot 10^{12}$ Дж (36% от суммарных затрат). Следовательно, при правильном использовании ресурсов система может дать резкое повышение экономичности использования энергии.

Оптимизация функционирования АГЭС может увеличить способность к самообеспечению системы энергией за счёт использования вторичного и третичного продукта производства на 1/3 (рис. 4).

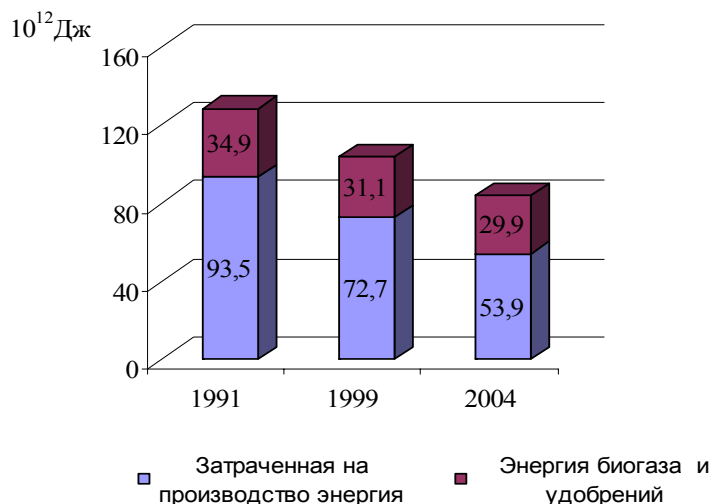


Рисунок 4 Распределение суммарной энергии в сбалансированной модели АГЭС «Нелюбино»

На основании используемых нами расчетов можно определить энергетические показатели гипотетически «сбалансированной» деятельности агроэкосистемы. Значительно увеличить эффективность функционирования системы можно за счет использования возобновляемого потока побочной биомассы. По всей агроэкосистеме эффективность при этом возрастает, а энергетический эффект от использования побочного продукта в разных направлениях может существенно различаться. В результате проведенных исследований удалось определить, какая из применявшихся ранее (1991-2004 гг.) схем функционирования АГЭС «Нелюбино» является более выгодной и экономически оптимальной.

Таковой оказалась схема функционирования агроэкосистемы, действовавшая в 2004 году, когда по структуре посевных площадей, по объёму производства АГЭС оказалась наиболее сбалансированной, ориентированной преимущественно на молочное производство.

Достаточно компактное по размерам хозяйство способно обеспечить себя энергией на треть и является малозатратным само по себе.

Ретроспективный анализ энергетической эффективности функционирования агроэкосистемы на примере «Нелюбино» показал, что можно определять оптимальный вариант использования как внешних, так и внутренних потоков вещества, а также эффективность использования различных ресурсов агроэкосистемой. С помощью предлагаемой модели можно оптимально управлять производством и при этом сохранять ресурсы, выявлять новые пути повышения эффективности сельскохозяйственного производства, пути снижения затрат энергии, удобрений и других ресурсов на единицу производимой продукции.

В модель заложены значительные возможности развития и адаптации, в силу чего она легко может быть использована для любого региона и выполнения более широкого спектра задач.

Проведённое в работе исследование показало, что в нашем регионе производство биогаза весьма целесообразно, поскольку энергия биогаза, кроме прочего, может дать временный выигрыш на случай внезапного перебоя в поступлении традиционных видов энергоносителей.

Таким образом, анализ функционирования АГЭС как структуры, в которой взаимодействие между элементами осуществляется на основе обмена потоками энергии, вещества и информации, позволил:

- 1) описать агроэкосистему как систему потоков энергии, вещества и информации, заданных в её структуре, а также определять экономичность как всей агроэкосистемы, так и ее отдельных компонентов;
- 2) перейти к замкнутой структуре функциональных отношений, учитывая информационные обратные связи от основных элементов системы;
- 3) увеличить в операционально замкнутой системе экономичность хозяйства посредством использования побочного продукта растениеводства и животноводства для производства биогаза, что позволит компенсировать около 1/3 от суммарных затрат энергии. Побочный продукт и отходы, которые в настоящее время практически не используются, представляют существенный

резерв повышения эффективности функционирования АГЭС. Энергоресурсосберегающая модель производства позволяет оптимально управлять АГЭС и при этом сохранять ресурсы, выявлять новые пути повышения эффективности сельскохозяйственного производства, то есть пути снижения затрат энергии, удобрений и пр. на единицу производимой продукции.

Основные научные выводы и результаты исследования

В ходе проведения диссертационного исследования были получены следующие результаты:

1. Выявлено, что основным источником энергии в функционировании агроэкосистем и в производстве продукции является природная рента, создаваемая солнечной энергией и ее производными: энергией атмосферных осадков и потенциальной энергией, запасенной в почвах. Природная рента агроэкосистемы в энергетических единицах в целом составляет $PP = E_s + E_{почв} + E_{ос} = 30,01 \cdot 10^{16}$ Дж/год. Затраты техногенной энергии в СПК «Нелюбино» в 1991 г. в целом составляли $152,3 \cdot 10^{12}$ Дж, в 1999 г. – $114,3 \cdot 10^{12}$ Дж, в 2004 г. – $93,3 \cdot 10^{12}$ Дж. Трудовые затраты работников составили в среднем $0,1 \cdot 10^{12}$ Дж.

2. Разработан алгоритм балансовой модели АГЭС на основе потоков вещества, энергии и информации, а на базе полученного алгоритма создана программа «Агропот 1.0», адаптированная под природные условия Томской области. Применение программы в целях автоматизации расчета энергетических затрат позволяет ускорить анализ и рассчитать большое количество вариантов функционирования и выбрать оптимальный вариант, что важно в научном и практическом плане.

3. Агроэкосистема, представляя собой замкнутую структуру функциональных отношений, действует на основе вещественно-энергетических и информационных обратных связей между основными элементами. Энергетический анализ замкнутой структуры показал, что энергетическая эффективность АГЭС может увеличиться в среднем на 13% за счёт уменьшения потребности в энергии и перераспределения её внутри системы. Выявлено, что при использовании энергии побочной продукции, (за счёт производства биогаза и использования продукта производства биогаза в качестве удобрения) АГЭС «Нелюбино»

могла бы обеспечить себя энергетическими ресурсами на 1/3 от суммарных энергетических затрат.

4. Результаты проведенных исследований также показали, что из применявшихся ранее (1991-2004 гг.) схем функционирования АГЭС «Нелюбино» более выгодной и экономически оптимальной является действовавшая в 2004 году схема, когда по структуре посевных площадей, по объёму производства она оказалась наиболее сбалансированной. Достаточно компактное по размерам хозяйство СПК «Нелюбино» способно обеспечить себя энергией на 36%.

Основные публикации по теме диссертации:

а) в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Фузелла, Т.Ш. Энергетическая оценка функционирования агроэкосистемы (на примере СПК «Нелюбино») / Т.Ш. Фузелла // Вестник ТГУ. – 2009а. – № 326. – С. 203-207.

2. Фузелла, Т.Ш. Оптимизация функционирования агроэкосистемы при использовании биогаза для получения энергии / Т.Ш. Фузелла, А.В. Хон, Е.Н. Тимошок // Проблемы региональной экологии. – 2009б. – № 5. – С. 218-223.

б) в других изданиях:

3. Фузелла, Т.Ш. Энергетический подход к построению модели агроэкосистемы / Т.Ш. Фузелла // Экология, надежность, безопасность : мат. XI Всерос. науч.-практ. конф. – Томск, 2005. – С.305-308.

4. Фузелла, Т.Ш. Мониторинг эколого-энергетического состояния агроэкосистемы Томской области / Т.Ш. Фузелла // Контроль и реабилитация окружающей среды : мат. 5-го междунар. симп.– Томск, 2006. – С. 96-98.

5. Фузелла, Т.Ш. Методические аспекты оценки экологического риска сельскохозяйственного использования почв Западно-Сибирского региона / Т.Ш. Фузелла // Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии : мат. междунар. конф., посвящ. 30-летию каф. физич. и вычисл. механики ф-та ТГУ. – Томск, 2007. – С. 177-178.

6. Фузелла, Т.Ш. Особенности рисков природопользования при нефтегазодобычи Западной Сибири / Т.Ш. Фузелла, Е.С. Волкова // Региональная экологическая политика в условиях существующих приоритетов развития нефтегазодобычи : мат. съезда экологов нефт. рег. – Ханты-Мансийск, 2007. – С. 155-158.

7. Фузелла, Т.Ш. Теоретические основы энергетического анализа для оценки природных ресурсов / Т.Ш. Фузелла, Е.С. Волкова // Географические исследования в начале XXI в. : мат. XVI науч. конф. молодых географов Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 2007. – С. 73-76.

8. Фузелла, Т.Ш. Геоморфологические особенности территории Томской области как один из факторов природных рисков / Т.Ш. Фузелла, Е.С. Волкова // Земная поверхность, ярусный рельеф и скорость рельефообразования : мат. Иркутского геоморф. семин., Чтений пам. Н.А. Флоренсова. – Иркутск, 2007. – С. 174-176.

9. Fuzella, T.Sh. Agroecosystem risks of Tomsk region / T.Sh. Fuzella // Enviromis-2008: International conference on environmental observations, modeling and information systems. – Tomsk, 2008. – С. 108-109.

10. Фузелла, Т.Ш. Метод оценки функционирования агроэкосистем / Т.Ш. Фузелла // Экология, надежность, безопасность : мат. XIV Всерос. науч.-практ. конф. – Томск, 2008. – С. 186-188.

11. Фузелла, Т.Ш. О необходимости применения эколого-энергетического метода оценки функционирования сельхозпроизводства / Т.Ш. Фузелла // Аграрная наука сельскому хозяйству : мат. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул, 2009. – С. 321-323.

12. Фузелла, Т.Ш. Возможности использования возобновляемых источников энергии / Т.Ш. Фузелла // Теоретические и прикладные вопросы современной географии : мат. Всерос. конф. – Томск, 2009. – С. 189 -190.