

На правах рукописи



Шуркина Ксения Алексеевна

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ  
С ПОЗИЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА  
(на примере крестьянского хозяйства «СоМер-2»)

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 биологических наук, профессор  
Плеханов Геннадий Федорович

кандидат географических наук,  
Баженова Ольга Иннокентьевна

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Красноярский государственный  
аграрный университет»

Защита состоится « 27 » мая 2009 года в 14.30 часов на заседании дис-  
сертационного совета Д 212.267.19 при ГОУ ВПО «Томский государ-  
ственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36,  
главный корпус ТГУ, ауд. 119.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке ГОУ ВПО  
«Томский государственный университет» по адресу: г. Томск, пр. Ле-  
нина, 34 а.

Автореферат разослан «    » апреля 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

кандидат геолого-минералогических наук



Н.И. Савина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Проблема эффективности функционирования хозяйственной деятельности во все времена развития цивилизации имела большое значение. Но научно-теоретическое ее осмысление стало особенно актуальным с переходом цивилизации на промышленный, а затем и индустриальный путь развития. В этот период степень удаленности от равновесия социально-экономических систем практически достигла предельной величины. Затраты энергии на поддержание этого состояния колоссальны  $4,5 \cdot 10^{20}$  Дж/год [Акимова, Хаскин, 2006, с. 204]. Иллюзии, что человеку подвластно решение энергетической проблемы, стали разрушаться. В научной среде была осознана необходимость изучения энергетической эффективности функционирования природных, естественным образом развивающихся систем, сравнения их с социально-экономическими, с тем чтобы, с одной стороны, найти пути неистощительного природопользования, а с другой – определить возможности энергетического самообеспечения производства, в частности - аграрного. Среди ученых и практиков, занимающихся этой задачей, нет разногласий в том, что проблема относится к числу фундаментальных. Наибольший вклад в ее решение сделали ученые США, и прежде всего Г. Одум [1971, 1978, 1996 и др.], заложивший теоретические основы и на конкретных примерах показавший способы ее практической реализации. Затем исследование энергетической эффективности функционирования сельскохозяйственных предприятий – агроэкосистем (АГЭС) - вошло в число актуальных научных проблем и в России [Фельдман, Логофет, Денисенко, 1998; Миндрин, 1998, 2003 и др.].

Предлагаемая нами методология оценки эффективности функционирования агроэкосистемы на основе анализа обмена энергией в потоках между составляющими ее элементами базируется на положениях системного анализа и теории самоорганизации; она позволяет рассматривать агроэкосистемы как операционально замкнутые структуры, выходные потоки вещества, энергии и информации которых направлены на достижение оптимального уровня их затрат на производство продукции и на возобновление и восстановление природной среды.

Рассматриваемые в диссертационном исследовании подходы к энергетической оценке функционирования АГЭС и экологических систем (не измененных человеческой деятельностью) позволяют сравнивать реальную их продуктивность и количественно оценивать потенциальные производственные возможности.

Измерение затрат и результатов сельскохозяйственного производства в энергетических эквивалентах имеет исключительную значимость, поскольку оно объективно отображает действительную их стоимость и предполагает возможность достижения оптимального режима эксплуатации природных ресурсов.

Постановка задачи предполагала привлечение знаний различных наук, и прежде всего - геоэкологии, ландшафтоведения, научных направлений, связанных с сельскохозяйственным производством. В частности, нами проводился аналитический и сравнительный анализ экономических и экологических показателей функционирования агроэкосистемы, по сути представляющей сложную природно-техническую структуру.

**Цель работы** - рассмотреть функционирование геосистем с позиции теории операционально замкнутых систем и на этой теоретической основе провести оценку энергетической эффективности функционирования конкретной агроэкосистемы. В соответствии с целью исследования решались следующие основные задачи:

- провести теоретическое обобщение существующих подходов, методов и результатов энергетической оценки функционирования природно-антропогенных систем;
- разработать принципиальную модель функционирования агроэкосистемы как целостного самоорганизующегося организма, а также методику оценки (в энергетических единицах) потоков вещества, энергии и информации в ней;
- разработать и описать алгоритм применения предложенной методики на примере конкретного объекта исследования - крестьянского хозяйства «СоМер-2» (Карагандинская обл., Казахстан);
- разработать практические предложения по повышению эффективности функционирования агроэкосистемы.

**Объект исследования.** В качестве объекта исследования выступает агроэкосистема с точки зрения ее геоэкологической, экономической и энергетической эффективности функционирования (на примере конкретного объекта).

**Методы исследования.** В качестве основных методов исследования использовались аналитический, сравнительный, картографический, математический, статистический. Статистический и фактический материал обработан с применением компьютерных программ (Microsoft Excel), на основе полученных результатов построены графики, диаграммы, схемы.

**Основные источники информации.** В основу диссертационной работы положены результаты исследований, проводившихся 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»; по программе фундаментальных исследований СО РАН, проект 7.10.1.3 «Исследование современных экосистемных изменений в Сибири и связанных с ними рисков природопользования» (2007–2009 гг.).

Использованы справочные и картографические материалы, литературные источники, научные данные опубликованных исследований, диссертационных работ в области экологии и экономики. Основной объем фактического и статистического материала получен автором в процессе изучения объекта исследования, анализа бухгалтерских и текущих документов: отчетов, сводок, статистических отчетов.

**Научная новизна работы** состоит в следующем:

- впервые агроэкосистема рассматривается как самоорганизующаяся операционально замкнутая система с обратными положительными и отрицательными связями;
- на основе теоретического обобщения собственных и полученных другими исследователями данных разработан алгоритм проведения энергетической оценки эффективности функционирования агроэкосистемы;
- разработана перспективная модель функционирования агроэкосистемы, рекомендуемая для практического применения.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Работа представляется значимой как в теоретическом, так и практическом планах. Теоретическая значимость ее состоит в разработке методологической основы энергетической оценки, позволяющей выявлять и изучать механизмы взаимодействия природных и антропогенных геосистем.

Результаты исследования могут быть использованы в качестве методологической базы в дальнейшем изучении геосистем и проведения энергетического анализа, а также в образовательном процессе в вузах, специализирующихся в подготовке кадров по специальностям геоэкология, экология, агроэкология и др.

Разработаны практические рекомендации по повышению эффективности функционирования природно-технических систем.

**Апробация и публикация результатов исследования.** Основные положения и полученные результаты диссертационной работы доложены на следующих научных конференциях: «Студент и научно-технический про-

гресс» (Новосибирск, 2007, 2008), «Научная сессия ТУСУР-2007» (Томск, 2007), «Седьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу» (Томск, 2007), «Научное совещание географов Сибири и Дальнего Востока» (Иркутск, 2007), «Изучение, моделирование и осознание (познание) дальнейшего развития планеты Земля» («Studying, Modeling and Sense Making of Planet Earth») (г. Митилини, Греция, 2008)) и др.

Результаты исследования изложены в 11 статьях, одна из которых опубликована в рецензируемом издании, а другие - в материалах российских и международных конференций.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 147 источников и 5 приложений. Общий объем работы составляет 142 страницы, включая 28 таблиц и 13 рисунков.

В первой главе «Состояние изученности проблемы функционирования геосистем» освещаются общие аспекты проблемы энергетической оценки функционирования геосистем и состояние ее изученности.

Во второй главе «Агроэкосистемы как самоорганизующиеся операционально замкнутые геоэкологические системы» описывается новый методологический подход к энергетической оценке самоорганизующихся геосистем с позиции теории операциональной замкнутости; даются основные понятия, определения, используемые в работе; приведена структура функциональных отношений в агроэкосистеме и принципы ее функционирования.

Третья глава «Энергетическая оценка функционирования агроэкосистемы СоМер-2» посвящена энергетической оценке агроэкосистемы в конкретных природных условиях.

В четвертой главе «Перспективная модель функционирования агроэкосистемы» описана разработанная нами модель и проведен анализ рентабельности внедрения дополнительных источников энергии для повышения эффективности функционирования системы.

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

Работа выполнена в лаборатории самоорганизации геосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН под руководством доктора географических наук, профессора А.В. Позднякова, в соответствии с плановой тематикой лаборатории: Проект № 24.1.7 «Закономерности и особенности самоорганизации геосистем и социально-экономических систем в процессе их взаимодействия» и Проект № 7.10.1.3 «Исследование экосистемных изменений в Сибири и связанных с ними рисков природополь-

зования» (Блок №2 «Энергетическая характеристика экосистем, установление возможных изменений их продуктивности, обусловленных потеплением климата») в рамках Программы фундаментальных исследований ИМКЭС СО РАН № 7.10.1 «Интегрированные исследования природно-климатических изменений и связанных с ними рисков природопользования в Сибири».

Автор выражает глубокую признательность за помощь и ценные замечания научному руководителю А.В. Позднякову, профессорам – Г.Ф. Плеханову, В.В. Севастьянову, А.В. Мананкову. Искренне благодарна всему коллективу лаборатории самоорганизации геосистем за рекомендации, обсуждение работы и моральную поддержку.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

**Первое защищаемое положение - *Агрэкосистемы следует рассматривать как открытые самоорганизующиеся операционально замкнутые системы, и их развитие должно осуществляться при контролируемом человеком обмене энергией, веществом и информацией.***

Геосистема – особый тип природных самоорганизующихся и саморегулирующихся биокосных и социально-экономических систем, систем косной среды (различного типа геолого-геоморфологические структуры); разнообразных систем типа «человек-машина» (от часов до сложных роботизированных комплексов).

Геосистема состоит из определенного набора компонентов и элементов, количество и номенклатура которых устанавливается в процессе ее самоорганизации. Минимально необходимая совокупность элементов, образующих структуру геосистемы, определяющих ее «лицо» как целостное системное образование со своими характерными свойствами, называется *инвариантом структуры функциональных отношений геосистемы (ИСФО)* [Поздняков, 1998]. Это объективно существующая в природе структура. Инвариант структуры функциональных отношений включает социум, его инфраструктуру и элементы природной среды конкретной территории, характеризующейся определенной площадью ( $S_{pr}$ ) и ее экологической емкостью ( $V$ ). Самоорганизующиеся системы без ИСФО существовать не могут [Поздняков, 1998 и др.; Поздняков, Шуркина, 2008]. При отсутствии хотя бы одного из составляющих ИСФО элементов система теряет устойчивость, способность к самовосстановлению, самовоспроизведению и разрушается.

Любую геосистему, включая и агроэкосистему, можно рассматривать на основе балансовых отношений в системе «вход-выход» («ресурс-потребитель», «затраты-прибыль», «жертва-хищник»).



Рисунок 1 Традиционная схема функционирования систем

Входными параметрами являются воздействия на систему из внешней среды. Выходными же служат воздействия системы на среду. Тогда сама система определяется как преобразователь входных воздействий в выходные (рис. 1).

Самоорганизующиеся системы, обменивающиеся веществом, энергией и информацией (МЕИ) со средой и другими системами, преобразующие входной поток МЕИ в иную форму, в которых посредством обратных связей образуется замкнутый контур, являются *операционально замкнутыми структурами* (рис. 2).

Агрэкосистемы входят в окружающую природную среду как часть в целое. Непрерывный обмен энергией со средой позволяет всем типам геосистем поддерживать постоянство своих параметров и энтропии, которая на начальных этапах их формирования и функционирования не только не растет, но и уменьшается.

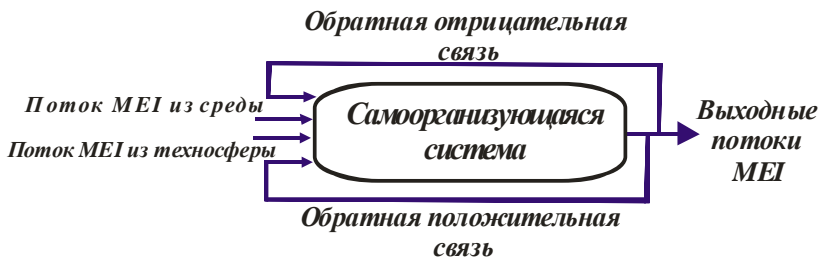


Рисунок 2 Операционально замкнутая самоорганизующаяся система

Особенностью таких структур является замкнутость обратными связями, представляющими собой потоки вещества, энергии и информации; роль обратной связи (положительной или отрицательной) играют и метрические характеристики систем (объем, площадь, продуктивность и пр.).



Таким образом, производимая системой продукция и энергия, ее морфометрические характеристики, оказывают обратное (положительное или отрицательное) воздействие на процесс ее функционирования. Роль обратной отрицательной связи играет экологическая емкость: по мере ее заполнения и истощения ресурсов прирост продуктивности геосистемы уменьшается. Роль положительной обратной связи играет производимая системой энергия, избыток которой используется для удаления системы от равновесия. Взаимодействие же положительных и отрицательных обратных связей приводит систему в состояние динамического равновесия.

Операциональная замкнутость самоорганизующихся систем с отрицательными обратными связями предполагает целенаправленное развитие к некоему спонтанно формирующемуся *заданному состоянию*.

Заданное состояние геосистемы – это уровень, который она по истечении некоторого установленного промежутка времени должна достичь по своим выходным характеристикам: количеству и качеству выпускаемой продукции, по структуре функциональных отношений, формам и количеству потребляемых MEI. *Заданное состояние* антропогенно культивируемых систем, функционирующих автономно, прежде всего, определяется условиями природной среды (емкостью, количеством поступающей природной энергии – солнечной радиации, плодородием почвенного слоя, собственным размером).

Направленное развитие геосистем к заданному состоянию определяется потоками энергии, вещества и информации, которые представлены двумя видами: потоки, формирующие агроэкосистемы (*F*-потоки), и потоки, вызывающие их деградацию, разрушение (*D*-потоки).

Уравнение динамики операционально замкнутой системы представляется в следующем виде [Поздняков, 1989, 2003, 2007; Поздняков, Шуркина, 2008]:

$$dM/dt = F(M, V, t) - D(M, t), \quad (1)$$

где *M* – выходные характеристики системы (по объему, массе, численности и пр.); *F* – расход MEI, идущий на формирование агроэкосистемы; *V* – емкость среды (экологическая емкость); *D* – расход MEI, потребляемый системой сателлитом *Y*; *t* – время.

Слагаемое *F(M, V, t)* характеризует аккумуляцию MEI в системе *X*, сокращающееся по мере заполнения емкости *V*. Слагаемое *D(M, t)* характеризует убыль MEI в системе *X*, обусловливаемую жизнедеятельностью сателлитов *Y*. Таким образом, сателлит *Y* тормозит развитие системы *X* и выступает в качестве обратной отрицательной связи. В левой части уравнения представлена продуктивность геосистемы, или

эффективность ее функционирования в энергетических единицах, а правая описывает количество энергии, необходимой для формирования системы, за вычетом энергии, отданной системе спутнику.

Следовательно, рассмотрение геосистемы как самоорганизующейся системы с обратными положительными и отрицательными связями позволяет разрабатывать эффективные и рациональные способы управления потоками вещества, энергии и информации.

**Второе защищаемое положение - *Прогрессивное развитие агроэкосистем определяется эффективностью обмена энергией с экосистемами и между элементами в сельскохозяйственном производственном цикле.***

Данное защищаемое положение рассматривалось на примере характеристики производственной деятельности *крестьянского хозяйства «СоМер-2»*. Хозяйство, как и абсолютное большинство подобных в других регионах и странах, функционирует на традиционных, давно установившихся принципах социально-экономических отношений. Экономическая эффективность такого хозяйства оценивается рыночными отношениями на основе «спрос-предложение-цена», в конечном счете - денежной прибылью. Чем больше хозяйство выручает прибыли, тем, считается, эффективнее оно работает. Затраты энергии на производство единицы продукции в оценке эффективности производственной деятельности хозяйства учитываются лишь косвенно. Возрастание производства продукции за счет экстенсивности производства, расширения площади используемой земли, иначе – за счет увеличения экологической емкости, при таком подходе, может характеризовать хозяйство как эффективно работающее.

*Краткая характеристика природных условий территории объекта исследования.* Хозяйство «СоМер-2» расположено в сухих степях Центрального Казахстана, в нескольких километрах от г. Караганды. Географическое положение объекта исследования - 49,4° с. ш. и 72,58° в. д.

Климатические условия территории довольно суровые, отмечаются резкие колебания температур как межсезонные, так и в течение суток. Среднегодовая температура воздуха +3,4°C. В холодное время года температура воздуха опускается до -30-35°C. Средняя температура января -14,0°C. Летом температура может достигать +30-+40°C. Средняя температура июля +20,5°C. По количеству выпадающих осадков междуречье относится к зоне недостаточного увлажнения. В среднем за год выпадает 320-350 мм осадков.

Преобладают ветры юго-западного направления. Годовая средняя скорость ветра составляет 5,5 м/с. Почвы представлены темно-каштановыми и каштановыми типами, с содержанием гумуса 4,5-3,0%; они пригодны для бесполовного земледелия и пастбищного животноводства. Тем не менее, их сельскохозяйственное использование, по сравнению с аналогичными районами более теплых и увлажненных зон (например, причерноморские степи, районы Кубани), требует привлечения в несколько раз больших затрат энергии.

Главным природным бедствием сухих степей, уменьшающим плодородие почвы, является ветровая эрозия, так как большая территория Центрального Казахстана равнинная и открытая, с распространением рыхлых структурных почв или почв с легким механическим (песчаным, супесчаным) составом.

Экологическое состояние рассматриваемой территории обусловлено спецификой промышленного производства Карагандинского территориально-хозяйственного комплекса, его специализацией, связанной в основном с добычей угольных залежей и переработкой полезных ископаемых. Карагандинская область является уникальной железо-марганцевой, барит-полиметаллической, меднорудной, редкометальной и угленосной провинцией Казахстана. Кроме того, на ее территории имеются многочисленные месторождения практически всех видов строительных материалов. Значительная техногенная нагрузка на окружающую среду Караганда-Темиртауского территориально-промышленного комплекса привела к высокой степени загрязненности поверхностных вод, атмосферы и почвенно-растительного слоя, что негативно сказывается на функционировании предприятий сельскохозяйственного назначения.

*Специализация агроэкосистемы.* Хозяйство «СоМер-2» специализируется на воспроизводстве и выращивании племенных животных. Сопутствующим направлением его деятельности является производство мясо-молочной продукции.

Занимаемая хозяйством площадь составляет 2000 га земельных угодий, и около 8 га занято инфраструктурой и административно-хозяйственными постройками.

В настоящее время управление предприятием осуществляется с ориентацией на удовлетворение потребностей рынка без учета возможностей самовосстановления производительности природной среды. Иными словами, удовлетворяются потребности лишь нынешнего поколения, потребности будущих поколений, к сожалению, не учитываются.

**Принципы саморегуляции агроэкосистем.** Требуемая для развития социально-экономических систем энергия ( $E$ ) складывается из затрат энергии, искусственно создаваемой человеком ( $E_m$ ), и энергии ( $E_n$ ), производимой природой (экологическая емкость):

$$E = E_m + E_n \quad (2)$$

Роль главного регулирующего фактора в развитии агроэкосистем (АГЭС) играет *экологическая емкость* - способность природной среды переносить антропогенные нагрузки, сохраняя свою устойчивость. При энергетической оценке экологической емкости необходимо учитывать роль каждого компонента природной среды: литосферы (геодинамические процессы), атмосферы, гидросферы, педосферы, солнечной энергии и др.

Применительно к рассматриваемому объекту проведен анализ потоков природной, антропогенной и природно-антропогенной энергии в отдельности.

**Энергетическая характеристика экологической емкости ( $E_n$ ).** Основными оцениваемыми параметрами природной среды для данной агроэкосистемы являются: солнечная энергия, поступающая на изучаемую территорию; энергетический потенциал почвенного плодородия в виде затрат энергии на поддержание плодородия почв; потенциальная энергия выпадающих осадков и площадь территории агроэкосистемы.

Возникновение многих видов энергии и все природные процессы на Земле так или иначе происходят под влиянием солнечной энергии путем ее трансформации в другие виды. В данной работе все виды энергии оцениваются в системе СИ, единица измерения – Джоуль.

**Солнечная энергия ( $E_s$ ).** На изучаемую территорию площадью 2000 га ежегодно поступает  $E_s = 10,46 \cdot 10^{16}$  Дж/год суммарной солнечной энергии. Она трансформируется в энергию, накапливаемую растительностью, почвой, создающую ветровые потоки и облака и др. Количество поступающей солнечной энергии на Землю незначительно колеблется во времени и изменить его человеку неподвластно. Поток солнечной лучистой энергии, поступающий на поверхность Земли, количественно превышает потоки искусственной и природной трансформированной энергии на три и более порядков.

**Энергия почвенного плодородия ( $E_{soil}$ ).** Накапливаемая экосистемой биомасса характеризует производительность, продуктивность, иными словами эффективность преобразования солнечной энергии.

Для того чтобы определить энергетический потенциал почвенных ресурсов следует рассчитать, сколько потребовалось бы затратить энергетических ресурсов для его восстановления. Основным органическим

удобрением в натуральном хозяйстве служит перегной - перепревшие отходы жизнедеятельности животных и растений. А.С. Миндрин рассчитал, что использование навоза в 4 раза эффективнее, чем применение минеральных удобрений, с учетом энергозатрат на их производство, перевозку и внесение в почву.

По предложенной А.С. Миндриным [2003, с. 225] формуле, нами определен энергетический вклад питательных веществ почвы в процесс производства растительной продукции, необходимый на восстановление энергетического баланса в почве.

Учитывая, что внесение 20 т/га органических удобрений [Миндрин, 2003] является наиболее реальной величиной на ближайшую перспективу для восстановления плодородия почвы, а отходы жизнедеятельности животных в среднем содержат в 1 тонне: азота 2 кг, фосфора 1 кг, калия 2 кг - в первой год после внесения усвояемость питательных веществ в процентном отношении соответственно составляет 71:83:67, потенциальная энергия почвы изучаемой агроэкосистемы равна  $E_{soil} = 3,7 \cdot 10^9$  Дж/га ( $7,3 \cdot 10^{12}$  Дж/год на всю площадь агроэкосистемы). Полученный результат, помимо энергетического содержания вносимых удобрений, включает затраты на их транспортировку и внесение в почву.

Энергия выпадающих осадков ( $E_{pr}$ ) в виде дождя и снега вычислена по формуле Г. Одума [Odum, 1996], с учетом, что площадь изучаемой агроэкосистемы - 2000 га, количество осадков в 2005 г. составила 332 мм/год, а свободная химическая энергия Гиббса рассчитана Г. Одумом [Odum, 1996] для выпадающих осадков и принята равной 4,94 Дж/г. Из выше приведенных данных следует, что потенциальная энергия  $E_{pr}$  выпадающих осадков составляет:  $E_{pr} = 16,4 \cdot 10^9$  Дж/га/год (на всю территорию -  $32,8 \cdot 10^{12}$  Дж/год).

Экологическая емкость агроэкосистемы в целом, в энергетических единицах составляет:

$$E_n = E_s + E_{soil} + E_{pr} = 10,47 \cdot 10^{16} \text{ Дж/год.} \quad (3)$$

Это количество энергии представляет, по существу, природную ренту, дающую экономию энергии в хозяйственной деятельности.

Экологическая емкость выступает сдерживающим фактором развития АГЭС «СоМер-2», играющим роль *обратной отрицательной связи*. Суть ее заключается в том, что экологическая емкость накладывает ограничение на расширение производства. Если количество используемой природной ренты больше ее прироста  $\Delta E_n(t)$ , то неизбежен спад производства, и на поддержание производительности хозяйства (недопущение спада продуктивности) по-

требуется увеличение затрат энергии. Расширение же площади территории при растущих ценах на землю финансово нерентабельно и нецелесообразно.

**Энергетический вклад антропогенной и природно-антропогенной энергии ( $E_m$ ).** Под природно-антропогенной энергией понимается совокупность природной и антропогенной энергии, полученная путем сложения энергосодержания природных ресурсов и затрат человеческого труда на их добычу, переработку и эксплуатацию.

Для оценки энергозатрат трудовой деятельности человека учитывались: расход энергии на выполнение вида труда, длительность рабочей смены (8 часов в смену) и количество рабочих дней в году (250 дней). В процессе деятельности предприятия затраты энергии интеллектуального труда составили  $E_I=0,022 \cdot 10^{12}$  Дж/год, а затраты физического труда - в 8 раз больше:  $E_{ph}=0,175 \cdot 10^{12}$  Дж/год. Общие затраты труда, таким образом, составляют  $E_w=0,198 \cdot 10^{12}$  Дж/год.

Нами рассчитаны расходы природно-антропогенной энергии в процессе функционирования агроэкосистемы на основе их энергетической ценности и использованием энергетического эквивалента, вычисленного А.С. Миндриным [2003]. Полученные результаты представлены на рис. 3.

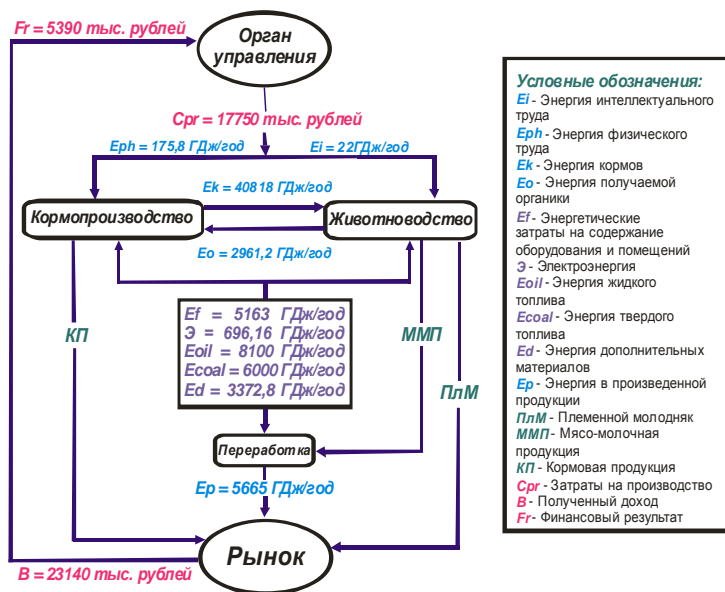


Рисунок 3 Структура потоков МЕИ в функционировании агроэкосистемы «СоМер-2»

Расчеты показывают, что в производственном процессе используется  $59,185 \cdot 10^{12}$  Дж/год. На содержание оборудования и помещений ежегодно тратится не менее  $5,163 \cdot 10^{12}$  Дж/год (в среднем 30% от затрат на создание основных фондов). Вместе с затратами на содержание, суммарные энергозатраты за год составили  $E_m = 64,348 \cdot 10^{12}$  Дж/год.

В воспроизводстве животных и получении сельскохозяйственной продукции главенствующую роль играет потребление кормовых ресурсов. На остальные статьи затрат приходится 36,6 % от общих энергетических вложений. Затраты же труда человека составляют 0,3%, что очень мало по сравнению с другими вложениями природно-антропогенной энергии.

Для сравнения выходных показателей эффективности функционирования предприятия, полученная продукция переведена в энергетические единицы. С использованием энергетической питательности мясо-молочных продуктов, подсчитан суммарный энергетический выход предприятия, который составил  $5,6 \cdot 10^{12}$  Дж/год.

Выходные показатели характеризуют эффективность функционирования предприятия. Сравнение выходного и входного энергетических потоков позволяет выявить потери в производственном процессе и установить действительные показатели расхода энергоресурсов для рассматриваемого хозяйства. Экономия и рациональное использование материальных ресурсов ведет к снижению давления на природную среду, а следовательно, к стабильной продуктивности экосистемы.

Из расчетов следует, что на производство 1 энергетической единицы продукции необходимо затратить 11,4 калории антропогенной и природно-антропогенной энергий (без учета природной энергии). В зависимости от климатических условий, вклад антропогенной и природной энергии варьирует, соотношение между вложениями промышленной и природной составляющей изменяется в течение года. Вклад природной энергии (с включением прямого потока солнечной энергии) составляет 18482 калории на 1 произведенную калорию мясо-молочной продукции. Отсюда следует, что природной энергии затрачено на 3 порядка больше, чем всех остальных видов энергии.

С экономической точки зрения исследуемое предприятие функционирует, получая прибыль, а значит, является рентабельным (см. рис. 3). Средняя относительная экономическая эффективность производства (соотношение прибыли к затратам) составляет 1,2.

Нами для агроэкосистемы «СоМер-2» была рассчитана энергетическая эффективность функционирования по хозяйственным подразделениям за рас-

смагиваемый период времени. Энергозатраты на производство в 11 раз превышают получаемую в продукции энергию. Энергетическая эффективность (отношение прироста получаемой продукции в энергетических единицах к энергозатратам на постадийное их производство) очень мала и равна  $5 \cdot 10^{-5}$ .

Энергетический анализ функционирования крестьянского хозяйства «СоМер-2» позволил выявить причины его энергетически низкой эффективности. В процессах производства и переработки сельскохозяйственной продукции используется высококачественная энергия органического топлива (нефтепродукты, уголь, природный газ и др.), которая в процессе функционирования переводится в тепловую энергию низкого качества. Кроме энергии, диссипируемой при этом в пространство, дополнительно теряется энергия, затраченная на отходы производства, которые, к сожалению, повторно не перерабатываются, а просто складываются, что негативно сказывается на «здоровье» окружающей среды.

Помимо вышеперечисленных потерь, при энергетической оценке агроэкосистем необходимо учитывать диссипацию энергии при переходе с одного трофического уровня на другой (правило 10%). То есть лишь 10% энергетической ценности кормовых ресурсов усваивается в организме животных, а остальная энергия расходуется на функционирование животного и выводится с отходами его жизнедеятельности.

Исходя из вышеизложенного полагаем, что актуален переход от традиционных высокоэнергозатратных систем сельскохозяйственного производства к адаптивным агроэкосистемам нового поколения.

***Третье защищаемое положение - Эффективное функционирование агроэкосистем возможно, при научном подходе к их организации и управлению, на основе замкнутого вещественно-энергетического цикла, с использованием энергии отходов собственного производства.***

Существующие методы организации сельскохозяйственных предприятий предполагают истощительные методы земледелия. В структуре современных АГЭС нет элементов управления, которые бы по достижении некоторого научно обоснованного и практически проверенного оптимального уровня продуктивности демпфировали дальнейший рост производительности системы. Научные исследования показывают, что по достижении уровня пороговых значений предприятие должно переходить преимущественно на интенсивные методы земледелия, предполагающие совместную с экосистемами деятельность, направленную к росту их продуктивности и устойчивости. Деятельность предприятия не должна быть разрушительной по отношению к эко-



системе, как это происходит в нынешних условиях; необходимо учитывать, что вклад экосистем в производство конечной продукции является определяющим.

*Структура функциональных отношений современной агроэкосистемы.* В качестве управляющих элементов в структурах экосистем (биогеоценозах) выступают генотипы (совокупность наследственных факторов) растений и животных и условия среды (температурный режим, влажность, инсоляция, минеральный субстрат), под которые генотипы и фенотипы, эволюционируя, формировались. Напомним, что главное свойство свободно функционирующих экосистем состоит в том, что они находятся в состоянии динамического равновесия с условиями среды. Их структура и продуктивность соответствуют энергетическим возможностям, под которые формируются их заданные состояния. Функции управляющего органа в экосистемах выполняют экологическая емкость и генотип.

В функционировании агроэкосистем к этим управляющим элементам добавляются еще и управляющие действия человека. Управление АГЭС в современных условиях должно осуществляться в соответствии с ее важнейшими целевыми функциями (выходными характеристиками): устойчивости, продуктивности и биоразнообразия.

Продуктивность  $P(t)$  экосистем, вследствие действия обратной отрицательной связи, достигая некоторой оптимальной величины  $P_o$ , стабилизируется -  $\Delta P(t) \rightarrow 0$ . Таким образом,  $P_o$  в агроэкосистемах выступает в качестве заданного состояния, а величина  $p(t)$ , стремящаяся к  $P_o$  ( $p(t) \rightarrow P_o$ ), – в качестве текущего состояния, так как  $P(t) = P_o - p(t)$ .

Схема управления АГЭС, как операционально замкнутой структурой, показана на рис. 4.

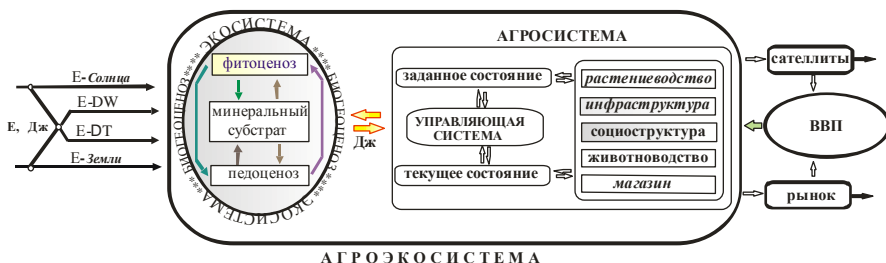


Рисунок 4 Структура функциональных отношений агроэкосистемы [Поздняков, Шуркина, 2008].

Управляющий орган АГЭС необходимо наделить функцией сравнения текущего состояния  $p(t)$  с заданным  $P_0$ . Когда предельные состояния заданы, то насыщение АГЭС ( $\Delta P(t) \rightarrow 0$ , прирост продукции затухает до нуля) осуществляется пропорционально разности между заданным и текущим состояниями, а когда характеристики предельного состояния системы формируются спонтанно, то процесс протекает пропорционально разности между суммарным предложением и суммарным спросом. Вследствие того, что рост предложения из-за истощения ресурсов (а на малых временных промежутках - вследствие стабилизирующей роли цены) затухает, то процесс в суммарном действии «спрос-предложение» стремится к равновесию. Социально-экономическая система при этом характеризуется стационарным, динамически равновесным режимом развития: ее выходные характеристики в течение времени меняются мало.

Действие отрицательной обратной связи, регулирующей динамику предприятия, например, по объему производимой продукции, осуществляется через соотношения *заданного и текущего состояния* социально-экономической системы: производительность социально-экономической системы, по мере приближения текущего состояния к заданному, стабилизируется.

*Перспективы перехода АГЭС на замкнутый вещественно-энергетический цикл с использованием энергии отходов собственного производства.* В перспективной модели предполагается возвращать в хозяйственный оборот часть производимой системой энергии, заключаемой в отходах, а также использовать дополнительную природную энергию, например солнечную, ветровую и др. Это позволит увеличить экологическую емкость среды, не нарушая естественной устойчивости экосистем, и, следовательно, увеличить продуктивность агроэкосистемы.

Для внедрения в структуру исследуемой агроэкосистемы альтернативных источников энергии была проведена оценка рентабельности эксплуатации биогазовых, ветроэнергетических и солнечных установок.

*Производство биогаза.* Перспективным, экологически безопасным и экономически выгодным направлением решения энергетической проблемы для агроэкосистем животноводческого направления является анаэробная переработка отходов в биогазовых установках с получением биогаза, а оставшаяся после такой естественной переработки органическая масса представляет собой качественное обеззараженное удобрение.

Ежегодно в процессе функционирования агроэкосистемы «СоМер-2» производится более 1000 т отходов жизнедеятельности животных, которые

можно было бы использовать для получения дополнительной энергии, производя одновременно органические удобрения. Как известно, под действием микроорганизмов-аэробов происходит медленное разложение отходов, с повышением температуры до 60°C. По объему эта тепловая энергия равна почти половине всей энергии, которая поступает с кормами.

Потребность предприятия в биогазе для отопления административно-производственных помещений, нагрева воды на хозяйственно-бытовые нужды и производство электроэнергии теоретически оценена нами в  $2,82 \cdot 10^{12}$  Дж/год. Теоретически из отходов животноводства рассматриваемой агроэко-системы возможно произвести  $3,71 \cdot 10^{12}$  Дж/год.

Теоретические расчеты показывают, что, учитывая собственные потребности биоустановки в электроэнергии и ее производственные потери не менее 30 %, ***при использовании биогаза можно покрыть расходы на отопление помещений, нагрев воды и электроэнергию на 85-95 %!***

*Ветровая энергия.* Сотрудниками Алматинского института энергетики и связи [см. сайт института], учитывая особенности территории Центрального Казахстана, предлагается в качестве ветроэнергоустановки применять винд-роторную электрическую станцию, которая преобразует кинетическую энергию ветрового потока в электрическую. Сконструированы несколько вариантов винд-роторных электростанций, по технологическим характеристикам приемлемых для внедрения в функционирование малых фермерских хозяйств. Стоимость их на порядок ниже зарубежных аналогов [Михайлова, 2007], и их функционирование возможно в условиях меняющихся направлений и скоростей ветрового потока.

Центральный Казахстан имеет довольно высокий потенциал развития альтернативной как солнечной, так и ветровой энергетики. При средней годовой скорости ветра 5,5 м/с мощность ветрового потока составляет 150-200 Вт/м<sup>2</sup>, а ежегодное поступление солнечной энергии - 5400-6800 МДж/м<sup>2</sup>.

Использование альтернативной энергии ветра в АГЭС «СоМер-2» применимо для подъема воды из артезианской скважины с помощью установки небольшой винд-роторной станции. В дальнейшем, как показывает опыт эксплуатации ветровых энергоустановок в западных странах, их количество можно увеличивать до разумных пределов и в сочетании с другими источниками энергии добиваться значительной эффективности.

Современные технологии в области солнечной энергетики малоэффективны для использования поступающей солнечной энергии в полном объеме. Доля используемой человеком солнечной энергии ничтожна, а высокая стоимость существующих солнечных батарей, значительные эксплуатационные

расходы на установку и обслуживание – все это делает их экономически невыгодным для внедрения в функционирование небольшого крестьянского хозяйства. Приемлемым способом внедрения солнечной энергии является использование простейших солнечных коллекторов в теплое время года, что позволит несколько сократить потребности хозяйства на подогрев воды для хозяйственных целей.

### **Заключение**

Основная цель диссертационного исследования состояла в разработке принципов энергетического анализа эффективности функционирования агроэкосистемы; в проведении этого анализа на конкретном примере, с тем, чтобы показать его достоинства, преимущества перед традиционными методами исследования антропогенного взаимодействия с природными процессами. В ходе проведения исследования установлено:

1. В традиционном плане исследования энергетической эффективности функционирования предприятий, в частности агроэкосистем, направлены на изучение энергетических потоков между элементами АГЭС, расходов энергии на производство различных видов продукции, но не на раскрытие механизма формирования целостности, динамики аккумулируемой ею энергии, вещества и информации. АГЭС, по умолчанию, рассматриваются как системы с обратной положительной связью, и управление ими считается прогрессивным лишь в том случае, если целевые выходные характеристики со временем растут. А это объективно предполагает нарастание, по законам обратной же положительной связи, процессов деградации окружающей среды: интенсивность деградационных процессов в заданный момент времени возрастает пропорционально достигнутому их уровню в предыдущий.

2. Весьма перспективным является переход к управлению агроэкосистемой как целостной самоорганизующейся структурой, функционирующей на принципах операциональной замкнутости и авторегулирования. Новый управляющий элемент, вводимый в структуру агроэкосистемы учитывает отношения «спрос-предложение-энергия» как в социально-экономических системах, так и в экосистемах.

3. Действие отрицательной обратной связи, регулирующей динамику предприятия, например, по объему производимой продукции, осуществляется через соотношения *заданного и текущего состояния* социально-экономической системы: производительность социально-экономической системы, по мере приближения текущего состояния к заданному, стабилизируется. В качестве заданного состояния в агроэкосистемах выступают их выход-

ные характеристики, связанные обратной связью переменного действия (отрицательной и положительной) с управляющими органами, и так, что при необходимости выходные характеристики сдерживают дальнейшее нарастание производства или, наоборот, инициируют производительность труда.

Вместе с тем управление ориентировано на развитие агроэкосистем, во-первых, за счет постоянных или медленно убывающих внешних (альтернативных) источников энергии, а с другой - за счет энергии, вырабатываемой самой системой в замкнутых циклах производства.

4. Предложенная методика энергетического анализа эффективности функционирования агроэкосистемы опробована на примере конкретного объекта исследования: крестьянское хозяйство «СоМер-2», расположенное в Карагандинской области Республики Казахстан, который может рассматриваться как тестовый участок для характеристики агроэкосистем степной зоны (данной территории и Западной Сибири РФ).

*Практическое апробирование теоретических положений позволило:*

- рассчитать наиболее реальную величину внесения органических удобрений для поддержания плодородия темно-каштановых почв; в энергетическом измерении она составляет  $3,7 \cdot 10^9$  Дж/га;

- определить для степной зоны Центрального Казахстана естественную экономию энергии, создаваемую за счет выпадения осадков, она составляет  $16,4 \cdot 10^9$  Дж/га.

- установить, что на производство 1 калории продукции агроэкосистемы в среднем расходуется 11,4 калории антропогенной и природно-антропогенной энергии. Из этих энергетических затрат на долю трудовых ресурсов приходится 0,3%; затраты электроэнергии составляют 1,1%; на дополнительные материалы расходуется 5,2%; затраты энергии на содержание основных фондов - 8%; расход жидкого и твердого топлива составляет 21,9%; кормовых ресурсов - 63,4%. В то же время доля энергии на производство 1 калории агроэкосистемы, с учетом полных затрат природной энергии (природной ренты), составляет 18482 калорий (доля солнечной энергии 99,96%, энергетического потенциала почвы 0,009%, энергии осадков 0,031%).

Энергетический анализ функционирования предприятий, в сочетании с экономическим, объективно отображает суть происходящих социально-экономических процессов и раскрывает истинные затраты труда на производство продукции, по существу являющиеся неразделимым результатом деятельности Человека и Природы. Энергетическая оценка эффективности производственной деятельности предприятий позволяет не только сравнивать

системы различной производственной специализации, функционирующие в конкретных природных условиях, но и количественно определять долю вносимого труда (энергии) Человеком и Природой. Естественно, что с позиций применяемой методологии действительная эффективность производства определяется энергетическим вкладом экосистем – с увеличением его доли эффективность производства растет. Данное обстоятельство является перспективным стратегическим ориентиром в дальнейшей хозяйственной деятельности. В производстве продукции, прежде всего сельскохозяйственной, следует отдавать предпочтение решению тех задач, которые предполагают возрастание энергетического вклада природы: увеличению потенциальной продуктивности почв, получению энергии в замкнутом цикле производства, использованию отходов производства, повышению эффективности использования солнечной энергии (увеличению плотности энергии) и пр.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации:**

*В издании, рекомендованном ВАК:*

1. Поздняков А.В., Шуркина К.А. Новый методологический подход к анализу функционирования агроэкосистем // Вестник ТГУ. 2008. № 316. С. 206-213.

*В других изданиях:*

2. Шуркина К.А. К методологии энергетической оценки эффективности функционирования социально-экономической системы // Глобальные пробл. и принципы устойчив. разв.: Материалы XLV Междунар. науч. студент. конф. «Студент и науч.-техн. прогресс». Новосибирск: НГУ, 2007. С. 121-122.

3. Шуркина К.А. Алгоритм энергетической оценки эффективности функционирования социальной эколого-экономической системы // Научная сессия ТУСУР-2007: Материалы докл. Всерос. науч.-техн. конф. студ., аспирантов и молодых ученых. Томск: В-Спектр, 2007. Ч.5. С. 65-67.

4. Шуркина К.А. Энергетическая оценка возможных рисков функционирования агроэкосистем как операционально замкнутых структур // Материалы седьмого сиб. совещ. по климат.-эколог. мониторингу. Томск: Аграф-Пресс, 2007. С. 214-217.

5. Шуркина К.А. К энергетической оценке состояния геосистем // Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии: Материалы XVIII молодежной науч. конф., посвящ. памяти чл.-корр. С-Петербург 2007, С.82-85.

6. Шуркина К.А. Методологические аспекты энергетической оценки эффективности функционирования экосистем // Материалы XIII науч. совещ.

географов Сибири и Д.В. Иркутск: Изд-во Ин-та геогр. СО РАН, 2007. С. 220-221

7. Шуркина К.А. Восстановление энергобаланса в агроэкосистемах // Глобальные пробл. и принципы устойч. разв.: Материалы XLVI Междунар. науч. студент. конф. «Студент и науч.-техн. прогресс». Новосибирск: Новосибир. гос. ун-т, 2008. С. 113-115.

8. Ksenia Shurkina, Alexander Pozdnyakov. Energy estimation of efficiency of functioning of agroecosystem // Studying, Modeling and Sense Making of Planet Earth. University of the Aegean. Mytilene, Greece. 2008. P. 74-75.

9. Ksenia Shurkina, Alexander Pozdnyakov. Energy estimation of efficiency of functioning of agroecosystem [Электронный ресурс] // Studying, Modeling and Sense Making of Planet Earth. University of the Aegean. Mytilene, Greece. 2008. Режим доступа: <http://www.aegean.gr/geography/earth-conference2008/papers/papers/B04ID071.pdf>

10. Шуркина К.А., Поздняков А.В. Методологические основы функционирования социально-экономической системы как операционально замкнутой структуры [Электронный ресурс] // II Всерос. науч.-практ. internet-конф. «Пробл. функц. и развития территор. соц.-экон. систем». Уфа, Ин-т соц.-экон. Исслед. Уфимского НЦ РАН. Режим доступа: <http://www.anrb.ru/isei/index1.htm>

11. Шуркина К.А. Энергетический подход к оценке функционирования агроэкосистемы как операционально замкнутой самоорганизующейся структуры [Электронный ресурс] // Материалы межд. шк.-конф., посвященной соц.-экол. пробл. природопользования в Центральной Сибири. Красноярск. Режим доступа: [http://conf.krasu.ru/conf/ecoproblem/sect?sec\\_id=416&memb\\_id=741](http://conf.krasu.ru/conf/ecoproblem/sect?sec_id=416&memb_id=741)