

**Принципы самоорганизации и функционирования геосистем
(К программе магистерского курса по специальности
магистр геоэкологии и природопользования)**

А.В.Поздняков

**Институт мониторинга климатических и экологических систем
СО РАН, Томск, synergeia@imces.ru**

В последние десятилетия отмечается заметный рост интереса ученых к новой методологии научного обобщения и интерпретации знаний, названной *синергетикой*. Она направлена на изучение механизмов неаддитивного суммирования разнородных систем и элементов и формирования новых целостностей, обладающих свойствами, не характерными для составляющих данную структуру частей (явление эмерджентности - *emergence* – возникновение нового).

Синергетика призвана вести исследования в пограничных областях знаний, направленных на выявление закономерностей самопроизвольного образования и разрушения упорядоченных пространственно-временных структур. Кроме того, синергетику с полным правом можно отнести к науке, изучающей процессы целесообразной самоорганизации устойчивых структурных целостностей в природе и, как ее части, в обществе.

В современном представлении присутствует убеждение, что Земля и все сущее на ней создано для Человека, и только он наделен правом, способностями и возможностями управления земными процессами для удовлетворения своих потребностей. В основном по этим причинам в моделях функционирования экономических систем практически не учитывается экологическая составляющая. Она лишь декларируется. Между тем в век промышленно-индустриального развития не учитывать этого фундаментального обстоятельства недопустимо. Техногенные процессы неаддитивно (синергетически) суммируются с результатами спонтанно протекающих процессов в экосистемах, происходящих в латентной форме, и несут риски для различных видов практической деятельности. Наблюдается заметное нарастание причинно неопределенных экологических событий, воспринимаемых как неожиданные.

Цель магистерского курса, согласно замыслу, состоит не в утилитарной передаче студентам новых знаний, а в организации научно-исследовательской среды, в которой студенты-магистранты представляли бы составную, равноправную ее часть. Эта среда должна предполагать раскрытие способностей магистрантов к системному анализу сложных систем, развитию навыков практического применения получаемых знаний. Значительное место в данном магистерском курсе отводится проведению исследовательской работы, направленной, прежде всего, на определение энергетической эффективности функционирования сложных эколого-экономических и эколого-промышленных систем; эта работа будет вестись на конкретных примерах предприятий субъектов РФ как самоорганизующихся структур федерального масштаба.

В основе научно-методологической концепции подготовки магистров и научных исследований является разрабатываемая нами теория операционально-замкнутых самоорганизующихся структур. Она позволяет объединить различные взгляды исследователей, дать физическое и экономическое толкование процессам энергообмена и проследить их отображение на функционировании геосистем.

Геосистемы представлены большим классом операционально замкнутых структур различной природы, начиная от систем косной среды и кончая социально-экономическими целостностями. Все они характеризуются генетически приобретаемой способностью к понижению своей энтропии благодаря действию обратных отрицательных и положительных связей. В условиях регламентируемых возможностей получения энергии из среды, геосистемы не выходят за пределы динамически равновесных состояний. Таковыми являются экосистемы различного ранга и типа и социосистемы, образуемые аборигенами тропических лесов или оленеводов. При избытке энергии развитие систем осуществляется на основе преобладающего действия положительных обратных связей. И тогда они переходят в категорию систем, удаляющихся от равновесия. Поддержание их устойчивости становится возможным за счет привлечения дополнительного и все более возрастающего количества энергии и, как следствие, вещества и информации. В современной теории социально-экономического развития считается, что именно такие системы являются прогрессивно развивающимися. А вопрос, как долго такое развитие может быть устойчивым, откладывается на будущее в надежде, что со временем человечество найдет возможности получения избыточной энергии. При этом не учитывается, что образование устойчиво функционирующей гомеостатической структуры возможно лишь при условии неразделимого взаимодействия положительных и отрицательных обратных связей. Отсутствие в структуре системы одной из них с неизбежностью ведет к разрушению системы - вследствие лавинообразного нарастания внутренних противоречий. Вопрос здесь только во времени.

Главным фактором, обуславливающим действие отрицательных обратных связей (ООС) в различных формах ее проявления, является емкость среды, или экологическая емкость. Применительно к социально-экономическим системам, емкость среды включает в себя не только размеры территории и разнообразие природных условий, но и запасенные в геологические эпохи различные виды полезных ископаемых, почвенный покров и все биологическое разнообразие. В составляющих среду экологических системах наруше-

ние равновесия восстанавливается благодаря немедленному демпфирующему действию отрицательных обратных связей. И именно поэтому экосистемы обладают гомеостатическими свойствами и своеобразной обратимостью, тогда как в социально-экономических системах действия ООС демпфируются искусственными способами, с непременным использованием невозобновляемых источников энергии. В конечном счете, это позволяет им удаляться от равновесия. Валовой общественный продукт $Q(t)$ предприятий и государств, вышедших на путь промышленно-индустриального развития, возрастает пропорционально самому себе: $dQ/dt=Q(t)$.

Суть противоречий в отношениях между экосистемами (Экос) и социально-экономическими системами (СЭС) состоит в том, что оптимальным состоянием динамики для первых является динамическое равновесие, тогда как для вторых - удаление от него. Причем степень удаленности со временем все более возрастает.

Этот диссонанс отношений объективно порождает проблему «устойчивого развития» - в отношении возможностей и методов его достижения. Очевидно, что решение этой проблемы должно основываться на рассмотрении динамики СЭС и Экос, как единой саморазвивающейся и операционально замкнутой структуры, в которой цели, связанные с производственной экономической деятельностью человека, не являются определяющими. Однако если проблема в таком аспекте и рассматривалась [Одум, 1996; Миндрин, 1997; 2003], то преимущественно как раз в соответствии с утилитарными целями развития СЭС.

Решение задачи в рамках предлагаемой нами методологии [Поздняков, 1998; Shurkina, Pozdnyakov, 2008] предполагает применение энергетической меры определения эффективности функционирования геосистем, в противовес применяющимся экономическим денежным оценкам. Данная методология является передовой в сравнении как с российскими аналогичными исследованиями [Денисенко, 2000; Фельдман, Денисенко, Логофет, 1998; Миндрин, 2003], так и зарубежными [Patterson, 1998; Pimentel, Rodrigues, Wane, 1994; Brown, Ulgiati, 1999].

Таким образом, задачи энергетической оценки эффективности функционирования геосистем состоят в необходимости их рассматривать во взаимодействии с емкостью среды, поставляющей энергию и вещества, и другими типами самоорганизующихся геосистем, играющих роль сателлитов, среди которых нами выделяются сателлиты-партнеры и сателлиты-паразиты.

СТРУКТУРА МАГИСТЕРСКОГО КУРСА

1. Современные проблемы экологии и природопользования - 100 ч.

Курс лекций по данному разделу является вводным. Он предполагает получение магистрантами знаний по современным проблемам развития цивилизации, обуславливаемым экологической емкостью. В разделах этого курса рассматриваются общие взаимосвязи геоэкологических научных направлений в условиях быстро меняющейся экономики и политики. Основные противоречия в отношениях социо- и экосистем; консьюмеризм. Возможные пути преодоления противоречий. Парадигма устойчивого развития и ноосферная парадигма. Проблемы устойчивого развития, связанные с ними иллюзии. Антропоцентризм и пантеизм. Современные проблемы мондиализма. Важное место в разделе отводится рассмотрению нового, развиваемого автором направления ноократии и ноократическим формам управления, предполагающим широкое применение в политических и экономических управляющих функциях научной методологии. Экономическая эффективность природопользования; возможности государственного регулирования и рыночных инструментов для рационализации природопользования.

2. Синергетика геосистем (специальные дисциплины – 900 ч.)

Курс лекций основывается на методологии синергетики. Поэтому все входящие в него дисциплины, включая научно-исследовательскую практику, рассматриваются с позиций теории самоорганизации геосистем.

2.1. Учение о процессах самоорганизации геосистем. Исторические основы синергетики геосистем. Идеи, гипотезы, концепции, тенденции развития, законы и закономерности в географических науках экологического профиля. Телеологические направления и междисциплинарные исследования. Общие методологические принципы: принцип историзма, генетический принцип, принцип униформизма, конформизма и актуализма. Принцип синергизма - всеобщей связи явлений. Принцип эмерджентности (неаддитивности). Принципы неопределенности и контингентности в отношениях «экосистема - исследователь».

2.2. Фундаментальные закономерности самоорганизации геосистем. Геосистема – определение, понятия. Типы самоорганизующихся геосистем. Самоорганизация и организация операционально замкнутых структур. Принципы взаимодействия геосистем в сложных самоорганизующихся динамических структурах (предприятия, государства, надгосударственные объединения).

Элементы и их свойства; самопроизвольное объединение элементов в целое, их причины. Система - понятия, определение. Дихотомические свойства систем. Источники вещества, энергии и информации; создание новых (искусственных) видов (форм) вещества, энергии и информации. Диссипация вещества и энергии. Особенности механизма взаимодействия потоков вещества и энергии в экосистемах. Сходство и различия в процессах самоорганизации биосферных и косных систем. Особенности взаимодействия потоков вещества и энергии в социально-экономических системах.

2.3. Законы термодинамики и особенности их действия в динамике геосистем. Начала термодинамики. Геосистемные следствия законов термодинамики. Необратимые и обратимые процессы в физических и технических системах; необратимость и обратимость в системах косной среды, в сложных техногенно-природных системах и в системах «человек-машина».

2.4. Обратные положительные и отрицательные связи и механизмы их действия. Особенности действия обратных связей в социально-экономических системах (СЭС). Обратные отрицательные и положительные связи прямого и опосредованного действия. Бинарные структуры в самоорганизации природных систем и социально-экономических.

Процессы бифуркации. Порядок и хаос, их взаимопереходы в развитии геосистем. Причины и условия разрушения хаоса и формирования порядка.

Аттракторы и аттрактивные цели формирования систем. Аттрактивные цели развития экосистем и причины их изменения. Динамическое равновесие экосистем, условия его установления и разрушения. Самоорганизация геосистем как результат спонтанного стремления к динамическому (подвижному) равновесию. Потоки вещества, энергии и информации в природе. Типы потоков, особенности их взаимодействия.

2.5. Хаотические состояния в динамике геосистем. *Недетерминированный хаос* - неустанавливаемая причинно-следственная зависимость в отношениях между свойствами элементов геосистем. Принципиально неустранимый характер случайности и развития хаотического режима в развитии геосистем. *Детерминированный хаос*. Критические состояния перехода геосистем в хаотический режим.

2.6. Фрактальный подход в описании динамики геосистем. Структура реальных природных образований, существование «неправильных» форм. *Свойства самоподобия*. Масштабная инвариантность, упорядоченность и сложная хаотичность формы. Временная и пространственная фрактальность. *Фрактальная размерность границ и линейных геосистем*. Размерность Хаусдорфа-Безиковича. Фрактальный анализ строения косных систем, социально-экономических систем. Фрактальность иерархической соподчиненности административно-управленческой структуры социально-экономических систем. Фрактал как показатель степени упорядоченности геосистем.

2.7. Проблемы организации общества устойчивого развития. Устойчивость геосистем. Определение понятия устойчивости применительно к конкретным системам. Устойчивое развитие геосистем как искусственно поддерживаемая обратимость процессов. Инерционность развития геосистем, проблема *path independence*.

Понятия упорядоченности/неупорядоченности систем. Энтропия - мера устойчивости, упорядоченности и неопределенности состояния и развития геосистем. Хаос и порядок в экосистемах.

Конфликт во взаимоотношениях социально-экономических (СЭС) и экологических (ЭКОС) систем и его суть. Нарушение состояния динамического равновесия экологических систем.

Аттрактивные, спонтанно формирующиеся цели развития общества. Пассионарные цели и их несоответствие с аттрактивными, причины несоответствия.

Устойчивое самоорганизующееся развитие СЭС и ЭКОС, сходства и различия. Формирование социальных эколого-экономических систем и общества устойчивого развития на принципах рыночных отношений, частной собственности на природные ресурсы и средства производства в условиях роста разнообразия потребностей.

Формирование социальных эколого-экономических систем и общества устойчивого развития на принципах плановой экономики и государственной собственности на природные ресурсы и средства производства в условиях планируемого разнообразия потребностей.

2.8. Модели динамики самоорганизующихся систем. Экспериментальная геоэкология и география. Натурные эксперименты и эксперименты на физических моделях (климатические камеры, оранжереи). Основы математического моделирования, его роль и значение. Математическое имитационное моделирование динамики геосистем.

Принципы разработки моделей динамики систем. Системный анализ в разработке моделей. Разработка схем структуры функциональных отношений. Составление потоковых диаграмм моделей динамики систем.

Модели различных типов: с волюнтаристским управляющим органом – с идеологически формирующимися (пассионарными) целями развития; модели стихийно развивающихся систем; модели систем с заданным состоянием.

2.9. Картографические методы и ГИС-технологии. Основные типы картографического отображения динамики геосистем. Виды карт: карты, отображающие статическое состояние геосистем; карты динамики геосистем.

2.10. Модели глобального развития. Модели Форрестера и Д.Медоуза; модель Месеревича-Пестеля (М-П-модель); модели Егорова и Матросова. Модели регионального развития.

Модели функционирования промышленного предприятия как социальной эколого-экономической системы. Модели функционирования агроэкосистем. Модель функционирования региона как целостной самоорганизующейся системы.

Специальные курсы лекций по выбору магистрантов определяются основными направлениями специальных дисциплин и темами магистерских диссертаций, согласованными с научным руководителем.

Региональный (вузовский) компонент – 542 ч.

3. Специальные дисциплины магистерской подготовки, региональный компонент

3.1. Энергетический базис социально-экономических систем. Неадекватное отображение реальной стоимости природных ресурсов способом денежных оценок. Энергия – универсальная мера стоимости природных ресурсов, товаров и услуг. История существующих подходов в определении стоимости ресурсов и результатов трудовой деятельности.

История развития энергетических теорий стоимости. Теории стоимости в классической и неоклассической экономике; теории стоимости в экологической экономике; теория *физиократов*. Эгоцентрический (антропоцентрический) подход в определении стоимости ресурсов: «стоимость существования».

3.2. Методология энергетического анализа природных комплексов. Энергия солнечных лучей как основной источник постоянного притока энергии и спонтанно формирующихся потоков энергии на Земле. Потоки энергии, инициируемые человеческой деятельностью. «Базовые» вещества и энергия. Затраты «базовых» веществ и энергии на свое воспроизводство. Затраты «базовых» веществ и энергии на производство новых форм энергии и вещества. Причины экстенсификации использования природных ресурсов. Особенности диссипации вещества и энергии в экосистемах.

Энергетический эквивалент стоимости ресурсов. Сопоставление ценности товаров, услуг и природных ресурсов в единицах энергии.

Эколого-энергетический подход. Энергетическая эффективность, понятия и определения. Показатель эффективности использования энергии. Удельная первичная продукция, затраты энергии природного топлива, общие затраты энергии. Затраты энергии на единицу полезной продукции. Вклад возобновляемых природных ресурсов.

«Бухгалтерия окружающей» среды. Энергетическая теория стоимости Г.Одума. Энергия и эмергия, понятия, определения, единицы измерения. Эффективность использования природных ресурсов и ее мера. Принципиальные различия экосистем и социосистем по использованию энергии.

Экономический показатель эффективности работы социально-экономической системы.

3.3. Энергетический и эколого-энергетический анализ функционирования агросистем. Агросистема как преобразователь поступающей возобновляемой и невозобновляемой энергии в выходной поток энергии. Входные потоки искусственной энергии, выходные потоки энергии – энергия, затраченная на производство продукции.

Структурная организация агросистем; потери эмергии в агросистемах; нормированные потери эмергии в растениеводстве – отношение потерь к единице используемой площади. Нормированные потери эмергии в животноводстве – отношение потерь эмергии к единице веса биомассы животных. Относительная энергетическая эффективность агросистемы.

3.4. Самоорганизация экосистем в зонах интенсивного преобразования среды (дисциплины по выбору студента - 150 ч).

Организация и развитие геосистем, контролируемых человеческой деятельностью. Направленные обратимые и необратимые изменения геосистем. Водохранилища как самоорганизующиеся экосистемы, контролируемые антропогенной деятельностью. Самоорганизация геосистем в зонах разработки полезных ископаемых. Характер изменения потоков энергии и вещества и процессы самоорганизации геосистем в зонах действия АЭС, ГЭС, ТЭЦ и др.

Особенности самоорганизации экосистем вдоль трасс газо- и нефтепроводов, транспортных авто- и железнодорожных магистралей.

Процессы самоорганизации припоселковых экосистем, приусадебных участков и дачных кооперативов. Геосистемы мегаполисов. Процессы самоорганизации в агроэкосистемах промышленного типа и натурального хозяйства.

4. Эколого-энергетический анализ (совместная научно-исследовательская работа студентов и профессорско-преподавательского состава - 1964 ч.)

4.1. Закон возрастания денежной и энергетической стоимости природных ресурсов. Рост разнообразия потребностей общества и диссипации энергии. Объективные причины увеличения затрат энергии и вещества на поддержание постоянного уровня развития социально-экономических систем. Денежные оценки стоимости природных ресурсов; неадекватное отражение реальной стоимости природных ресурсов; вклад накоплений в природные ресурсы возобновляемых источников. Экологическая составляющая в экономической оценке природных ресурсов.

Методы энергетической оценки. Потоки энергии в самоорганизующихся природных и социально-экономических (индустриальных) системах разного ранга. Анализ энергетических потоков в агросистеме и определение энергетической «цены» производства. Затраты энергии на производство единицы продукции на единицу площади (Гдж/га). Энергетическая и экономическая эффективность производства.

4.2. Структурные потоковые модели с учётом экологических факторов. Виды потоков энергии и их носителей, включаемые в потоковую структуру. Единицы измерения потоков энергии. Виды продукции и ее энергетический эквивалент.

Распределители выходных потоков вещества и энергии в агроэкосистемах - управление потоками в целях оптимизации функционирования системы.

Преобразователи потоков вещества и энергии – перевод их из одной формы в другую в целях оптимизации производственных процессов.

Накопители данных по энергии и веществам.

Источники потоков – внешние входы в систему для накопления данных по энергии.

Сток – общий выход системы, количественно характеризующий потребление и диссипацию энергии.

Математическая формализация модели. Количественная оценка энергетических затрат в динамике эколого-экономических систем на конкретных примерах: сельхозкооперативов, различных типов агроэко-систем, промышленных предприятий и пр.; региональных структур (районов, областей, субъектов РФ). Построение энергетической диаграммы с описанием производственных процессов. Оценка баланса энергии. Анализ полученных результатов.

Потоки, участвующие в процессе: солнечная энергия – среднегодовая сумма прямой солнечной радиации (сДж/м²/год); осадки – среднегодовая сумма осадков (мм/год); техника и инфраструктура – затраты на поддержание всего комплекса технических сооружений; топливно-энергетическая ценность носителя (Дж/сут); человеческий труд – затраты энергии + ценность принимаемых решений; ядохимикаты, удобрения, почва.

4.3. Управление организованными и самоорганизующимися геосистемами различных типов. Сциентическое мировоззрение, его развитие. Наука и власть; наука и идеология, наука и политика. Становление и развитие теории управления. Управление и самоуправление. Роль науки в управлении социальными эколого-экономическими процессами. Стратегия управления на основе аттрактивных целей развития геосистем. Механизм реализации принятых решений в соответствии с сохранением инварианта структуры функциональных отношений геосистем.

5. Научно-педагогическая практика – 216 ч.

Цели и задачи проведения научных семинаров и конференций. Методы проведения и организации. Специфика и требования к пленарным докладам, стендовым докладам. Организация и проведение научных дискуссий.

Участие в работе Всероссийского постоянно действующего научного семинара «Самоорганизация устойчивых целостностей в природе и обществе». Организация и проведение научных семинаров, студенческих научных конференций; практические занятия со студентами-бакалаврами. Участие в работе международных, всероссийских и региональных конференций (с обязательным представлением стендовых докладов). Оформление результатов исследований для публикации статей в научных журналах.

6. Подготовка магистерской диссертации – 884 ч.

В течение первого семестра обучения магистранты, под руководством научных руководителей, выбирают темы своих магистерских диссертаций, излагают общее представление о сути проблемы, ее научно-теоретической и практической актуальности. Магистерские диссертационные исследования проводятся в течение 2-х лет в процессе усвоения курса специальных дисциплин. Научные руководители диссертантов назначаются в основном из числа преподавательского состава кафедры; в качестве научных консультантов желательно привлекать руководителей предприятий по месту прохождения магистрантами научно-исследовательской практики.

Итого часов специализированной подготовки магистра 4 256 ч.

Общий объем часов подготовки магистра – 12 572 ч.

7. Условия формирования контингента магистрантов

Планируется готовить специалистов в области геоэкологии, с уклоном на экономику и управление природопользованием. Согласно предлагаемой программе подготовки магистров по данным направлениям, важное место по объему лекционных курсов, семинарских занятий и практической научно-исследовательской работы будет занимать энергетическая оценка экономической эффективности работы социально-экономических систем. Отбор претендентов в магистратуру будет осуществляться по отлично зарекомендовавшей себя методике, применявшейся Московским физтехом: кроме уровня вузовской подготовки абитуриента, учитывается реферат по избранной теме и результаты собеседования в кругу членов комиссии.

Учебно-методические сессии преподавательского состава кафедры. Курсы лекций будут пересекаться, образуя единое множество, с целью достижения синергетического единства. Это одно из основных условий, которое должно непременно выполняться, чтобы получить положительные результаты. Это единство будет отрабатываться и совершенствоваться постоянно на семинарах кафедры, с периодичностью не менее двух раз в месяц, и сессиях - два раза в год: перед началом учебных занятий и по их окончании.

Заключение. Предлагаемый магистерский курс подготовки специалистов по программе синергетики геосистем основывается на лучших традициях советского и российского образования, в сочетании с передовым зарубежным опытом. Это позволит выпускникам магистратуры получить объем профессиональных знаний, востребованных в различных направлениях хозяйственной деятельности, связанной с рациональным освоением природных ресурсов.

Магистерский курс по синергетике геосистем будет завершать цикл непрерывного инновационного образования, от специалиста и магистра до аспирантуры и профессиональной переподготовки и курсов повышения квалификации управленческого персонала в области охраны природной среды, рационального природопользования, управления предприятиями. Одновременно будет осуществляться управленческий консалтинг.

Государственный статус курса, предполагающий достаточно строгую регламентацию научно-образовательного процесса, в определенной мере будет ограничивать степень свободы. Поэтому для создания условий саморазвития и поддержания склонностей к инновациям предусматривается подготовка специалистов с базовым магистерским уровнем образования по заказам предприятий, с учетом их особенностей функционирования. Данное обстоятельство предполагает некую независимость процесса принятия решений и формирования инновационных научно-образовательных стратегий.

Литература

- Денисенко Е.А. Энергетическая оценка производства озимой пшеницы на территории России // Известия РАН. Сер. геогр. 2000. № 6. С. 66-72
- Миндрин А.С. Энергоэкономическая оценка сельскохозяйственной продукции. М.: ЦНИИМ, 1997. 294 с.
- Миндрин А.С. Энергоэкономическая оценка сельскохозяйственной продукции [Электронный ресурс]: Дис. ...д-ра экон. наук. М., 2003 (Из фондов Рос. Гос. библ.).
- Поздняков А.В. Стратегия российских реформ. Томск: Спектр, 1998. 324 с.
- Фельдман О.В., Денисенко Е.А., Логофет Д.О. Энергетический подход при оценке эффективности использования ресурсов // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ, 1998. С. 66-81.
- Brown M. T., Ulgiati S. Emergy evaluation of biosphere and natural capital // *AMBIO*. 1999. Vol. 28, №6. P. 145-155
- Odum Howard T. Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making / Howard T. Odum. N.-Y., 1996
- Patterson M. Commensuration and theories of value in ecological economics // *Ecological Economics*. 1998. № 25. P. 105-125.
- Pimentel D., Rodrigues G., Wane T. Renewable energy: economic and environmental issues // *BioScience*. 1994. Vol. 44, № 8.
- Shurkina K., Pozdnyakov A.. Energy estimation of efficiency of functioning of agroecosystem (Энергетическая оценка эффективности функционирования агроэкоосистем) // *Studying, Modeling and Sense Making of Planet Earth: International Conference*. 1 – 6 June, 2008. University of the Aegean. Mytilene, Greece. 2008. P. 74-75. Полный текст: <http://www.aegean.gr/geography/earth-conference 2008 /papers/papers/B04ID071.pdf> .