TEMPUS-TACIS Project CD_JEP 21242-00/Ukr

«Education Development in Environmentally Safe Energetics»

ПРОЕКТ ТЕМПУС-ТАСИС:
"Развитие образования в области экологически безопасной энергетики"

Проект относится к высшему образованию в области окружающей среды применительно к альтернативной энергетике.

Цель Проекта - развитие в Украине образования для подготовки менеджеров регионального развития альтернативной энергетики и энергоэкологии.

С украинской стороны ключевыми партнерами Проекта выступают:

- Харьковский национальный университет имени В.Н.Каразина (вуз-координатор), кафедра геомониторинга и охраны природы;
- Таврический национальный университет имени В.И.Вернадского, кафедра геоэкологии, (г. Симферополь, АР Крым);
- Восточно-Украинская Ассоциация предприятий в отрасли экологически безопасной энергетики и энергосбережения (г.Харьков).

Зарубежными партнерами Проекта являются:

- Политехнический университет Каталонии (UPC, Испания; вуз-контрактор);
- Научно-технологический институт университета Манчестера, (UMIST, Великобритания);
- Национальный институт прикладных научных исследований Ренна, (INSA -Rennes, Франция).

Серия учебных пособий предназначена для обеспечения обучения магистров и кандидатов наук по специальностям «Экономическая и социальная география» и «Экология и рациональное природопользование» для специализаций:
- природоохранный менеджмент и мониторинг,
- экоэнергетика и устойчивое развитие.

Заявки на учебные пособия Вы можете направить по следующему адресу:

Кафедра геомониторинга
и охраны природы
пл. Свободы, 4
г. Харьков, 61077
Украина

Тел./факс: (057) 705-20-79

www.univer.kharkov.ua

Геосистемные основы управления природной средой

EDUCATION DEVELOPMENT IN ENVIRONMENTALLY SAFE ENERGETICS
РАЗВИТИЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Education and Culture

Tacis

Черванев И.Г., Боков В.А., Тимченко И.Е.

Геосистемные основы управления природной средой

Харьковский национальный
университет
имени В.Н.Каразина

Таврический национальный
университет
имени В.И.Вернадского

Международный проект Темпус-Тасис CD_JEP 21242-2000/Ukr

Черванев И.Г.
Боков В.А.
Тимченко И.Е.

ГЕОСИСТЕМНЫЕ ОСНОВЫ
УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДОЙ

Учебное пособие

**Научный редактор – чл.-кор. НАН Украины
профессор Н.В.Багров**

Харьков – 2004

УДК 551.4+ 316.722

Изложен понятийный аппарат современной географии, который должен служить методологической базой разработки управления природной средой. Приведены концептуальные модели некоторых комплексных социо-эколого-экономических систем (СЭЭС), разработанные геокибернетикой.

Учебное пособие предназначено для обучения менеджменту окружающей среды на магистерском уровне. Может использоваться аспирантами и соискателями для совершенствования знаний и подготовки к кандидатским экзаменам.

Рекомендовано к изданию Ученым советом геолого-географического факультета Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина

Учебное пособие издано за счет средств международного проекта ТЕМПУС-ТАСИС
CD_JEP 21242-2000/Ukr “Education Development for Environmental Safe Energetics” в числе серии учебно-методических работ.

Редакционная коллегия серии:

проф. И.Черванев (председатель), проф. В.Боков, проф. А.Кузин (Украина), д-р И.Клемеш (Великобритания), проф. С.Моншо (Франция), проф. Л.Пуинжьянер (Испания).

An intelligible apparatus of the modern geography are stated, which has to serve as methodological base of the environmental management development. Conceptual models of some complex socio-ecology-economy systems (SEES) are adduced. These models have been elaborated by geo-cybernetics.
The manual is assigned for the environmental management studying at the masters’ level. It may be used by PhD students for knowledge improvements and preparation to the PhD exams.

Recommended to the publication by the Scientific council of the Kharkiv Karazin National University.

The manual is a part of the series of teaching and methodological publications printed under the financial support of the European Union, TEMPUS-TACIS Project CD_JEP 21242-2000/Ukr “Education Development for Environmental Safe Energetics”.

Editorial team of the series of teaching and methodological manuals:

Prof. I. Chervanyov (chief), Prof. V. Bokov, Prof. O. Kuzin (Ukraine), Dr. J. Klemes (UMIST, the United Kingdom), Prof. S. Monchaud (INSA-Rennes, France), Prof. L. Puigjaner (UPC, Spain).

© Черванев И.Г., Боков В.А., Тимченко И.Е.
© Темпус-Тасис, 2004
© Харьковский национальный университет, 2004
© Таврический национальный университет, 2004

Оглавление

	стр.
От научного редактора	**4**
ВВЕДЕНИЕ	**8**
Модуль I. МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОКИБЕРНЕТИКИ	**17**
Тема I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ	**17**
I.1. Семейство понятий «ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОСИСТЕМЫ»	**18**
I.2. Семейство понятий «ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО»	**23**
I.3. Семейство понятий «ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ»	**30**
I.4. Взаимосвязь пространства и времени	**34**
I.5. Самоорганизация и саморегуляция	**41**
Модуль II. ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОСИСТЕМ	**62**
II.1. Понятие оптимизации	**62**
II.2. Постановка проблемы оптимизации	**64**
II.3. Пространственные и временные масштабы воздействий на геосистемы	**65**
1.4. Методология решения оптимизационной задачи	**72**
Модуль III. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИЙ	**75**
III.1. Принципы управления геосистемами	**75**
III.2. Системные концепции устойчивого развития	**78**
III.3. Диаграмма управления устойчивым развитием	**80**
III.4. Концептуальные модели управления природно-хозяйственными комплексами	**82**
III.5. Основные положения метода системной динамики	**83**
III.6. Построение концептуальной модели природно-хозяйственного комплекса	**86**
III.7. Взаимосвязь природных и социально-экономических процессов	**89**
III.8. Активные воздействия на атмосферные процессы - пример управления геопроцессами	**92**
III.9. Активные воздействия на влагооборот и водный баланс	**94**
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	**98**
SUMMARY	**100**

200-летию
Харьковского национального университета
имени Василия Назаровича Каразина
посвящается

От научного редактора

Еще античные человеческие цивилизации (древнеегипетская, шумерская, древнекитайская) за несколько тысячелетий своего существования накопили определенный эмпирический опыт целенаправленного воздействия на природную среду с целью получения определенного положительного результата. Поразительно, что некоторые идеи управления окружающей средой относятся к самым ранним стадиям развития человеческих общностей.

Интересные обобщения геокибернетического опыта шумерской (приречной) цивилизации сделаны В.Чернышом [1], а в социально-этническом аспекте – М. Мечниковым, Н. Данилевским, Л.Гумилевым [2]. Пожалуй, наиболее ясное суждение об «организованности среды» было сформулировано еще в 1937 г. (т.е. в год официального формулирования начал теории систем Людвигом фон Берталанфи) В.И.Вернадским в «Очерках геохимии »[3], где он, в частности, отметил:

«Земная кора и, очевидно, сама Земля, не есть инертное место в Космосе не связанных между собой явлений: она является своеобразным механиз-

[1] *Черныш В*. Геокибернетика. – М.: 1988.
[2] *Гумилев Л.* Этногенез и биосфера Земли. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989.
[3] *Вернадский В*. Очерки геохимии. М.: 1937.

мом, обладает известной организованностью, которую мы только начинаем вскрывать» (с. 101).

В этом учебном пособии авторы, развивая и углубляя идеи классического землеведения, делают определенный шаг в сторону овладения природными механизмами саморегуляции Ее Величества Природы, что является необходимой предпосылкой устойчивого развития современного человечества. Не могу не отметить, что в определенном смысле идеи управления природной средой перекликаются с задачами политической экологии, которые мне пришлось сформулировать в начале 90-х гг. XX в., и региональной геополитикой, которая, опять же, по моему убеждению, и результатам специальных исследований, должна стоять на позициях разумного управления природными потенциями саморегуляции, без чего человечество будут обречено на постоянное «латание дыр» и устранение просчетов в отношениях с природной средой.

Непосредственной задачей этого пособия, которая стоит перед всеми участниками процесса его подготовки, является обеспечение обучения менеджменту окружающей средой при подготовке менеджеров регионального развития альтернативной энергетики и менеджеров природоохранной и экологической деятельности, которых готовят совместно Харьковский и Таврический национальный университеты в рамках международного проекта Темпус-Тасис CD_JEP 21242-2000/Ukr “Education Development on Environmentally Safe Energetics”, выполняемого консорциумом из 5 университетов Западной Европы и Украины, в котором именно украинские университеты играют определяющую роль, т.к. им принадлежит ответственность за качество интеллектуального продукта, подготавливаемого этим консорциумом. Уже начата подготовка и состоялся первый выпуск магистров и кандидатов наук в этом новом для Украины научно-прикладном направлении, от овладения которым зависит геополитическая независимость страны в самой критической сфере современной экономики, имеющей огромное социальное и геоэкологическое значение. Крымский регион в этом отношении играет ключевую роль, т.к. именно здесь, в силу ряда благоприятных причин, впервые в Украине развернуто промышленное освоение альтернативных неисчерпаемых энергоисточников.

В то же время, и авторы, и редактор придерживаются мысли, что сверхзадача этого учебного пособия – ввести читателя или обучающегося (в том числе, возможно, из числа инженерно-технических кадров, переподготавливаемых для работы в сфере альтернативной энергетики) в мир организованной Природы, где, как иногда образно говорят, «*достаточно взмаха*

крыльев мотылька, чтобы породить бурю». И сама история человеческих цивилизаций, и наша современность полны примерами того, как малое воздействие, чаше всего носящее побочный характер, способно приводить к последствиям невероятной мощи или же непредсказуемого значения. Примерами таких неожиданных эффектов переполнена научно-популярная литература, где они преподносятся как «уроки прошлого». Но как усвоить эти уроки? Достаточно ли не повторять то же самое воздействие, которое оказалось с негативным эффектом? Я думаю, этого мало. Необходимо установить, почему так происходит. И здесь мы обязаны обратиться к основам учения о самоорганизации открытых систем Природы, которые, как показано И.Пригожиным [4]. В подзаголовке этой замечательной книги написано: «Новый диалог человека с природой». И это так. Илье Пригожину удалось ясно сформулировать мысль, которая витала в воздухе в научной географической литературе: *природа земной поверхности – это устойчиво неравновесная открытая система.* В таких системах возможны, по крайней мере, два крайних сюжета, со многими переходами между ними: один - возникновение порядка из хаоса, что демонстрирует нам эволюция различных сложных систем – от Вселенной до микромира в капле воды; другой – это разрушение порядка незначительными воздействиями (что можно увидеть и в природе, и в социальной сфере – но ведь она тесно связана с природой человека). В таких природных условиях даже безобидные, с инженерной точки зрения, воздействия на Природу, на геосистемы Природы могут оказаться «на выходе» фатальными или угрожающими, а могут и просто коренным образом изменить природную ситуацию, причем в любую сторону.

Мне как географу очень важным кажется то, что современная география активно и плодотворно ищет пути интеграции в насущные проблемы Человечества. Это крайне важно для географии, но еще более существенно и судьбоносно для Человечества. В этом смысле курс, который обеспечивается этим учебным пособием, заслуживает всяческого и достаточно широкого внимания, причем даже не только на географическом цеховом, но и на междисциплинарном уровне. Как это часто случается, с обобщенного изложения в учебнике начинается страница соответствующей науки. Так было, например, с Общим землеведением С.Калесника, которое сформировало целый пласт научного знания. Этот феномен, скорее всего, объясняется тем, что учебники читают и изучают молодые люди, ищущие свое место в жизни и системе знания. В данном же случае мы усматриваем вероятность того, что небольшое по объему учебное пособие может оказаться источником нового

---

[4] *Пригожин И.* Порядк из хаоса. М.: Прогресс, 1986.

видения путей разрешения актуальнейшей научной междисциплинарной проблемы – управления природной средой, точнее, природными системами земной поверхности, или геосистемами.

Авторы учебного пособия достаточно известны географам.

Доктор технических наук, профессор И.Г.Черванев более 20 лет заведует природоохранной кафедрой в Харьковском национальном университете, которая являлась праматерью в становлении современной экологии (точнее, науки об окружающей среде) в бывшем СССР, а теперь и в Украине. Он активно исследует самоорганизацию природных систем, прежде всего геоморфосистем. Доктор географических наук, профессор В.А.Боков почти полтора десятка лет заведует кафедрой геоэкологии в Таврическом национальном университете. Он известный ландшафтовед и геоэколог. Доктор физико-математических наук, профессор Таврического национального университета И.Е.Тимченко не является географом или экологом. Это очень известный и авторитетный специалист в области геокибернетики, где плодотворно исследует проблемы управления, в том числе применительно к сложным социально-природно-экономическим системам.

Эта совместная работа – определенный шаг в направлении активизации обучения географов и экологов XXI века управлению окружающей средой. Шаг, на мой взгляд, очень удачный.

В текущем году вся Украина отмечает 200-летие старейшего в стране Харьковского национального университета имени В.Н.Каразина.

Это издание авторы, научный редактор и члены международной редакционной коллегии в рамках проекта Темпус-Тасис решились посвятить светлому Юбилею многославного научно-учебного заведения и старейшего очага национальной культуры, созданного по инициативе «Украинского Ломоносова», каковым и был выдающийся исследователь и просветитель Василий Каразин.

ВВЕДЕНИЕ

В современную индустриальную эпоху, наряду с воздействиями, обычно связанными с определенными хозяйственными целями, стали широко использоваться эксперименты, дающие более четкое и определенное представление о характере преобразования природной среды. К таким экспериментам относятся:

- воздействия на метеорологические процессы, в том числе путем засевания облаков активными ядрами конденсации [5]
- снежные мелиорации,
- дождевание склонов, в том числе и с целью определения закономерностей формирования склоновой эрозии [6] и т.д.
- нормирование антропогенного воздействия на природные и природно-антропогенные ландшафты [7].

Для получения представления о более глобальных явлениях широко используются численное моделирование и теоретические расчеты.
Полученные данные позволили выявить основные принципы управления природной средой. Их теоретической базой, с одной стороны, являются достижения кибернетики, с другой - закономерности, выявленные в ходе изучения пространственно-временной организации, структуры, эволюции геосистем и географической оболочки в целом.

На стыке географии и кибернетики возникла *геокибернетика.* Она изучает поведение геосистем, способы целенаправленного воздействия на них, управления ими для достижения различных целей (в том числе ради стабилизации природных процессов, нарушенных человеческой деятельностью). В настоящее время в ее рамках развивается методология *адаптивного управления геосистемами*, которая имеет географическое и экологическое значение.

Понятие адаптивного управления гео-экосистемами. Адаптивное управление представляет собой внешнее, заранее рассчитанное воздействие на геосистему с целью изменить в нужную сторону основные показатели ее состояния (индекс биоразнообразия, концентрации вредных веществ в природной среде и др.). Как считает И.Е.Тимченко [8], адаптивное управле-

---

[5] *Качурин Л.Г.* Активные воздействия на атмосферные процессы. – М.: Наука, 1978.
[6] *Бастраков Г.В.* Эрозионная устойчивость рельефа и противоэрозионная защита земель.- Брянск, 1994.
[7] См.: Оптимизация геосистем /АН СССР. Сибирское отделение. Институт географии.- Сб. статей. – Иркутск: 1991.
[8] *Тимченко И..* Системный менеджмент и АВС- технологии устойчивого развития / *И.Е Тимченко, Е.М.Игумнова, И.И.Тимченко*. - Севастополь,“ЭКОСИ -Гидрофизика”, 2000. - 225 с.

ние экосистемами трудно осуществить, так как оно требует больших затрат. Но эта необходимость все яснее вырисовывается перед Человечеством, которое обеспокоено активизацией стихийных процессов и усилением антропогенных изменений. Если нельзя уменьшить их кардинально, то необходимо хотя бы научиться переводить геосистемы в «щадящий» режим функционирования. Эта задача кажется трудно реализуемой, и это так. Но человеческие цивилизации накопили в этом отношении определенный опыт. Анализируются также примеры стихийного воздействия на природные процессы, которые всегда содержат в себе элемент управления.

Как правило, необходимо решить три главных проблемы:

- создать динамическую модель экосистемы, отвечающую поставленным целям управления и способную прогнозировать ожидаемые процессы развития (сценарии) в экосистеме при различных внешних воздействиях,
- организовать контроль (мониторинг) прогнозируемых сценариев развития,
- построить информационную технологию управления, основанную на усвоении данных наблюдений в динамической модели экосистемы.

Проблема создания адекватных динамических моделей природных экосистем является наиболее сложной. Отличительной особенностью адаптивного управления является использование принципа обратной связи, согласно которому управляющее воздействие непрерывно корректируется на основе сравнения ожидаемой реакции экосистемы с наблюдаемыми в ней фактическими изменениями. Этот процесс усложняется из-за разной реактивности элементов экосистемы, из-за чего ее отклики на воздействия могут заметно отставать от самих воздействий, внося путаницу в их оценку. Определенная *гибкость управления*, приспосабливаемого постоянно к поведению геосистемы, с одной стороны, и задачам управления нею – с другой, позволяет приблизить реальные изменения в системе к желаемому прогнозному состоянию.

Здесь же стоит сразу отметить определенную неоднозначность в реакциях системы на определенное внешнее воздействие, которые оказываются неоднозначно оцениваемыми. Общее правило, установленное в аутэкологии при оценивании воздействия факторов внешней среды на организм, проявляет себя в отношении гео-экосистем следующим образом (рис. 1).

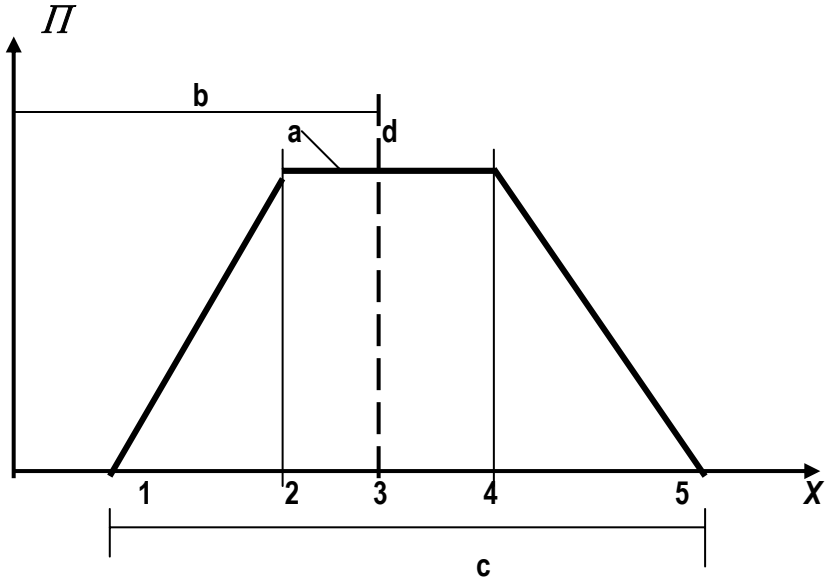


Рис. 1. Характеристика эластичности системы:

Обозначения: X- изменение фактора (давление на экосистему); ***Y***- состояние экосистемы;

a – интервал устойчивости (независимость от флуктуаций фактора), **b** – интервал положительного знака реакции; **c** – интервал существования экосистемы; **d –** вертикаль, отвечающая экстремуму (смена знака реакции системы); ***1 – 5*** – характерные (переломные) значения фактора, приводящие к смене эластичности.

Наибольшее распространение получили глобальные модели, связывающие процессы мирового социально-экономического развития человечества с изменениями климата Земли. Это направление исследований и разработок обусловлено реальной угрозой глобальных климатических изменений, которые, можно сказать, уже начались. Они развиваются по двум направлениям. Первое из них основано на фундаментальных научных исследованиях океана и атмосферы в их взаимодействии. Наряду с классическими моделями В.В.Шулейкина [[9],[10]], в современных моделях общей циркуляции океана и атмосферы учитываются дополнительные факторы. Ими являются орография и температурный режим материков, ледовый покров в высоких широтах и др.[[11]]. Особое значение приобретает рассмотрение биогеохимических циклов, отражающих глобальный динамический баланс некоторых газов (в частности, содержанием в ней парниковых газов), в соотношении с состоянием Мирового океана и биомассой зеленых растений суши. На региональном

[9] *Шулейкин В.* Физика моря.- Изд. четвертое.- М.: Наука, 1968.

[10] *Шулейкин В.* Взаимодействие в системе океан-атмосфера-материки / V съезд Географического общества СССР. – Л.: Географическое общество СССР.- 1970.

[11] *Тимченко И.* Динамико-стохастические модели состояния океана: К.: Наукова думка, 1981.- 192 с.

уровне эти процессы рассматриваются в связи с дигрессией ландшафтов в зависимости от изменений тепло-влагообмена, инспирированных хозяйственной деятельностью. Ниже приведены два рисунка, характеризующие эти процессы в аридных условиях Земли, где основными факторами антропогенных изменений являются пастбищная дигрессия и орошаемое земледелие. На рис. 2 показана зависимость процесса дигрессии ландшафта.

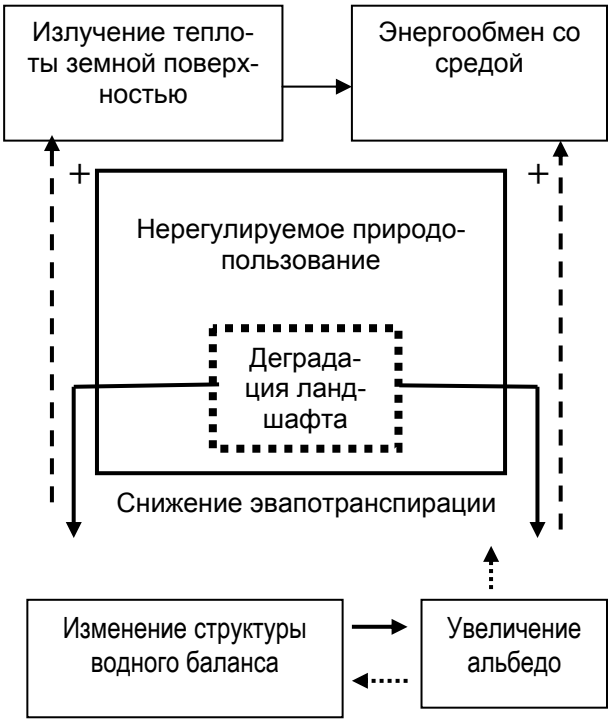


Рис. 2. Дигрессия ландшафта как фактор самоусиления опустынивания:
+-прогрессирующий способ саморегулирования;
выделено управляющее ядро системы (положительная связь).

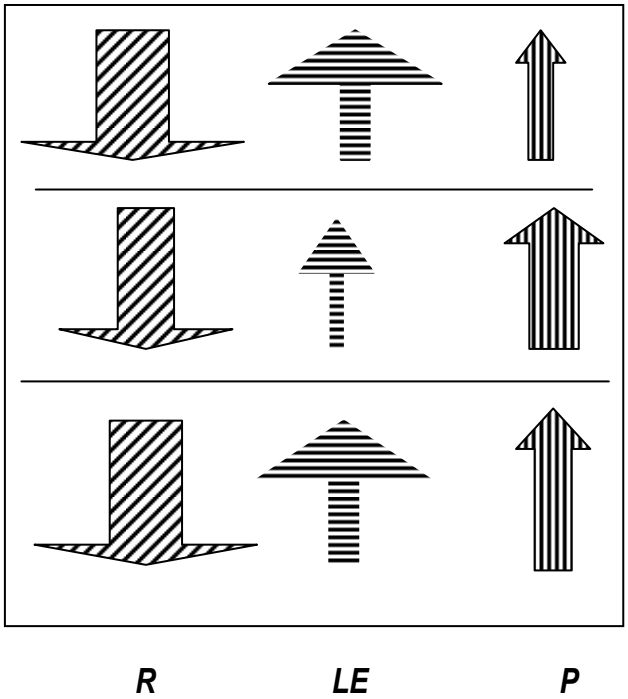


Рис. 3. Изменение соотношения основных составляющих теплового баланса в разных ландшафтах аридного пояса:
R- радиационный бюджет,
LE- затраты теплоты на испарение,
P- турбулентный теплообмен;
Толщина стрелок отвечает мощности потока энергии

Пояснение к рис. 2 и 3. На рис. 2 показано, как нерегулируемое природопользование воздействует первоначально на состояние земной поверхности (в данном случае это избыточная нагрузка на поверхность почвы и растительный покров), что уменьшает эвапотранспирацию (испарение влаги почвой и растительностью). Отметим, что растения добывают влагу из значительного слоя почвы и горных пород, достигающего 15-20 м, благодаря чему испаряют даже тогда, когда в поверхностном слое почвы влаги уже нет. Происходит изменение структуры теплового баланса (снижаются затраты тепла на испарение, см. рядом рис. 3, средняя часть). Видно, что в этом случае повышается роль турбулентного потока тепла, что требует повышения температуры земной поверхности.

Меняется структура водного баланса в сторону снижения приходной части. Оба эти фактора (повышение температуры земной поверхности и снижение приходной части водного баланса) приводят к усилению процесса дигрессии.

На рис. 3 показаны: вверху - гумидный тип структуры теплового баланса; посередине – аридный тип; внизу - преобразование теплового баланса аридного типа в гумидный в условиях орошаемого земледелия. Это наиболее яркий пример управления геоэкосистемой, освоенный человечеством эмпирически за несколько тысячелетий.

Второе направление представляют так называемые *модели интегрированного оценивания* (Integrated Assessment Models, AMS). Они создаются с целью установить, в зависимости от значимости антропогенного влияния на климат Земли, возможных вариантов управления этим влиянием, а также для экономического обоснования соответствующих управляющих воздействий. При разработке этого класса моделей акцент делается не на физические и химико-биологические процессы в природной среде, а на социально-экономические и эколого-экономические последствия глобальных изменений в природе и в обществе. К этому типу моделей относятся модели системной динамики Дж. Форрестера и его последователей и модель пределов роста супругов Медоуз. Одна из реализаций последней модели – квотирование выбросов в атмосферу CO_2 с территорий каждой из стран мира (известный *Киотский протокол*, 1997). Последнее является «первой ласточкой» глобального регулирования воздействий на климатическую машину Земли – т.е. первым рычагом уменьшения воздействия на глобальный климат, что имеет существенное экономическое и геополитическое значение.

Решение такого рода задач требует качественно иного подхода к проблеме, который можно назвать мультидисциплинарным. Т.е. над определенной проблемой одновременно, рука об руку работают специалисты разных отраслей знания и деятельности, которые в силу сложности проблемы вынуждены интегрироваться в целостный коллектив единомышленников (сюжеты такого рода довольно часты в американском приключенческом кино, умело использующем геоэкологические и др. подобные проблемы). В силу растущей зависимости природных экосистем от антропогенной нагрузки речь идет о построении *интегрированных моделей социальных эколого-экономических систем* (СЭЭС) на основе объединения по определенным правилам динамических моделей атмосферы, океана и поверхности суши, с одной стороны, и моделей социально-экономического развития – с другой. В таком случае, *адаптивное управление СЭЭС по существу сводится к общей проблеме устойчивого развития*.

В частности, мировая СЭЭС может быть представлена, по крайней мере, следующими подсистемами:

- природные ресурсы,
- население,
- природопользование,
- загрязнение окружающей среды,
- инвестиции капитала,
- сельское хозяйство и др.

В свою очередь, мировая СЭЭС состоит из иерархически соподчиненных континентальных, региональных и страновых (национальных) СЭЭС. Модель мировой СЭЭС будет подробно проанализирована в конце учебного пособия.

Для конкретного решения задач адаптивного управления СЭЭС необходимо исследовать на специальных моделях ожидаемую реакцию системы на управляющее воздействие. Подобные модели значительно более просты, по сравнению с моделями общей циркуляции, а их смысл легче понять экономистам, экологам и общественным руководителям различных уровней. Поэтому модели интегрированного оценивания могут быть в первую очередь использованы для построения оперативных систем управления региональными природно-хозяйственными комплексами.

Чтобы управление было действительно адаптивным, необходима научно обоснованная и реально функционирующая *система мониторинга.* Мониторинг может быть отраслевым (компонентным) или комплексным (геосистемным, биосферным). Он должен быть представительным (*репрезентативным*) по охвату территории сетью наблюдений, составу и режиму наблюдений, а также эффективности обработки и представления информации. Лучшим примером такого мониторинга является мировая система гидро- метеонаблюдений.

Проблема мониторинга экологического состояния заключается в создании наблюдательной сети и в организации сбора передачи и обработки данных наблюдений в сочетании с современными геоинформационными системами (ГИС) и технологиями.

Наконец, проблема создания *информационных технологий управления* заключается в разработке процедур комплексного использования модельных прогностических сценариев развития и составлении перечней тех данных наблюдений, которые должны поступать от наблюдательных систем непосредственно в процессе мониторинга.

Информационные технологии управления строятся на общих концепциях системного анализа. Процесс адаптации рассматривается при этом как мак-

симальное сближение двух сценариев: модельного прогноза и наблюдаемого процесса. Для этого подстраивается модель и, следовательно, улучшаются дальнейшие модельные прогнозы, а также усваиваются измерения наблюдаемых процессов в динамической модели экосистемы.

В последнее время И.Е.Тимченко и его коллегами разработан новый метод моделирования процессов в сложных системах, который позволяет создавать динамические модели СЭЭС, допускающие адаптацию (в том числе и в реальном времени) как самой модели, так и прогностических сценариев развития. Метод основан на концепции динамического баланса экосистемы с влияющими на нее внешними воздействиями. Поэтому он получил название "*Адаптивный баланс влияний*" или АВС (от английского названия Adaptive Balance of Causes). АВС метод использует стандартные уравнения для описания как природных, так и социально-экономических процессов, а коэффициенты этих уравнений адаптируются к наблюдениям, что позволяет повысить качество моделирования и управления.

Подводя итог, из краткого обзора проблемы и на основании работ авторов этого пособия можно придти к выводу, что управление географической оболочкой - чрезвычайно трудная задача по следующим причинам:

1. В геосистемах исключительно важную определяющую роль играет пространство, поэтому их следует моделировать как *пространственно рассредоточенные* (пространственно распределенные) системы, что более сложно по сравнению с обычными в кибернетике пространственно сосредоточенными моделями.
2. Характерное время географических явлений бывает очень разным – продолжительным или стремительно текущим. Реакции одних компонентов на воздействия или изменения других бывают, как правило, запаздывающими в разной степени (*лаг запаздывания*). Время течет неравномерно и является необратимым.
3. Поскольку в природе не бывает условий «чистого эксперимента», в силу разнообразного комбинирования воздействий и реакций одни и те же причины способны формировать разные следствия. Известны явления *синергизма* (своеобразного умножения эффектов в случае комбинированного действия факторов), *антагонизма* (подавления эффектов в том же случае), *кумулятивного* действия, *отложенной реакции* и др.
4. Существенная роль живых организмов приводит к тому, что *воздействия могут быть физически нецелесообразными,* (прояв-

ления инстинктивных биологических реакций и генетически предопределенного поведения), но биологически необходимыми.

5. Человеческая природа позволяет по-разному относиться к одним и тем же явлениям, факторам, процессам и состояниям (в силу проявлений человеческой воли, культуры, традиций, вкусов и т.п.), следовательно, может обусловливать *разное поведение в физически одинаковых* условиях.

Таким образом:

> сама географическая оболочка, являющаяся носителем названных и многих других свойств и проявлений – *гетерогенная система*. С точки зрения задач управления, она - сверхсложная *геокибернетическая система*, которая в свою очередь, сама состоит из разнородных по составу, строению и организации (т.е. также гетерогенных) сложных подсистем [[12]].

Функционирование географической оболочки настолько неоднозначно, что невозможно проследить и описать все возникающие реакции на внешние воздействия. Но это не означает, что к этому бесполезно стремиться. Именно настоящее время – зарождающаяся информационная эра развития человечества – характерна тем, что неожиданные идеи вдруг достаточно быстро берутся на вооружение человечеством и стремительно распространяются по всему миру. В частности, в одном из справочников приведен прогноз развития человечества на 500 лет вперед, где уделяется определенное место проблеме управления окружающей средой [[13]]. В другой работе [[14]] предложена *модель развития технологической цивилизации*, т.е. цивилизации, использующей невозобновляемые ресурсы. Автор модели В. Стус рассматривает процесс ее развития на протяжении не менее 300 лет и выделяет 3 глобальных процесса взаимодействия технологической цивизизации и окружающей среды (биосферы): колонизацию (расширение пределов), адаптацию (использование нетехнологических возможностей, в т.ч. и биосферного развития), и корректировку (обработка и распространение информации о первых двух процессах для выработки новых путей социально-экономического и культурного развития. Он предлагает средства, которыми должна воспользоваться цивилизация для того, чтобы уменьшить потребле-

---

[12] *Арманд А.Д.* Саморегуляция и самоорганизация геосистем. М.: Наука, 1988.
[13] См.: Справочник необходимых знаний /*А.П.Кондрашов*. -М.: РК, 2001.
[14] См.: *Стус В.В*. Модель развития технологической цивилизации.- Запорожье: Дикое поле, 2002

ние невозобновляемых ресурсов, первоначальным стимулом чего должно стать повышение цен на них:

- замена невозобновляемых ресурсов возобновляемыми;
- замещение возобновляемых ресурсов с длительным циклом воспроизводства такими же ресурсами, но с более коротким циклом возобновления;
- замещение одних невозобновляемых ресурсов другими, технологии добычи и обработки которых ранее были нерентабельными;
- широкое внедрение ресурсосберегающих технологий.

Взятые в совокупности, эти процессы представляют собой направление *нетехнологического адаптационного развития цивилизации*.

Задание.

1.1. Ознакомиться с моделями мировой динамики, пользуясь работами Д. Форрестера, Д. Медоуз, И.Е.Тимченко и др.

Примечание: можно осуществить поиск в сети Интернет.

1.2. Составить более подробное описание, чем данное в пояснении, к рисункам 1-3.

Подумать, что бы Вы предложили для уменьшения дигрессии ландшафта в своем оазисе, окажись Вы властителем, например?

1.3. Проиллюстрировать каждое из утверждений 1-5 примерами географического содержания.

1.4. Привести примеры, которые бы иллюстрировали изложенные положения В.Стуса. Найдутся ли Вами в этих положениях взаимно противоречивые утверждения?

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Модуль I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ

Базовые понятия «геосистема» и близкое этому понятию – «ландшафт» определены пока недостаточно ясно и неоднозначно. Причина этого кроется в сложности их устройства и многогранности понятий, которые надо описать вербальным способом. Поэтому, большая часть попыток описать эти понятия связана с поиском аналогий, т.е. заменой одного объекта другим. Иногда такие аналогии обосновываются правилами теории подобия, но чаще они выбираются на интуитивном уровне. Постоянно имеет место стремление показать сходство ландшафтов с организмами, с теми или иными лучше описанными физическими системами, хотя ясно, что применительно к гетерогенной открытой системе весь этот наработанный другими науками багаж знания вряд ли может применяться безоговорочно. Последнее время в ландшафтоведение буквально вторгается сложный методологический аппарат, привносятся понятия, доказуемость применения которых остается «за кадром». Очень много примеров переноса в ландшафтоведение знаний, фактов, концепций из геоботаники, почвоведения, биогеоценологии. Ведущие методологи, однако, показывая выдающуюся роль аналогии в научном познании, вместе с тем приходит к выводу об ограниченности этого метода и о невозможности получить с его помощью принципиально новое знание.

В связи с этим, необходимо по возможности независимо от объектов другой природы описать геосистемы и ландшафты. Не пытаться приписывать последним свойства, которых у них нет. Если те или иные свойства есть, следует показать, насколько они проявляются, доказав это средствами теории подобия. Если эти системные свойства не проявляются, то их надо исключить из рассмотрения, и это нисколько не умалит ценность познания ландшафтов как натуральных объектов: ведь они без этих, приписанных им свойств, существовать ни хуже, ни лучше не будут.

I.1. Семейство понятий «ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОСИСТЕМЫ»

Понятие «организация геосистемы». Оно имеет два значения:

1. Организация *как процесс*, то есть формирование организации, процесс формирования порядка. Это общеизвестная географу совокупность отношений, способствующих возникновению порядка в природе: сток воды постепенно оформляется в древовидную систему водотоков; климат приземного слоя воздуха (топоклимат) зависит от рельефа, растительного покрова, увлажнения; почвенный покров способствует дифференциации растительности, а та, в свою очередь, влияет на почвенный покров; формируется сопряженный почвенно-растительный покров; животное население выбирает наиболее подходящие местообитания, но в свою очередь, определенным образом их видоизменяют; люди избирательно используют природный ландшафт, оказывая на него влияние вплоть до полной перестройки; возникает новый антропотизированный или антропогенный, или техногенный ландшафты.

2. Организация *как состоявшееся упорядочение в пространстве и/или во времени*, т.е. как результат этого процесса, развертывающегося во времени и находящий отражение в пространственной дифференциации природы.

Далее будет рассматриваться преимущественно второй вариант понятия (если не будет специально оговариваться иное).

> *Организация геосистемы* – это определенным образом упорядоченная в пространстве и/или времени совокупность ее элементов, соответствующая ряду внутренних требований. Она бывает обусловлена как внешними факторами, так и внутренними (имманентными системе) свойствами и отношениями – устройством, структурой системы.

Могут иметь место, по крайней мере, два вида организации:

1. Организация, заданная извне. Эффективная организация геосистемы за счет внешних сил, скорее всего, неэффективна, так как воздействие внешних сил проявляется в отдельных потоках энергии, вещества и информации и не имеет целостного характера. Например, извне задается структура и режим поступления солнечной радиации. Как известно из Землеведения, в географической оболочке и то, и другое претерпевают определенные изменения благодаря разной прозрачности атмосферы, влиянию облачности, действию атмосферных фильтров, разнообразию подстилающей поверхности и т.п. Т.е. заданная

внешними условиями организация приспосабливается, адаптируется к свойствам самой системы.

Человек все чаще выступает внешним фактором организации геосистем (культурный ландшафт: *урболандшафт, агроландшафт*), однако пока еще нет возможности говорить о безусловном успехе антропогенной организации, т.к. негативных примеров не менее чем успешных результатов.

2. Самоорганизация - спонтанный процесс, не вызванный внешними причинами. Она состоит в том, что часть ресурсов внешней среды как бы целенаправленно тратятся системой для своих нужд, которые можно обобщенно определить как *способность самопроизвольно (т.е. спонтанно) поддерживать и совершенствовать порядок в системе – ее организацию*. В то же время, самоорганизация возможна только при условии поступления внешней энергии или потоков вещества, т.е. она имеет диссипативную природу (*диссипация* – рассеяние энергии).

> Любая упорядоченность, если она не вызвана внешними условиями (внешними воздействиями), а имманентна самой системе, является проявлением самоорганизации.

Понятия «местоположение» и «местообитание». *Местоположение* – это внешняя характеристика позиции геосистемы, от которой зависят внешние потоки энергии и вещества. Местоположение - это уникальное географическое свойство, содержание которого в большой степени связано с зональным фактором и рельефом. Рельеф способен модифицировать условия местоположения так, как бы перемещая его в другую природную зону. Всем известен *орографический фактор*: например, что склоны разной экспозиции имеют разные условия местоположения, находясь даже в непосредственной близости один от другого.

На *мегауровне* местоположение определяется поясно-зональными условиями. На *макроуровне* оно зависит от географической провинции. На *мезоуровне* они определяются условиями физико-географического района, типа ландшафта. На *локальном уровне* (топологическом, как называют его геоморфологи) местоположение в решающей мере определяется рельефом - экспозицией и крутизной склонов. Например, разные склоны холма или горной гряды формируют разные местоположения.

Местоположение определяет пространственно-временную структуру внешних потоков (вещества, энергии и информации), связывающих геосистему с ее окружением.

Местообитание – понятие экологическое. Оно определяет совокупность условий функционирования, жизни геосистемы (неорганической и органической, а точнее – смешанной природы), возникающую вследствие наложения свойств геосистемы на условия местоположения. Местообитание – динамическое понятие (по сравнению с местоположением), т.к. оно меняет свои свойства в процессе функционирования и саморазвития геосистемы. Первичная структура геосистемы трансформирует потоки, воздействия, что приводит к обратной связи - перестройке самой структуры. Она, в свою очередь, определяет изменение характера получения и преобразования внешних потоков, а это приводит в очередной раз к изменению структуры.

Структура геосистемы есть результат нескольких составляющих: первичной субстанции: M, - некоего первичного распределения элементов, то есть первичной структуры – S_p и внешних потоков – F. Их взаимодействие приводит к появлению новых характеристик, то есть меняется структура, меняется характер получения и трансформации поступающих вещества, энергии и информации. Постепенно меняется и местообитание – P. Изменение характера местообитания приводит к новому изменению M, S_p и F. И так далее.

Понятие «саморазвитие»

Саморазвитие – изменение системы в определенном направлении. Обычно это изменение геосистемы в сторону ее усложнения. Причины, истоки саморазвития:

- внешние – прежде всего потоки энергии. Геосистема стремится как можно более эффективно «распорядиться» потоками энергии, являясь в этом отношении диссипативной структурой (т.е. системой, которая живет за счет рассеяния энергии в соответствии с законами термодинамики; это также и ее позиция по отношению к другим геосистемам, которой определяются направленность и темп процессов саморазвития;
- внутренние, которые кроются в реализации возможностей, заложенных в структуре системы. В этом случае система способна накапливать энергию, т.е. как бы двигаться вопреки законам термодинамики. Однако, это не так: просто геосистема изымает энергию из внешней среды, уменьшая свою энтропию. Чаще всего, геосистема использует

для этой цели биогеохимические циклы, в которых происходит некоторое накопление энергоемкого вещества (биогеохимические аккумуляторы энергии).

Например, развитие географической оболочки обусловлено ее пограничной между Землей и Космосом позицией и теми потенциями, которые связаны с контактом и взаимодействием земного шара (твердого тела плюс водные растворы и газы) и Космоса. Их взаимодействие развивается во времени в соответствии с законами диффузии, контакта, взаимопроникновения и пр., но, прежде всего в сторону усложнения, повышения организации, уменьшения числа степеней свободы. Саморазвитие проявляется в виде более или менее длительных этапов постепенного изменения (эволюция) и скачкообразных преобразований (революция). Иногда термином эволюция охватывают любые необратимые изменения в системе.

Считается, что эволюция геосистемы происходит благодаря заложенной в структуре геосистемы и ее местоположении (положению относительно факторов и потоков) своеобразной «программе» развития. Каждое местоположение обладает неким потенциалом развития, которое реализуется за определенное время. Наряду с потенциалом местоположения на ход и итог развития влияют субстрат (первичные горные породы, кора выветривания) и первичная структура (размещение элементов или подсистем по территории, в пространстве и др.).

Понятие «самоорганизация геосистемы». Самоорганизация - это путь совершенствования геосистемы, проявляющийся в функционировании, динамике и процессе развития. Она состоит:

- в приобретении геосистемой более эффективных способов использования энергии, упорядочения круговоротов и потоков вещества, производства биологической продукции,
- возникновении более высокого ландшафтного и биологического разнообразия, в том числе через устойчивые комбинации типов вещества, энергии, структуры комплексов и др.,
- упорядочении в пространстве и времени элементов и состояний, создании эффективного взаимодействия элементов (в том числе с обратными связями).

С точки зрения общей теории:

чем выше организация системы – тем меньше степеней свободы, которыми она обладает, т.е. более закономерными являются реакции гео-

системы на внешние воздействия, следовательно, и возможности управлять ею силами человека.

Самоорганизация закрепляется в природе геосистемы в виде способности себя воспроизводить (независимо от внешних воздействий и при определенной автономии системы относительно ее окружения), поддерживать, углублять и совершенствовать структуру, функциональные отношения и способы их саморегуляции.

Самоорганизация геосистем является следствием реализации потенций, заложенных в местоположении, внешнем окружении (в окружающей среде), совокупности первичных элементов геосистемы. **С**амоорганизация является одним из ключевых свойств сложных природных систем.

Понятие «автоколебания» применительно к геосистеме. Разновидностью самоорганизации является возникновение автоколебаний. *Автоколебания* являются внутренне присущими системе неустойчивостями, которые, как правило, обусловлены сочетанием в ней элементов разного характерного времени. В.Я. и С.Я. Сергины показали, что вследствие сочетания малоинерционного климата и инерционных ледников и Мирового океана, происходит наложение (физический термин - *суперпозиция*) собственных ритмов колебаний каждой из этих составляющих. В результате суперпозиции возникают «биения», проявляющиеся, в частном случае климатических колебаний, в возникновении материковых ледников (оледенение) и исчезновении их (межледниковье).

Экологам известны автоколебания в двучленной системе взаимодействия «хищник-жертва» (классическая модель Вольтерра-Лотки). Есть и множество описанных в литературе других автоколебаний, генерируемых геосистемами.

I.2. Семейство понятий «ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО»

Понятие «Пространство географических объектов».

В соответствии с существующими определениями, география – прежде всего наука о пространстве географических объектов, каковыми являются геосистемы. В.И.Вернадский в «Очерках геохимии» (с. 46) применительно к биосфере (понятию, в его разумении родственном географической оболочке) отметил: «*Биосфера – область жизни – с точки зрения характера ее пространства, является мозаичной – она составлена из участков разного пространства*» (выделено и подчеркнуто авторами). Принципиально важны два обстоятельства:

- каждая геосистема находится одновременно в разных пространствах: сферическом земного шара, трехмерном Евклидовом и четырехмерном пространственно-временнуго непрерывного развития (говорят, в *пространственно-временнум континууме*).

Сферическое географическое пространство рассматривается в землеведении, океанологии, глобальной метеорологии и физике Земли. Оно проявляется следующим образом:

- сферическое пространство замкнуто,
- сферическое пространство *анизотропно* (направления в нем неравнозначны),
- сферическое пространство *анизоморфно* (разные местоположения обладают уже сами по себе разными свойствами, т.к. находятся в разной географической позиции),
- доминирует *сферическая симметрия*, хотя в некоторых случаях проявляет себя (накладывается на сферическую, находится с нею в суперпозиции) *коническая симметрия*. Например, последняя проявляется в наличии единственной оси симметрии (у сферы их было бы бесконечное множество), симметричности географических поясов Земли; высотных зонах и высотных ступенях рельефа и т.д.).

Для отображения сферической симметрии положение объектов показывается в сферической системе координат. В то же время, все отклонения от уровня геоида имеют коническую симметрию. Поэтому они отображаются с помощью изолиний (каждая изолиния замкнута, т.к. она отображает сечения неправильного конуса).

В геосистемной концепции важное значение имеет понятие функционального пространства. *Функциональное пространство* – это объективно суще-

ствующий характер (последовательность) чередования однотипных одновременных объектов. Географу такое понятие дает возможность упорядочивать геосистемы и любые другие функционально целостные географические объекты, рассматривая их взаимное размещение или зависимость относительно какой-то меры (метрики).

Пространство взаимного положения (размещения) называют *топологическим.* Топологическое пространство не знает расстояний, площадей, размеров – это пространство взаимных положений, или соседств (в частном случае).

***Пример 1*:** пустыня Атакама существует до тех пор, пока рядом в Тихом океане есть холодное течение Гумбольдта. Как известно из школьного учебника, появление теплого течения Эль-Нѣньо сразу же меняет состояние ландшафта Атакамы. Это пример топологического пространственного отношения. Если оно нарушается (вместо холодного течения Гумбольдта к берегу приходит теплое Эль-Ниньо), то происходят серьезные изменения в существовании геосистем (речь идет о пустыне Атакама) вплоть до необратимого их перерождения.

Известно понятие *метрического пространства геосистем*. Это пространство размеров: площади, протяженности (длины), высоты (глубины). Известно, например, что структура территории тем сложнее, чем больше ее метрическое пространство. Установлено, что на малых территориях происходит редукция (упрощение) свойств геосистем.

Метрическое пространство отображается соответствующими метрическими мерами: площадью, протяженностью, удаленностью (расстоянием).

Пространственные отношения моделируются метрически и топологически в виде системы рассредоточенных объектов (параметров объектов). Самая известная метрическая модель такого пространства – глобус. Топологическими моделями пространства служат карты. Они, в отличие от глобуса, передают на плоскости взаимное положение тел (объектов), расположенных в сферическом пространстве Земли. При этом искажаются метрические отношения, хотя и делается это посредством определенных правил.

***Пример 2**:* измерьте расстояние между двумя объектами на сфере (глобус) и на карте. Внимательно посмотрите, как проходит кратчайшая линия между объектами на глобусе (возьмите для измерения кратчайшего расстояния нить) и на карте. Для наглядности, возьмите объекты, находящиеся на одной широте. Вы увидите, что кратчайшее расстояние между ними – дуга большого круга. На карте это кратчайшее расстояние выглядит неестественно.

Топологическое пространство. Топологическое пространство геосистем – это взаимное их расположение по отношению друг к другу (с учетом разной иерархической позиции), а также взаимное положение элементов внутри геосистемы. В топологии отсутствуют метрические характеристики, т.е. размер геосистемы не имеет значения. Важен только ее иерархический уровень.

Геосистемы одинакового иерархического уровня взаимодействуют между собой «на равных» (отношения *координации*); геосистемы низшего иерархического уровня в определенной мере зависимы от вмещающей «старшей» по уровню геосистемы (отношения *субординации*).

Задание: приведите примеры возможной координации или субординации, используя ландшафтную карту любой территории.

Понятие «Пространственная организация географических объектов»

Пространственная организация в большой степени проявляется, прежде всего, в геометрии геосистемы. Кардинальное значение имеет количество измерений пространства, или его мерность. Геосистемы находятся в трехмерном геометрическом пространстве; они трехмерны. Но, при этом, они *анизотропны*, т.к. вертикальная протяженность укорочена по сравнению с горизонтальной протяженностью за счет гравитационного поля (немцы называют микроландшафты плитками – Fliesen). Геометрически трехмерная геосистема – это только мгновенное состояние части природы земной поверхности.

Вторым проявлением пространственной организации является *гетерохронность* элементов геосистемы или взаимодействующих между собой геосистем. Т.е. разные части одной геосистемы или разные геосистемы между собой по-разному относятся к фактору времени. Одни из них образовались, например, раньше; м.б., они являются даже реликтовыми, но существуют длительно в монотонной шкале времени. Например, это реликтовые флювиогляциальные ландшафты, сохранившиеся, в определенных местоположениях, от ледниковья. Иные же возникли недавно, но развиваются так стремительно, что изменения могут фиксироваться за короткие отрезки времени (например, овражная геосистема прирастает и глубоко изменяется после каждого ливня или таяния снега). В последнем случае можно было бы, например, снять с одной точки фиксированным фотоаппаратом последовательные изменения геосистемы, а затем, смонтировав эти кадры в фильм, воочию увидеть изменения, которые происходили в трехмерной геосистеме в чет-

вертой координате – координате времени. Т.е. геосистемы в реальной физической природе четырехмерны. Но если мы углубимся в рассмотрение времени, то окажется, что разные части одной геосистемы живут каждая в своем характерном времени. Время окажется не менее мерным, чем пространство. В конечном итоге, мы придем к тому, что геосистемы в географическом смысле - многомерные образования. Причем, подчеркнем, это не модельная абстракция, а реальный образ геосистемы, которая каждой своей частью перемещается в пространстве, меняя конфигурацию и соразмерность частей, а во времени как бы по-разному «дышит», можно сказать. Таков географический образ геосистемы. Таким образом, мы установли, что в силу сочетания этих двух групп факторов – пространственных и временных, реально существующие геосистемы многомерны. Как можно сочетать многомерность с геометрической трехмерностью?

Как уже отмечалось выше, одной из причин возникновения многомерности в геосистемах является сосуществование в них элементов с разными временными масштабами и градиентами.Именно так всегда устроена земная поверхность, где постепенно наслаиваются, возникают и исчезают новые образования, которые вынуждены (примерно как люди, автомобили, домашние животные на улице города) сосуществовать в непосредственном и отдаленном соседстве.

Каждый ранг геосистем по-разному относится к внешним факторам и воздействиям. Например, пространственный градиент солнечной радиации невелик (она практически не зависит от расстояний до первых десятков километров), поэтому он не проявляет себя на уровне рассмотрения относительно небольших по масштабу геосистем. Зато пространственный градиент свойств земной поверхности может меняться и в пространстве, и во времени, в больших диапазонах колебаний. Достаточно напомнить, например, что выпадение снега увеличивает отражательную способность поверхности в несколько раз (временной градиент велик), а заснеженный и противоположный обнажившийся от снега склоны имеют альбедо в 3-5 раз различающееся (пространственный градиент велик). Следовательно, такие большие градиенты отражательных свойств имеют место, прежде всего, в небольших соседствующих геосистемах, т.е. на уровне географических фаций, урочищ, местностей, благодаря чему:

> в близких местоположениях могут возникать совершенно различные условия местообитания.

Но смысл местоположения шире традиционно понимаемого геодезического измерения или геоморфологического определения. Например, расстояние от осевой зоны хребта может быть различным в геодезическом смысле, но оно будет каждый раз топологически однотипным: осевая линия, склон хребта, бровка речной долины (ущелья), верхний, средний и нижний отрезки приречного склона, пойма, русло реки. Различие в величине расстояния (в геодезических мерах) может не иметь никакого геоморфологического содержания, но в то же время оно может оказывать влияние на климатические параметры и тем самым на экологические условия геосистем. Здесь, правда, все равно эффект связан с формой рельефа – хребтом, но этот вопрос увел бы нас за рамки геосистемного анализа. Другой вариант местоположения – расстояние от водоема. Здесь рельеф совсем не проявляет себя (по крайней мере, в равнинных условиях), и на первый план выступает воздействие водоема на местный климат.

> Таким образом, местоположение – это геометрическая и одновременно топологическая категория, которая отражает в себе пространственно - временную многомерность геосистем.

В геоботанике и учении о геосистемах существует *метод комплексной ординации,* первоначально предложенный и разработанный луговедом-экологом Л.Г.Раменским и усовершенствованный географом-экологом В.Б.Сочавой [[15]].

В целом многомерность геосистем, не нарушая трехмерности физического пространства, проявляется за счет наслоения упорядочивающих, лимитирующих или усиливающих факторов.

> Поэтому, в управлении геосистемами главный вопрос в том, как в принципе и в каждом конкретном случае происходит *пространственно - временнье сосуществование множества объектов*, каждый из которых относительно самостоятелен.

Сосуществование разномасштабных (по размерам и по времени проявления) явлений, объектов возможно благодаря тому, что время изменения каждого из них очень различно, чем обусловливается, что масштаб изменения одного может быть несущественно малым по сравнению с масштабом изме-

---

[15] См. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978.

нения другого (В.Н.Солнцев). Тем самым показывается, что их взаимодействие будет незначительным, и они могут существовать как бы независимо.

Понятие «Пространственная иерархия геосистем»

Географическая оболочка (биосфера В.И.Вернадского) состоит из целостной системы иерархически соподчиненных подсистем.

Иерархичность – это такое топологическое свойство, когда объекты одного ранга (объекты одного ранга между собой свободно взаимодействуют, координируются) подчинены определенному обнимающему их объекту более высокого ранга, т.е. субординируются ему.

Объект более высокого ранга, в свою очередь, субординируется объектом еще более высокого ранга. То же самое наблюдается при движении вниз, от объектов относительно невысокого ранга, субординирующих топологически еще более мелкие объекты. Такая иерархия органично присуща всей природе. Однако, она же спонтанно проявляет себя в социуме, может сознательно устанавливаться в организованном обществе.

Новые структуры возникают благодаря тому, что в реальности могут взаимодействовать между собой элементы разной иерархии, если они оказались в зоне взаимодействия.

Это создает разнообразие ландшафтов, например, на Южном берегу Крыма, где элементы макросклона оживляются отдельными особенностями мезо- и микрорельефа, даже текстурой горных пород или аспектом (внешним видом) растительного покрова. Считают (со времен И.Канта), что:

- благодаря свойству иерархичности природа малым числом возможностей создает бесконечное разнообразие явлений.

Считается, что рамки иерархической структуры широки и нам неизвестны. Однако география занимается только мезомиром – объектами некоего среднего диапазона иерархии, который наиболее доступен для восприятия органами чувств.

Задание: приведите примеры иерархичности объектов природы.

Продолжим анализ иерархии. Следующее важное положение:

> Иерархически одинаковые объекты могут иметь разные пространственные размеры и разное характерное время жизни, но занимать при этом одну и ту же позицию в структуре геосистемы.

Переведем эти общие положения в геосистемное русло. Геосистемы каждого иерархического уровня имеют свой, отличный от геосистем других уровней, характер организации и масштаб отношений с геосистемами других уровней, даже если на местности они соседствуют.

Например, в гидрологии Н.И.Маккавеевым был открыт *закон факторной относительности*:

- элементы гидросети разного порядка (это также геосистемы) по-разному реагируют на одни и те же факторы воздействия.

> Существование геосистем разных пространственных уровней означает наличие в природе *пространственного квантования*.

Пространственное квантование (т.е. выделение целостных участков или образований природы, между которыми есть объективно существующие природные рубежи) возникает как результат самоорганизации геосистем. Примеры пространственного квантования: метеорологические (ячейки Бенара, циклоны, антициклоны, смерчи, вертикальные ячейки Гадлея); геоморфологические (реки разных порядков), ландшафтные (сочетание на определенной территории разных ландшафтных образований). Но наиболее выразительно квантование в живой природе, где практически все объекты распределены по местообитаниям.

> Пространственное квантование создает естественную дискретность природы, позволяя выделять в ней отдельные тела или системы. Геосистемы, в частном случае, выделяются благодаря пространственно-временному квантованию. Квантование дополнительно к континуальности. Поэтому, переход от геосистемы одного пространственно-временного уровня к другому уровню происходит скачком (*закон квантитативной компенсации* К.Н.Дьяконова).

Пространственное квантование является способом организации геосистем, определяет возможность сосуществования в каждой из них явлений разного пространственного масштабов.

Различие геосистем разного пространственного уровня:

1.Уменьшение масштаба геосистемы одного иерархического уровня означает некоторое уменьшение сложности ее структуры.

2.Пространственные градиенты в геосистемах низкого уровня наиболее значительны; они уменьшаются по мере увеличения пространственных масштабов геосистем, то есть наблюдается соотношение

$$G_l > G\,r > Gg.$$

- где *i, r, g* - локальный, региональный и глобальный уровни иерархии соответственно.

Последнее соотношение, установленное В.А.Боковым (1990), сформулировано им как *закон обратного соотношения пространственных градиентов и ранга геосистем:*

> чем выше ранг геосистемы, тем ниже величина пространственных градиентов свойств.

> То есть пространственные градиенты наиболее значительны на локальном уровне, они уменьшаются на уровне региональном, а затем становятся еще меньше на глобальном уровне.

I.3. Семейство понятий «ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ»

Отношение ко времени в естествознании. Время в естествознании чаще всего определяется в абсолютных шкалах, в основе которых лежит определенное ритмическое физическое явление (временной эталон). Благодаря его наличию, время течет равномерно: вращение Галактики вокруг центра (*галактическое время*), орбитальное движение Земли (*год*), суточное вращение Земли (*сутки*), часовое время (определенное число атомных колебаний). Точность указания времени определяется точностью квантования (*шкала времени*).

Во многих естественных науках время принимается за обратимое, т.е. в них разновременные события допустимо рассматривать и вперед, и назад. Интервалы времени задаются из определенных соображений. Классическими примерами являются механика, дифференциальное и интегральное исчисления как средства решения физических задач. Будем называть это время *физическим*.

Однако, в некоторых разделах науки существует более сложное понимание времени *как закономерной последовательности процессов и состоя-*

ний, лежащей в основе развития (саморазвития) объектов. Это *внутреннее время* системы (или *характерное время*). Его равнозначные для системы отрезки несопоставимы между собой в физическом времени. Так, в геохронологии принято сопоставлять, как равнозначные, события, которые в абсолютном времени несравнимы. Благодаря этому, разномасштабные явления вовсе не взаимодействуют или взаимодействуют, но ограниченно. Они иногда сопоставляются с некоей абсолютной шкалой (шкалой абсолютного времени, как в геологических науках), но могут самостоятельно рассматриваться как своего рода «*геологические часы*» (выделение эонов, эр, периодов и др.), которые только приблизительно коррелируют по физической продолжительности. Например, фанерозой составляет по продолжительности чуть более 1/10 от длительности всей известной геологической истории Земли, но он вмещает в себя чуть ли не все основные события, известные геологии. Таким образом, геологи одними из первых в естествознании пришли к пониманию *относительности времени*.

Время в географии проявляет себя в существовании геосистем и закономерной смене их состояний.

Понятия «Внешнее и внутренне время»

Внешнее время определяется, в основном, естественными ритмами природы, например, астрономическим фактором (положение Солнца на небосводе). Внешнее время течет непрерывно (континуально) и необратимо.

Наряду с этим, геосистемы обладают собственным *внутренним временем*, которое выражается в определенной последовательности и длительности смен состояний, происходящих нерегулярно, аритмично и как бы независимо от чего-либо внешнего, т.е. имманентно. Прослеживаются своего рода «*геосистемные сукцессии*», т.е. последовательные необратимые фазы саморазвития геосистем. Общеизвестна сукцессия бедленда. Обычно лишенный растительности участок склона сначала покрывается сетью промоин, которые затем все быстрее расчленяют склон.

Внутреннее время является *континуально - дискретным (непрерывно - прерывным).* Наряду с непрерывным течением, в нем наблюдаются *скачки непрерывности*, когда происходят события, резко меняющие характер протекания процессов: выпадение осадков, естественные ритмы жизни животных и растений (фенофазы, например); скачкообразные переходы состояния природы – выпадение или таяние снега, замерзание водоемов; стадии обработки земли в пределах агроландшафтов и т.д.

Понятие «Топологическое время»

Таким образом, существует и разнообразно проявляет себя последовательность событий и фаз развития, которая не сопоставляется с какой-либо физической шкалой. Это шкала относительного возраста геосистем и геосистемных объектов: зарождение, юность, зрелость (климаксное состояние), старость, смерть – понятия, широко применяемые по отношению к любым естественным объектам. Каждая фаза саморазвития, независимо от физической продолжительности (дления), имеет значение единицы времени, сопоставляемой с другими такими же единицами в данном объекте или в других объектах. Поэтому выделяем его, аналогично такому же пространству, как *топологическое время*. Эта *топологическая временная шкала* подразумевает выраженную «стрелу времени»:

> топологическое время необратимо и не сопоставляется с какими-либо абсолютными шкалами, т.к. протекание каждой фазы саморазвития длится по-разному, но имеет сопоставимое значение.

Понятие «Функциональное время»

Примерно последние 30 лет – с развертывания комплексных географических исследований на стационарах – функциональное время стало специальным объектом геосистемной концепции. Это время функционирования, которое вышло на передний план в изучении процессов саморегуляции и своего рода «гомеостазиса» геосистем, стремящихся поддерживать неизменными определенные состояния и в то же время совершать относительно быстрые, скачкообразные переходы между двумя последовательными состояниями. Время функционирования является, прерывным, *дискретно - пульсирующим*: оно вообще не течет, пока геосистема находится в одном состоянии. При переходе к иному состоянию время очень сжато, т.к. происходит множество событий – количественных и качественных изменений, переходов, пока геосистема не придет в новое (квазиустойчивое) состояние. Затем время вновь как бы останавливается. И так повторяется многократно на протяжении, например, сезона года. Здесь же существуют понятия *времени реакции*, *времени затухания, воздействия* и т.п. как разных реакций системы на внешние воздействия.

Важное утверждение:

> Время функционирования обратимо, т.к. геосистема бывает в определенном состоянии неоднократно. Этим оно отличается от необратимого топологического времени.

Специальные исследования относительного времени геосистем ограничиваются возможностями геостационаров, поэтому вынужденно не выходят далее локального уровня организации геосистем.

В процессе геостационарных исследований появилась новая терминология относительно пространства (геомеры, геохоры; хорионы) и времени (стексы – мгновенные состояния и т.д.). С нею можно ознакомиться в работах Н. Беручашвили, В.Петлина и др. исследователей.

Понятие «Временнбя иерархия»

Иерархия, т.е. соподчинение явлений, имеет место и во времени. Речь идет о состояниях геосистемы, которые различаются по временному масштабу. Их называют: мгновенные, часовые, суточные, циркуляционные (несколько дней), подсезонные, сезонные, годовые, многолетние, вековые и др. Часть из них задана геосистемам извне (суточные, годовые), другие возникают как результат квантования времени самой геосистемой (фенофазные, циркуляционные и др.).

Эмпирическое утверждение:

> средние временные градиенты (то есть градиенты изменения явлений во времени) велики на коротких отрезках времени и уменьшаются с увеличением временного масштаба.

В целом имеет место усредненное соотношение: чем большие пространственные масштабы геосистем, тем большим является их характерный временной масштаб. Для географической оболочки есть смысл говорить о временном масштабе в миллионы лет; для фаций этот масштаб не имеет смысла.

> Временнуе квантование с разными градиентами является способом организации геосистем, поскольку определяет сосуществование длиннопериодных и короткопериодных явлений.

Эти соотношения не позволяют системам разрушаться, а при существовании больших градиентов у больших систем процессы имели бы катастрофические последствия. Фактически существуют запреты на другие соотношения. Одна из причин неустойчивости агроландшафтов – разрушение временной иерархии: все подчиняется агротехническим ритмам обработки земли; выживает то, что соответствует им, остальное подавляется или же разрушается.

Задание.

В учебном Атласе Украины (1997) внимательно рассмотрите Геохронологическую шкалу и схему природных изменений развития материальной культуры человека в четвертичном периоде (с. 9). Ответьте на вопросы:

а) какие времена отображаются этой шкалой?

б) что характерно для климатических изменений и колебаний уровня Черного моря в четвертичном периоде? Когда эти колебания связаны с внешними причинами, когда они – результат саморазвития?

в) что характерно для продолжительности физического времени этапов четвертичного периода?

г) обратимо или нет развитие фауны и материальной культуры человека?

1.4. Взаимосвязь пространства и времени

Выше указывалось, что время есть особый вид пространства или особая ось единого пространства-времени. Иное пространственное положение неизбежно определяет другое время у объекта (но речь идет о собственном времени объекта, а не о физическом времени, не о механических часах). Это находит свое выражение в рядах ординации, в эргодичности.

Преодоление расстояния требует времени, поэтому объекты (объекты одного типа, класса, одной природы), находящиеся на разном расстоянии от начала координат (от фактора, действующего объекта и т.д.), неизбежно находятся в разном времени, на разных участках временной траектории. Это обстоятельство:

1. позволяет состыковать пространство и время, определяет их взаимосвязь
2. позволяет считать, что время есть дополнительная к пространству категория, что оно еще одна ось пространства (но, конечно, особая ось). Тем самым следует говорить о пространстве-времени геосистем.
3. усложняет структуру геосистем, усложняет причинно-следственные отношения, делает во многих случаях невозможным использование анализа простого временного следования.

Геокомпоненты

Геокомпоненты - это составляющие ландшафта, различающиеся фазовым состоянием и уровнем организации вещества. Поэтому они обладают разными свойствами (твердое, жидкое, газообразное вещества), совершают фазовые переходы и вообще ведут себя по-разному в геосистемах. Одни (горные породы, почва) образуют субстрат, т.е. некую основу существования всего иного. Другие (флюиды) носят характер потоков, повсеместно проникая в субстрат и живые компоненты. Живые организмы интегрируют в себе все абиотические составляющие геосистемы, придавая им более сложную структуру, но в то же время не сводятся к сумме последних.

Геокомпоненты, в частности, компоненты ландшафта, обычно разграничивают по вещественному составу: горные породы, почвы, вода, воздух, растительность, животный мир. Докучаев в качестве факторов почвообразования называл также время. В некоторых случаях рельеф также причисляют к геокомпонентам, указывая на материальные свойства, в других случаях его выводят из числа геокомпонентов. Воздух иногда заменяют климатом. Все это отражение попыток учесть многообразие явлений в ландшафте, интуитивного понимания того, что вещественный подход недостаточен для выделения элементов геосистемы. У А.А.Крауклиса (1979) и В.Н.Солнцева (1982) есть деление компонентов на стабильные (горные породы, почвы), мобильные (вода, воздух), и активные (растительность, животный мир).

Чтобы не вносить путаницу,

> будем далее компонентами ландшафта называть только вещественные составляющие, то есть горные породы, воду, воздух, почвы, живое вещество, а также производные от них: лед, снег, мерзлые грунты, кору выветривания.

В геокомпонентах содержатся информационные составляющие, являющиеся их побочной функцией. Если бы не это, связь между компонентами, которые не обмениваются веществом и энергией, была бы невозможной.

Например, известный почвовед В.О. Таргульян показал, что почвы – зеркало ландшафта. В почве есть составляющие, связанные с памятью системы (почва «помнит» состояния и процессы, которые в ней наблюдались сотни и тысячи лет, а ископаемая почва – и того более) и есть свойства, обусловленные современными явлениями. Видимо, то же можно сказать о коре выветривания, некоторых полезных ископаемых гипергенного типа (т.е. зависящих в своем образовании от палеогеографической обстановки). Таким образом, горные породы – это не только субстрат, вещественная основа ландшафта, но также и информация о древних ландшафтах (часто совершенно не связанных с современными природными обстановками).

Рельеф – регулятор природных процессов, т.к. от рельефа, его уклона, экспозиции, длины склонов, других морфологических особенностей зависят современные процессы: поступление солнечной радиации, поверхностный сток, режим (тепловой, температурный, увлажнения, замерзания-оттаивания почвы, солифлюкция и др.). Рельеф – это и важнейшая составная часть пространства, т.к. он формирует пространство геосистем. Одновременно рельеф – также матрица, содержащая информацию обо всей совокупности про-

шлых явлений и процессов (как древних, так и вчерашних), позволяющая воспроизводить геосистемы путем регулирования потоков и пр.

Воздух практически не имеет памяти, выполняет мобильные функции. Вода выполняет аналогичные функции, но имеет свою память (память погребенных вод имеет размерность, сопоставимую с геологическим возрастом горных пород; память текучих вод имеет размерность гидрологического цикла; память ледников отображает время существования H_2O в твердой фазе).

Время - особая координата пространства - времени, придающая системам громадное разнообразие возможных комбинаций, делающая возможным динамику и эволюцию. В.В.Докучаев, формулируя условия почвообразования, в качестве факторов почвообразования называл также время.

Такой важнейшей координатой выступает собственно пространство.

Каждый геокомпонент имеет собственные характерные пространственные и временные масштабы, собственные циклы и тренды. Поскольку геокомпоненты взаимодействуют, то их циклы, ритмы, размеры накладываются, что приводит к формированию новых ритмов, циклов или к смещению, некоторому изменению существующих. Эти изменения не могут быть слишком велики, так как каждый компонент относительно автономен.

Задание: проиллюстрируйте этот раздел примерами, которые не приводились в тексте. Воспользуйтесь картами любого атласа, сравнивая, например, геологическую, тектоническую и ландшафтную карты. Покажите, где между геокомпонентами есть связь, и какова она, где ее нет, т.к. они имеют разное время образования и саморазвития. Напишите реферат на эту тему.

Отношения элементов и компонентов геосистемы

Термином «Отношение» определяют характер расположения элементов определённой системы и их взаимозависимости; это онтологический смысл этого термина. Наряду с ним, существует гносеологический смысл: мысленное сопоставление различных объектов или сторон данного объекта.

Именно отношения элементов образуют системы различной степени сложности из соответствующих элементов. Отношения носят универсальный характер в том смысле, что проявляются повсеместно между элементами определенной системы (внутренние отношения). или же или же между системой и ее внешней средой (внешние отношения). Отношения носят объективный и универсальный характер, их посредством весь мир интегрируется в некую целостность. при этом одно и то же О. может быть в

различных вещах (*внутренние* О.) или между различными вещами (*внешние* О.). Через отношения проявляются объективные законы мироздания, в том числе геосистемные законы. Один и тот же элемент может вступать в различные отношения с другими элементами. То отношение, на основании которого выделяется система, называют *системообразующим*.

Применительно к геосистемам, принято делить отношения следующим образом:

- по отношению *территориальности* (положение относительно других элементов и систем, соседство); в свою очередь, они бывают *метрическими* и *топологическими*,
- по *времени возникновения, деления и порядку следования* (одновременные, предшествующие и последующие; периодические; ритмические и аритмические и т.д.,
- по отношению *функциональности* – в процессах энерго - массообмена (энерго - массопереноса) – материального носителя свойств системы,
- по отношению *информативности* – передачи-приема сигналов, разнообразия, рефлексивности и т.п.,
- *причинно-следственные* (зависимости одного от другого),
- корреляционные (по согласованности проистекания или пространственным совпадениям).

В зависимости от числа участвующих в отношениях элементов, они могут быть бинарными, триарными (тройственными), множественными (с указанием числа элементов). Отношения также могут быть *симметричными* (когда элементы можно поменять местами) или не быть таковыми. Например, отношение системы и ее модели чаще всего несимметрично. Отношения могут быть *транзитивными*. Таковыми становятся отношения двух несвязанных между собой элементов, если каждый из них связан с одним и тем же третьим элементом. Например, в пищевой цепи экосистемы могут быть транзитивные отношения между элементами сильно различающихся трофических уровней.

Элементы и компоненты геосистемы соотносятся между собой, как бы соблюдая следующие правила (человек в своей практике социальных отношений многое неосознанно заимствовал у природы).

Основные из этих отношений следующие:

- дополнительность,
- координированность,
- борьба, конкуренция, антагонизм,

- взаимозаменяемость.

Каждый компонент геосистемы относительно самостоятелен, развивается и функционирует по собственным законам (горные породы, слагающие рельеф, растительность, почвы и др.), но одновременно ограничен в развитии из-за взаимодействия с другими, включен в целостность, которая ограничивает свободу функционирования геокомпонента.

Каждый геокомпонент имеет собственные характерные пространственные и временные масштабы, собственные циклы и тренды. Поскольку геокомпоненты взаимодействуют, то их циклы, ритмы, размеры накладываются, что приводит к формированию новых или к смещению, некоторому изменению существующих. Эти изменения не могут быть слишком велики, так как каждый компонент относительно автономен.

У рельефа, например, есть различные законы проявления в конкретных ландшафтно-климатических условиях. Флювиальный рельеф практически не проявляется в арктических пустынях, хотя встречается в тропических пустынях (вади). Педименты и пенеплены также проявляются в определенных, хотя и разных ландшафтно-климатических условиях. Но, в то же время, продольный профиль рек в целом один и тот же в любых условиях.

Информационные связи

В геокомпонентах содержатся также информационные составляющие, о чем будет сказано ниже (см. [16]).

Что есть информация?

> Информация – это способность одного компонента или подсистемы влиять на другие компоненты или подсистемы через прямые и обратные связи и отношения между ними. Информация – это часть объективного мира, которая не является ни веществом, ни энергией. Но вещественные и энергетические потоки способны быть одновременно носителями информации.

Информация с вещественно-энергетических позиций проявляется в том, что малые энергетические (или вещественные) воздействия способны вызывать значительные изменения в системе, которые как бы противоречат первому началу термодинамики. Это происходит за счет:

а) сродственности взаимодействующих систем;

---

[16] См. *Боков В.А.* Пространственно-временная организация геосистем.-Симферополь: СГУ, 1982.

б) наличия в сложных самоорганизованных системах своеобразных «спусковых механизмов», т.е. - особой структуры системы, на которую происходят воздействия, ее подготовленности к воздействию такого рода;

в) неустойчивых состояний, присущих открытым системам.

Примеры: 1. Малые изменения содержания CO_2 приводят к колоссальным изменениям в тепловом режиме биосферы.

2. Изменения водородного показателя среды pH регулирует гигантские потоки вещества: одни вещества становятся подвижными мигрантами, другие «замирают», депонируются, теряя подвижность и активность.

3. Геологи, геоморфологи, геофизики пользуются сигналами, исходящими из недр, для поиска полезных ископаемых, прогноза геофизических явлений и т.п.

В таких и подобных случаях говорят о *сигнально-информационных взаимодействиях*: энергия воздействия очень мала по сравнению с процессом, который она определяет, т.е. такое воздействие скорее сигнал, влияющий на энергетический или вещественный поток, нежели сам этот поток). Информационный обозначает, что сигнал выражается в информационных (а не энерго-массовых) процессах. В частности, сигналы не подчиняются принципу сохранения, обязательному для потоков вещества и энергии.

> Главным отличием сигнально-информационных воздействий от физических процессов является их *несоответствие принципу сохранения* вещества/энергии: эффект воздействия неадекватен его величине.

Наряду с этим, большие энергетические потоки зачастую не вызывают особых изменений в геосистемах, то есть в них имеет место несоответствие между энергией воздействия и энергией реакции.

Говорят также о нелинейности взаимодействий, т.к.:

> соотношение между величиной воздействия и реакцией системы может быть самым разным и зависит от структуры системы.

С информационных позиций информация – это способность системы отображать в своей структуре и реакциях структуру другой системы (которая воздействует). Главное не в количестве переданной энергии, а в эффективности передачи, воспроизводства структуры.

Благодаря информационным (сигнально-информационным) воздействиям (взаимодействиям) процессы в геосистемах приобретают большое разнообразие, некоторую непредсказуемость (однозначное предсказание, описание сделать в этих условиях сложнее).

Эти взаимодействия, связи составляют основу управления, так как позволяют использовать малые энергетические воздействия для приведения в движение больших масс и потоков энергии. Фактически сигналы позволяют использовать скрытую, но подготовленную для использования энергию.

Чем определяются структура и организация геосистем?

Пространственная структура зависит от:

- количества элементов,
- соотношения элементов (например, непосредственного контакта между ними), соразмерности, симметрии (включая рисунок, порядок чередования),
- размещения элементов: топологического (порядка чередования), метрического (удаленности и т.п.).

> Перемена местами элементов приводит к изменению системы, то есть в таком случае, как правило, проявляется *пространственная некоммутативность* (непереместительность).

Пример: если переместить Крымские горы в район Джанкоя, природа Крыма будет иной; если перегородить Атлантический океан от Норвегии до Гренландии, северное полушарие на одну треть покроется льдом и др. Плотина в Керченском проливе сделала бы неузнаваемой акваторию Азовского моря и повлияла бы на биоразнообразие в Черном море и т.д. Примером использования пространственной некоммутативности является создание биокоридоров: пространственно перемещая для соединения в целостную систему естественные угодья, можно получить иной результат, чем если бы ограничиться простым увеличением их доли в земельном балансе.

Если изменить порядок событий, например изменить распределение атмосферных осадков по декадам при сохранении суммы осадков за месяц, то эффект будет иным, так как осадки по иному распределятся относительно фаз вегетации. Тем самым можно говорить о *временнуй некоммутативности* (непереместительности). Например, субтропический и субтропический средиземноморский климаты различаются, как известно из региональных курсов, разным режимом осадков.

I.5. Самоорганизация и саморегуляция

Одним из ключевых свойств многих природных систем является свойство самоорганизации. Оно понимается по отношению к геосистемам как «организация геосистем», т.к. в этом словосочетании отсутствующий префикс «само-» все равно подразумевается. Т.е. это организация, возникающая, поддерживаемая и совершенствующаяся в геосистеме без внешнего управляющего воздействия.

Проявления самоорганизации. Самоорганизация происходит благодаря целому ряду закономерностей ее проявления:

А. в *пространственной и временной упорядоченности*: пространственный рисунок, последовательность состояний во времени, эмерджентность, пространственная и временная некоммутативность, закон пространственно-временной оптимальности, необратимость эволюции, автоколебания, последовательность прохождения фаз развития, иерархическая организация, стыковка пространства и времени через эргодичность,

Б. в *целостности:* есть механизмы, определяющие целостность (целое больше суммы частей, цепные реакции),

В. в *автономности* (избирательность взаимодействий),

Г. в равновесиях (закон внутреннего динамического равновесия, закон ограничивающих факторов),

в *саморегулировании* (материальные и сигнально-информационные воздействия, обратные связи).

Пример. Достаточно, например, сравнить рыхлые горные породы в обнаженном состоянии или же под покровом почвы и пологом растительности. В первом случае развитие происходит быстрее: формируется поверхностный сток наносов, быстро увеличиваются делювиальные и пролювиальные шлейфы, возникают новые горные породы. Во втором случае происходят процессы, обусловленные, в основном, взаимодействием горной породы с почвенно-растительным покровом. Земная поверхность видоизменяется мало, но зато происходят глубинные изменения химического состава горных пород из-за процессов биохимического выветривания.

Ни одна часть геосистемы не может существовать без других функциональных частей (горные породы, кора выветривания, почвы – субстрат, основа; рельеф – элемент пространственного управления, матрица воспроизводства геосистемы; климат и воды – ведущие элементы, обеспечивающие мобильность; биота – доминирующий элемент развития, эволюции).

В то же время, геосистемы, как кажется, гораздо хуже упорядочены по сравнению с биоценозами, тем более – организмами, планетными и звездными системами. Они воспринимаются как менее целостные, менее автономные, в них в меньшей степени проявляется регулирование, хуже проявляется равновесие, больше примеров разбалансированности (стихийные бедствия, тайфуны, и др.). Однако, самым кардинальным их свойством является нечеткость ограниченности в пространстве. Геосистемы нечетко привязаны к пространству, потому они вычленяются специалистами, в то время как, например, организмы видны каждому. Некоторые геосистемы как бы «гуляют» в пространстве и времени (через изменение состояния и размеров). Например, геосистемы криосферы подвержены сезонным миграциям.

Итак, границы геосистем плохо выражены. Причина этого заключается в том, что геосистемы состоят из очень различных по организации, физическому и химическому составу элементов (компонентов, подсистем – горных пород, почв, воздуха, воды, растений, животных). Поэтому, чаще всего пользуются физиономичными свойствами геосистем для их выделения, что не всегда оправданно с научной точки зрения. Уже по причине отсутствия четких однозначных границ, казалось бы, их интегрированность не может быть высокой. Но означает ли это несовершенство, примитивность географического уровня организации природы? Мы считаем, что нет. Сопоставления показывают, что нежесткие системы более пластичны, более способны к адаптациям, т.к. в них меньше цепочечных зависимостей, зато налицо связь «всего со всем». Именно поэтому некоторые геосистемы существуют устойчиво многие миллионы лет, даже, несмотря на определенную изменчивость внешней обстановки, а в последнее время – усиливающуюся нагрузку на них со стороны человека. Следовательно, есть объективные механизмы, которые обеспечивают целостность и устойчивость таких гетерогенных образований, как геосистемы.

В то же время, в природе есть системы, которые возникают и развиваются спонтанно и совсем не привязаны к месту, например, атмосферные вихри или океанические течения. Иногда их называют «турбулентными системами». Являются ли они геосистемами? На эти вопросы пока нет убедительных ответов.

Долгие годы географы были заняты поиском всех этих характеристик геосистем, старясь доказать наличие высокой целостности, автономности и пр. даже тогда, когда эти свойства не доказаны. Правильнее показать такой уровень проявления этих свойств, который существует на самом деле. В то же

самое время, интересно показать те свойства геосистем, которых нет у биосистем, механических планетных и звездных систем и т.д.

По ряду показателей геосистемы занимают некое среднее положение между названными системами и турбулентными системами (водными потоками, воздушными вихрями и др.). Например, состояния геосистем (суточные и сезонные) перемещаются в пространстве и времени, плохо привязываясь к контурам самих геосистем.

Это свидетельствует о том, что

> геосистемы проявляются как *статистические ансамбли состояний комплексной гетерогенной природы*. В частности, А.С. Монин определяет, например, климат как статический ансамбль состояний атмосферы, океана и суши. Точно так же можно определить топоклимат как статистический ансамбль состояний геосистемы.

Д.

Саморегуляция в географической оболочке и геосистемах

Геосистемы, о которых речь шла выше, организованы по принципу *обратной связи, или слежения за отклонением* (от нормы или предыдущего значения) выходной величины. Системы такого рода широко распространены в природе и технике. Они являются и элементами более сложных систем, выступая в роли их регуляторов.

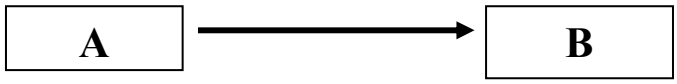
В таких системах удобно и выгодно организовывать управление.

1) Каждая из описанных систем переходит из одного состояния в другое, т.е. развивается автоматически с помощью определенного элемента - управляющего "органа" (подсистемы).

2) Управление осуществляется посредством некоторого воздействия. Сигнал управления вырабатывался по-разному, в зависимости от типа обратной связи. Можно сказать, что *обратная связь* - это реакция системы, осуществляемая через изменение входа, на выходную величину.

Ниже (рис. 4) показаны некоторые «азы» теории саморегуляции.

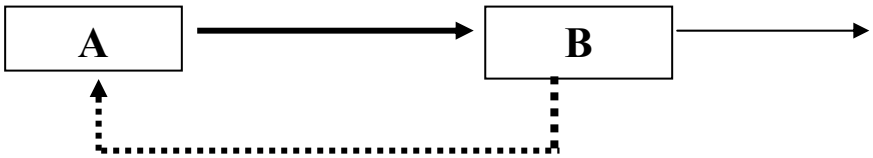
а) прямая связь от А до В



Положительная прямая связь, если рост А обусловливает возрастание В. Символ положительной связи «+».

Отрицательная прямая связь, если рост А приводит к уменьшению В. Символ отрицательной связи «-». Соответствующий символ проставляется рядом со стрелкой, указывающей наличие связи.

б) обратная связь от В к А (показана пунктиром)



Чаще всего обратная связь отображается прерывистой линией. Обратная связь также может быть положительной («+») и отрицательной («-»).

Рис. 4. «Азы» саморегуляции и способы ее отображения на схемах.

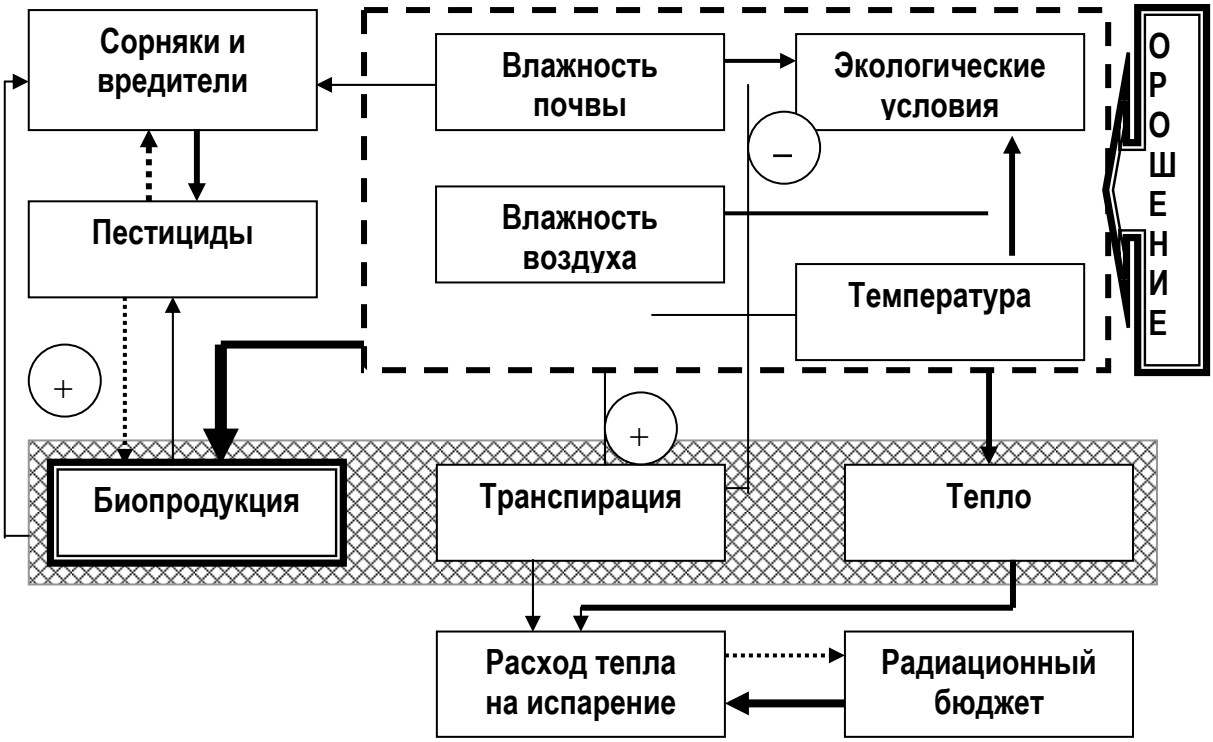


Рис.5. Интенсификация процессов трансформации и миграции пестицидов в условиях орошения на основе активизации механизма самоорганизации (*Боков, Черванев*, 1989; *Борисова,* 1999).

Пояснения к рисунку. Конечной целью всей системы является биопродукция. Биопродукция зависит от экологических условий, которые определяются температурой и соотношением тепла и влаги в воздухе и почве (блок экологических условий обведен на схеме толстым пунктиром). От экологических условий зависит биопродукция, но в то же самое время развитие вредителей земледелия и сорняков. Внесение пестицидов оказывает обратное воздействие на развитие вредителей и сорняков, что одновременно уменьшает и суммарную биопродуктивность экосистемы. Посредством орошения улучшают экологическое состояние, добиваясь повышения биопродуктивности. Но это активизирует все перечисленные, а также другие процессы, показанные на схеме.

Примечание: обратные связи только в отдельных случаях показаны со знаком. В др. случаях они кажутся авторам понятными без индексации.

3) В зависимости от способа регулирования (типа реакции на выходную величину) выделяется два типа систем: *система с отрицательной обратной связью* - стабилизированная система; *система с положительной обратной связью* - система лавинная, саморазвивающаяся.

4) Управление и регуляция в природе бывает двух типов: динамического и информационного. На рис. 5 приведен пример сложного само-

регуляции в агроэкосистеме в отношении поведения пестицида (модель Борисовой).

Схема в упрощенном виде иллюстрирует биогеохимический механизм, обусловливающий характер и темп деструкции пестицидов в условиях орошаемого земледелия.

В *динамическом регулировании* для его осуществления требуется большое количество энергии, т.к. воздействие на систему осуществляется по принципу:

> действие равно противодействию.

В информационном регулировании такого соответствия нет. Как отмечалось выше, действие в такой системе (ее реакция на информационное воздействие) не отвечает величине воздействия извне, а наличие или отсутствие противодействия зависит от состояния системы. Например: окрасив черную кровлю дома в белый цвет, мы уменьшили бы ее нагревание в 5 раз, затратив при этом небольшую энергию (на производство краски и ее нанесение). Чтобы охладить ту же черную кровлю, потребовалось бы энергии летним днем примерно 0,5 квт.м$^{-2}$.

Задание: из опыта изучения базовых географических дисциплин приведите примеры динамического и информационного регулирования.

Саморегуляция с отрицательной обратной связью

В геосистемах, которые регулируются таким образом, происходит своего рода слежение за отклонением состояния системы от равновесного (рис. 3). Стоит начаться процессу изменения, как тут же в системе вырабатывается некоторый импульс, подавляющий причину изменения. Иными словами, увеличение выхода системы снижает вход по следующей принципиальной схеме (рис. 6):

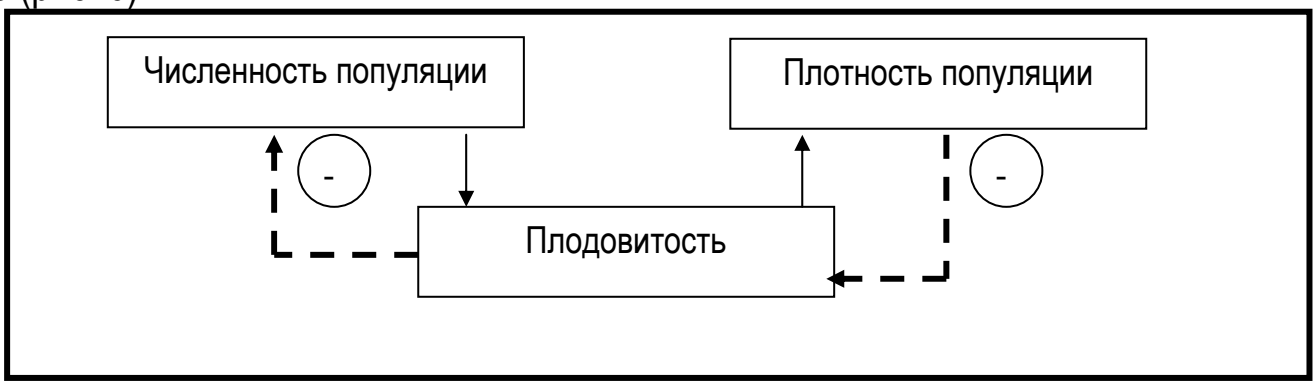


Рис. 6. Принципиальная схема системы с отрицательной обратной связью. Утолщен контур отрицательной обратной связи.

Пояснение: Численность популяции является базовой характеристикой популяции. По мере роста численности растет, при прочих равных условиях, ее плодовитость. Приплод в сумме с базовой численностью образует новую численность. Если территория, занимаемая популяцией, остается прежней, то плотность популяции (т.е. отношение численности к площади) растет. В таком случае, по достижении критической плотности, в популяции возникает информационный сигнал „Нас слишком много!". Т.е. налицо *информационное регулирование.* Реакцией на него является снижение плодовитости, а это, в свою очередь, уменьшает прирост численности (т.к. часть популяции естественным образом вымирает).

Задание: Пользуясь этой схемой как своего рода матрицей, рассмотрите отношения, возникающие на основе отрицательной обратной связи , которые можно увидеть в природе и социуме.

Саморегуляция на основе положительной обратной связи.

Такая саморегуляция построена на принципе: увеличение выхода системы усиливает вход.

Пример такого рода приведен на рис. 7.

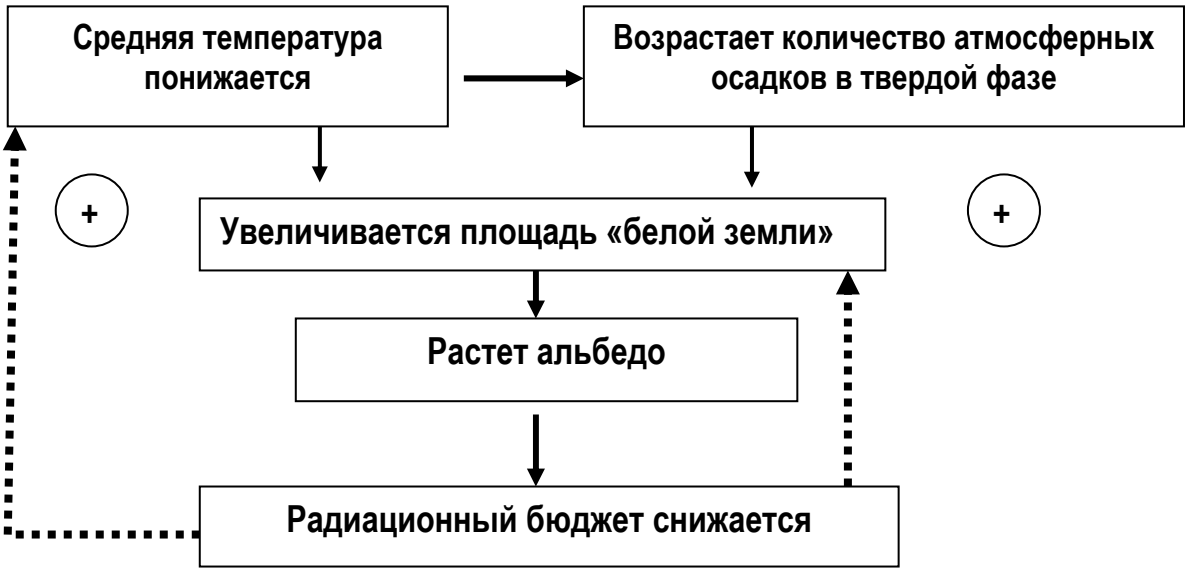


Рис.7. Модель "белой земли" по М. Будыко.

Пояснение: принципиально важное явление самоусиления понижения средней температуры Земли при увеличении площади ледников и снегов за счет положительной обратной связи «+». Этот процесс, в свою очередь, приводит к разрастанию площади "белой земли".

Другими словами, стоит только начаться определенному процессу, который регулируется таким образом, как дальше он будет все более усиливаться, пока не разрушит систему или же истощит окружающую среду.

Динамическая саморегуляция

Очевидно, что одновременно множество разных причин приводят к тому, что это равновесие будет то и дело нарушаться: меняющаяся погода влияет на темп испарения; осадки увеличивают приток воды; люди забирают воду на орошение, не считаясь с потребностями природы – именно тогда, когда вода нужна полям и т.д. Все эти спонтанные (по отношению к геосистеме) воздействия называются флуктуациями. Из-за флуктуаций геосистема не может находиться в равновесном состоянии устойчиво и только стремится к нему. Такое равновесие, которое постоянно нарушается, хотя геосистема и стремится его воссоздавать, называется *динамическим равновесием* (рис. 8).

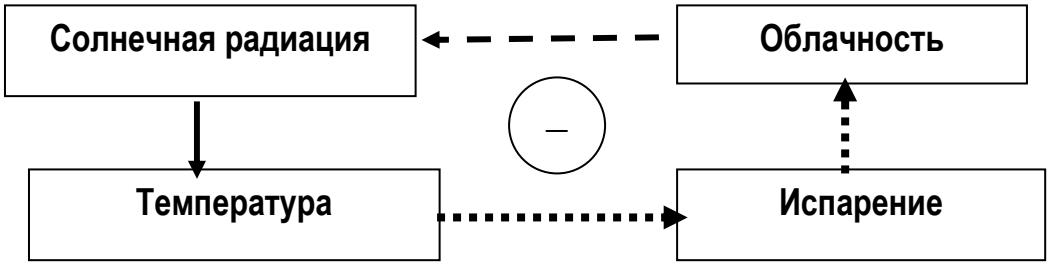


Рис. 8. Динамическое равновесие на основе отрицательной обратной связи

Пояснение: система саморегуляции (стабилизации) состояния системы “атмосфера – земная поверхность” на основе отрицательной обратной связи (все пунктиры).

Отрицательная обратная связь обеспечивает сохранение равновесий. Множество таких связей создают гомеостазис в системе геосферы, что имеет глобальное экологическое значение.

Пример 1. В качестве примера рассмотрим бессточное озеро, например Аральское море или Каспийское море в условиях саморегуляции (рис. 9).

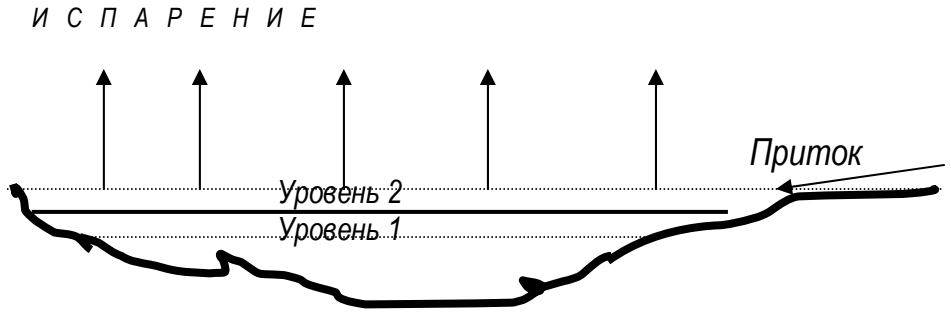


Рис. 9. Сложное саморегуляция на основе отрицательной обратной связи (выделена пунктиром).

Это пример динамической саморегуляции. Уровень колеблется между уровнями (1) и (2).

Пояснения. *Входом системы* является приток воды с площади бассейна озера. Можно выделить два входа, так как озеро имеет поверхностный и подземный бассейны, но это не изменит сущности системы.

Система имеет *один выход* - это испарение с водной поверхности.

Для того чтобы определить, управляемая ли это система, проведем мысленный эксперимент. Представим себе, что уменьшился приток. Нарушится баланс, от которого зависит объем озера. Снижение объема обусловит снижение уровня воды (до отметки (1), из-за чего площадь озера снизится. Уменьшение площади приведет к снижению испарения, воды в озере станет больше, уровень поднимется и установится на средней отметке (показан утолщенной линией между уровнями (1) и (2). При любом изменении испарение будет стремиться к равенству с притоком воды, т.к. площадь озера уменьшается при избыточном испарении, и оно спадает, и наоборот. Т.е. происходит автоматическое регулирование системы в соответствии с указанным принципом. Управляющим элементом (регулятором) будет выступать площадь зеркала озера (она выделена на схеме), от нее зависит испарение. Поскольку приток в этой модели не меняется, то испарение уменьшает площадь озера, которая с обратным знаком зависит от него.

Итак, в первом случае:

уменьшился приток - понизился уровень - уменьшилась площадь зеркала - уменьшилось испарение и так *до тех пор, пока установится равенство притока и испарения.*

Разберите другие случаи: а) увеличение притока; б) увеличение испарения; в) уменьшение испарения. Самостоятельно проанализируйте, что про-

изойдет в каждом случае с уровнем озера. Можно рассмотреть комбинации двух изменений одновременно.

Вопрос на смекалку: Ответьте, может ли происходить такое саморегуляция в водоеме с отвесными берегами и отсутствием отмелого берега?

Если всякое изменение состояния системы такого рода, определяемое изменением соотношения входа-выхода, гасится противоположным воздействием управляющего элемента, который таким образом стабилизирует систему, то говорят, что это система саморегуляции с отрицательной обратной связью. Системы с отрицательной обратной связью устойчивы. Они самосохраняются, как бы защищаясь от воздействий внешней среды.

Пример 2. Замерзание водной поверхности - это защита системы от излишнего расхода тепла. Обычно большая часть тепла, которое накоплено в воде водоема, тратится на испарение воды. Испарение с поверхности льда по сравнению с ним ничтожно.

Такую же функцию саморегуляции выполняет в летнее время испарение воды. Чем сильнее нагревается вода, тем сильнее испарение, а последнее снижает температуру воды. Благодаря этому, вода в саморегулируемом водоеме не перегревается. Температура воды (в поверхностном слое активного взаимодействия с воздухом) стабилизируется у некоторой величины - *точки равновесия системы.*

Но в природе есть и противоположные способы саморегуляции.

Пример 1. После извержений вулканов неоднократно отмечалось длительное (в несколько лет) похолодание климата Земли. Оно имеет характер системы с положительной обратной связью. Извержение снижает прозрачность воздуха, т.к. пыль и газы замутнят воздух не только тропосферы, но нижней стратосферы. Замутненный воздух перехватывает часть потока солнечной радиации и благодаря этому нагревается. Почва и поверхность океана недополучают тепло и относительно охлаждаются. В атмосфере устанавливается *равновесие вертикального столба воздуха, и вертикальная конвекция затухает.* Это приводит у уменьшению теплопереноса в приземном слое воздуха дополнительно к тому, что вызван непосредственно замутнением воздуха.

Это пример информационного регулирования. Мощь самого невероятного вулканического извержения несопоставимо мала по сравнению с потоком солнечной энергии на протяжении, например, года.

Еще более выразительными примерами информационного регулирования являются аэрозольный эффект в городах и промышленных регионах, или воздействие озона на структуру потока инсоляции.

Пример 2. Стоит начаться таянию снега весной, как этот процесс станет усиливаться сам собой: поверхность снега потемнеет, и ее альбедо уменьшится; образуются проталины – все это усиливает поступление солнечной энергии, и т.д.

Пример 3. Как начинается опустынивание: как лишай на живом теле. Стоит начаться процессу, в частности, уничтожить хотя бы частично растительность в сухой степи или полупустыне – и пустыня тут как тут. Оставшаяся растительность угнетается, разреживается, она не в состоянии добывать воду из глубины песка; уменьшается испарение влаги, воздух становится суше, осадки не достигают поверхности, испаряясь в сухом воздухе не долетая до земной поверхности и т.д. Исследования показывают, что в результате совокупности таких, казалось бы, незначительных, процессов водный баланс территории, испытывающей опустынивание, снижается втрое, хотя, казалось бы, ничего ведь не произошло существенного?

По такой же схеме развивается пожар в лесу или в другом месте. Сначала воспламеняется только то, что легко горит, но постепенно температура растет, и горит все остальное. Это процессы с положительным контуром саморегуляции, или с *положительной обратной связью*. Принципиальная схема такого процесса выглядит так, как на рис. 10.

Это примеры, где процесс имеет сигнально-информационный характер. Он меняет соотношения между компонентами окружающей среды, что придает стихийно начавшемуся процессу направленный характер.

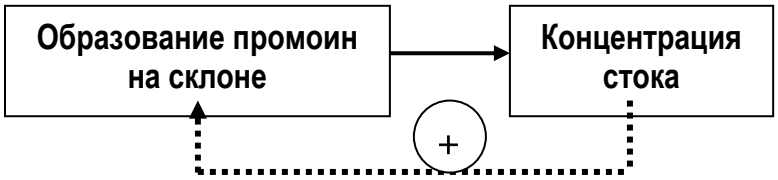


Рис. 10. Простой пример системы с положительной обратной связью.

Пример 4. Известно, что племена Центральной Африки вызывают выпадение осадков в виде ливней с помощью искусственных пожаров. Поджигая

большой массив сухой саванны, они добиваются возникновения мощного столба воздуха, который достигает уровня конденсации влаги и приводит к возникновению облачности и осадков.

Задание 1. Составить модель представления о том, каким образом искусственно вызываются осадки с помощью мощного пожара.

Ответить на вопросы:

1. Чем регулируется этот процесс?
2. В каком случае он будет устойчивым, т.е. осадки будут продолжаться долго? (этот сложный пример требует учета влияния конденсации водяного пара над источником конвективного подъема воздушного столба – см. раздел о географических тепловых машинах).

Пояснение: Этот процесс регулируется состоянием воздушного столба в зоне пожара. Чем выше нагревание воздуха снизу, тем больше его неустойчивость и соответственно, импульс движения нагретого воздуха вверх..

Процесс не станет устойчивым никогда, т.к. он регулируется положительной обратной связью. Он приобретет квазиустойчивый характер, если вертикальный воздушный столб достигнет уровня конденсации. Такое состояние будет сохраняться до тех пор, пока будет достаточно атмосферной влаги для поддержания «тяги» в этой вертикальной «трубе»).

Задание 2. Привести 2-3 примера динамического равновесия в геосистемах (саморегуляция радиационного, теплового баланса и влагооборота).

При информационной регуляции энергии затрачивается во много раз меньше по сравнению с теми преобразованиями, которые осуществляются в регулируемой системе. Например, чтобы выключить электросеть мощностью в сотни киловатт, достаточно нажатия кнопки.

Примеры информационного регулирования.

Пример 5. Вследствие усиления парникового эффекта прозрачность воздуха по отношению к тепловому излучению уменьшается. Это приведет к энергетическому эффекту, который на много порядков выше, чем затраты энергии на производство парниковых газов.

Таким образом:

саморегуляция с положительной обратной связью осуществляется системой таким образом, что выход процесса усиливает его вход. Благодаря этому, процесс самопроизвольно усиливается.

Задание 3. Построить модель представления информационного регулирования географического процесса. Возможные варианты: регулирование потока ультрафиолетовой радиации к земной поверхности изменением содержания озона; зависимость таяния снега от альбедо поверхности и др.

Выводы

Саморегуляция - это простейший вид управления, осуществляемый самой системой без участия человека. В любой системе управления имеются составные части, связи между ними, входы и выходы системы, набор состояний, в которых система может находиться, и управляющие элементы. Они взаимодействуют по двум принципам: положительной и отрицательной обратной связи.

Исследователю, который намерен освоить управление такой системой, необходимо определить характер управления и установить, каковы возможности человека в деле управления геосистемой, другими словами, имитировать систему, показав ее элементы, прямые и обратные связи между ними.

1.6. Устойчивая неравновесность

И. Пригожин обратил внимание на то, что природные системы реально находятся в *устойчиво неравновесном состоянии.* Это такое состояние геосистемы, которое возникает и самоподдерживается ею в условиях, когда геосистема постоянно получает внешнюю энергию или вещество, т.е. является *открытой системой*. Природные системы всегда являются открытыми, и только в исследовательских целях их можно отождествлять (достаточно условно) с закрытыми или изолированными системами.

Это обобщение И.Пригожина произвело революцию в современном естествознании, а сам автор был справедливо удостоен Нобелевской премии.

Пример 6. В русле водотока постоянно происходят гидрологические процессы, вызванные кинетической энергией текущей воды. Последняя, в свою очередь, является преобразованной энергией Солнца. Движущаяся вода производит работу (водная эрозия), разрушая дно, и перемещает продукты разрушения вниз по руслу и в то же время откладывая их на дне и у берегов водотока (аккумуляция). В то же время, на место вынесенного материала откладываются наносы, которые поступили из вышележащих частей русла. Поэтому форма русла – его продольный и поперечный профиль – хотя и меняются, но в значительно меньшей степени, чем ожидалось бы. Образно говоря, речной поток сам разрушает и сам же ремонтирует русло. Благодаря этому, русло остается *устойчиво неравновесным* и меняется в меньшей мере, чем следовало ожидать, хотя постоянно находится в состоянии обновления и преобразования – но только в определенных рамках.

Если прекратить описанный процесс, т.е. попытаться заменить неравновесность равновесным состоянием, то русло отомрет и превратится в озеро-старицу. Таким образом, *устойчиво неравновесная система жизнеспособна до тех пор, пока она сохраняет неравновесность.* Налицо пример устойчивой неравновесности.

Задание 4. Какие из этих геосистем допустимо, с Вашей точки зрения, рассматривать как устойчиво равновесные системы, а какие - непременно как устойчиво неравновесные.

а) столб воздуха в тропосфере в условиях зимней температурной инверсии,

б) столб воздуха в летнее время в условиях нагревания воздуха от земной поверхности,

в) вертикальная стратификация воды в глубоком пресноводном водоеме летом,

г) то же самое, но зимой,

д) система планетарного влагооборота.

Задание 5. Постройте (на выбор) графическую модель процесса и его представления в качестве соответствующей системы. Опишите эту систему в терминах, которые Вы изучили выше.

Нарушения устойчиво неравновесной системы «Влагооборот»

Влагооборотом охватывается ежегодно гигантский объем воды – около 510 тыс. км^3. Для нас важно, сколько водяного пара и энергии поступает из Мирового океана – самого большого природного резервуара воды и энергии – в атмосферу, т.к. этим определяется климат Земли.

Количество влаги, испаряемой Мировым океаном в год, составляет приближенно 470 тыс. км^3. Принимая, что плотность воды 1, нетрудно подсчитать массу воды, участвующей во влагообороте (проделайте этот расчет самостоятельно).

Зная массу воды, участвующей во влагообороте, рассчитаем количество энергии, которое переносится в тропосферу в форме *скрытой теплоты парообразования* и выделяется в форме *явной теплоты* при конденсации водяного пара.

Расчет. Как мы установили выше, испаряется 4,7 10^{14} кг воды. Удельная теплота парообразования составляет приблизительно (т.к. она зависит от температуры) 2,26 10^6 Дж.

Таким образом, за год из океана переносится в тропосферу чуть более 10^{21} Дж. Это огромная энергия, благодаря поступлению которой температура воздуха существенно поднимается, в особенности в зимнее время.

К примеру, в Харькове в январе она выше нормы, обусловленной непосредственным поступлением солнечной энергии, более чем на 30^{0}С.

Этот процесс пространственно разнороден. Он особенно существен там, где велик контраст между температурой океанической воды и воздуха, хотя ясно, что испарение больше там, где выше температура воды, суше воздух и больше скорость ветра.

Но есть еще один фактор, определяющий испарение: это состояние испаряющей поверхности. Если покрыть поверхность Мирового океана пленкой нефти микронной толщины, то испарение влаги уменьшится примерно вдвое. Легко предположить, каков эффект этого антропогенного явления, если оно станет планетарным.

Следовательно, загрязнение Мирового океана нефтью – оно самое существенное в настоящее время – это не только ухудшение экологического состояния берегов рекреационных районов Мира и самой акватории (о чем обычно с тревогой пишут СМИ): это, прежде всего, нарушение в динамически неравновесной системе земной климатической машины.

По некоторым подсчетам, это 1/4 доля его поверхности. Нефть образует пленку, препятствующую испарению. Спрашивается, как это отразится на температуре воздуха нашей планеты?

Задание 6: пользуясь картами температуры земной поверхности, найдите места наибольшей контрастности температуры океана и суши. Опишите их.

Легко понять, что из-за загрязнения поверхности испарение уменьшается. Подсчеты показали, что уменьшение испарения составляет уже сейчас несколько процентов. Это приведет к тому, что в океане начнет накапливаться часть энергии, которая раньше тратилась на испарение воды.

Однако теплоемкость океана (даже в верхнем слое) так велика, что накопление тепла не приведет к заметному быстрому повышению температуры - для этого потребуются десятилетия. Зато понизится температура атмосферы, так как раньше часть тепла в виде скрытого тепла парообразования выделялась в тропосфере при конденсации пара. Теперь этот процесс должен угасать из-за нарушения влагооборота из-за загрязнения океана.

Таким образом, изменятся тепловые условия. Изменятся и условия увлажнения. Кто знает, может быть, этот процесс уже начался?

Пример 1. В одной из недавних работ рассматривалось воздействие влажности почвы, регулирующее тепловой баланс, на примерах экстремальных территорий.

Спросим себя: почему лес растет на многолетней мерзлоте, но погибает, если мерзлота деградирует, хотя из общих соображений нам кажется, что мерзлота - негативный фактор среды? Является ли мерзлота только реликтом, или ее наличие связано с регулирующей ролью некоторых геосистем?

Исследования показали, что многолетняя мерзлота сохраняется и существует (а может быть и возникает) как *естественная реакция природной системы на дефицит тепла*. Причем регулирующую роль оказывают живые организмы, прежде всего лесная растительность. Для того, чтобы тепло сконцентрировалось в верхнем наиболее важном для растений корнеобитаемом слое, а не ушло на глубину и не израсходовалось при этом бесполезно для растений на таяние вечного льда, его необходимо "запереть", ло-

кализовать в этом слое почвы, ограничив его вертикальный перенос. Эту функцию - запирание тепла - осуществляет относительно сухой слой почвы, образующийся в ее нижних горизонтах за счет того, что деревья именно из него высасывают влагу (рис.11).

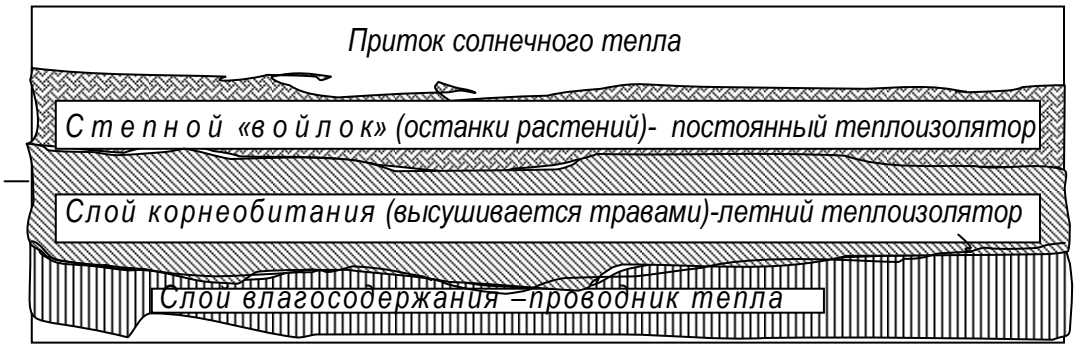


Рис. 7. Принципиальная схема саморегуляции отношений «тепло-влага» в степной геосистеме.

Пояснения: *степной войлок* выполняет роль одеяла, уменьшая теплообмен между почвой и воздухом. Растения получают влагу из находящегося непосредственно под ним *слоя корнеобитания.* Количество влаги, высасываемой корнями, тем больше, чем суше и жарче воздух. Два эти слоя вместе взятые изолируют от поверхности *слой влагосодержания*, где находятся основные запасы почвенной влаги. Она поступает снизу в форме водяного пара (на его образование тратится тепло, запасенное в нижнем слое почвы, и в относительно небольшом количестве поступающее сверху), таким образом, восполняет утраты влаги вышележащего слоя.

При этом, температура снижается, что улучшает условия корнеобитания. Над поверхностью почвы растения улучшают экологические условия за счет транспирации влаги, на испарение которой расходуется солнечное тепло. Таким образом, геосистема противостоит резким колебаниям внешних условий.

Зимой, когда корни растений отмирают или «засыпают», слой корнеобитания утрачивает изолирующую роль. Зато срабатывает термодинамический механизм: по мере промерзания почвы теплота фазового перехода «запирается» сверху степным войлоком, поэтому промерзание не бывает глубоким. Если выпадает снег, то он усиливает этот эффект. Растения и животные в почве находятся в лучших условиях внешней среды, чем на поверхности.

Сухая почва хуже проводит тепло, чем влажная. Поэтому, *сухой слой почвы - это тот теплоизолятор, который разделяет нижележащие постоянно мерзлые породы и находящуюся выше него активную (для растений) почву.* Благодаря этому все тепло, получаемое почвой, остается в корнеобитаемом и вышележащем слоях, поэтому более доступно растениям.

Терморегулятором в этом случае является слой сухой почвы - его наличие и свойства. Этот слой, в свою очередь, создается растениями.

Если уничтожить растительность (срубить лес), исчезнет фактор образования сухого слоя, и тепло будет свободно проникать на глубину. Это приведет к тому, что многолетняя мерзлота будет деградировать, но при этом количество тепла, которым располагает верхний, самый важный для жизни слой, уменьшится. Лес не сможет восстановиться, либо этот процесс будет очень длительным и многостадийным.

Получается, что многолетняя мерзлота - это не такой уж бич районов, где она существует, как это принято думать (в основном из-за инженерных проблем).

Таким образом, налицо еще один пример управляемой системы. Подобный механизм приспособления есть и в степи.

Задание 7: Составить блок-схему на основе этого словесного описания.

Из этих двух примеров видно следующее. Природоохранная деятельность исходит из правильной и своевременной цели сохранения естественных геосистем. Внешне она выглядит как сохранение живых и биокосных элементов (растительного покрова, почвы и вод). По существу, природоохранная деятельность эффективна тогда, когда она обеспечивает *сохранение саморегуляций в геосистемах*. Это стратегия своего рода «человека биосферного». Она реализуется в настоящее время в международных и национальных программах по сохранению биоразнообразия и ландшафтного разнообразия, в том числе и путем создания *трансъевропейской экологической сети*. Эта сеть, как известно, будет состоять из биоцентров (участков территории, где указанное свойство геосистем наиболее сохранилось), и биокоридоров, которые будут обеспечивать объединение биоцентров в целостную систему. Для этих целей будет переведено в новую «биологическую» форму землепользования несколько млн. га неудобных и малопродуктивных земель.

А как быть на других землях? Например, степь, о которой тут шла речь, остается житницей страны, и другие международные организации и программы (например, Всемирная организация продовольствия – ФАО) пристально следят за эффективностью использования пахотных земель.

В таком случае нужна более сложная стратегия: обрабатывая землю, следить за тем, чтобы природные механизмы саморегуляции функционировали в нормальном режиме.

Представьте себе, например, что вследствие ненормированного полива уровень грунтовых вод поднялся так, что они насытили третий сверху (см. рис. 11) слой почвы. Тогда влага станет поступать кверху в жидком виде по капиллярам (вспомним, что нормально она поступает в форме водяного пара.

Капиллярная влага переносит в растворе и в ионной форме компоненты, из которых при высыхании образуются соли (например, сода, как это описано Л.Н. Горевым – известный гидрохимический *эффект Горева-Казанцева*). Сода резко меняет условия верхнего слоя почвы. Условия жизни растений резко ухудшаются, т.к. только отдельные виды способны жить в такой геохимической среде. Исчезает степной войлок - продукт жизнедеятельности разнотравья, даже если он еще существовал (обычно же в процессе обработки почвы он уничтожается механически). Таким образом, практически все, о чем шла речь, разрушается, т.е. геосистема утрачивает способность саморегуляции.

В качестве примера приведем рис. 12. Он отражает только один аспект проблемы, которая рассматривается здесь: дигрессию ландшафта путем изменения функционирования тепловой машины геосистемы в условиях стихийного природопользования.

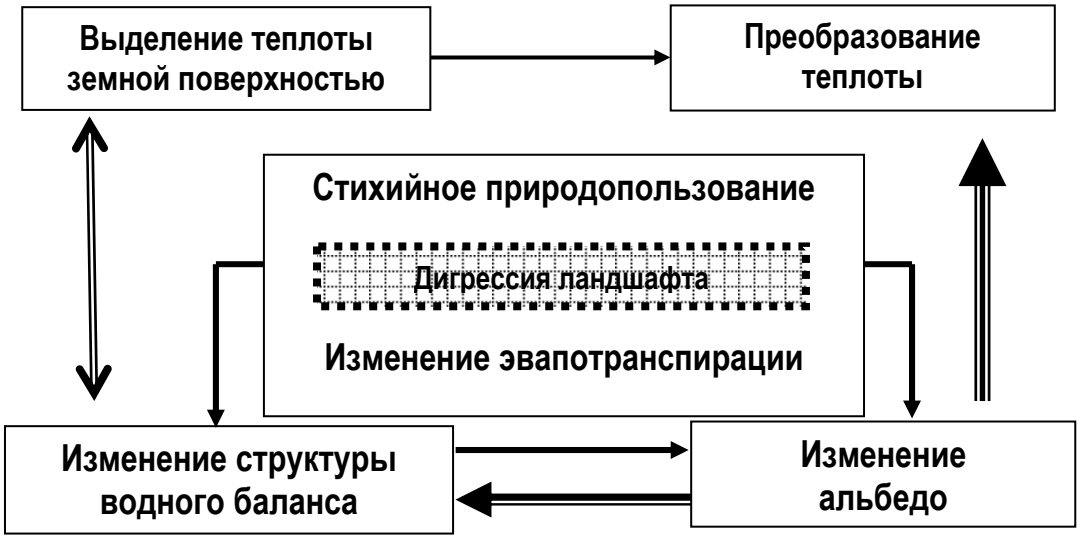


Рис. 12. Географический ландшафт является «тепловой машиной», состояние которой определяется регулирующей ролью соотношения тепла и влаги.

Пояснение: дигрессия ландшафта – это процесс, который вводит в действие систему положительной обратной связи. Экологические свойства ландшафта прогрессирующе ухудшаются в результате начавшейся дигрессии, которая вначале может быть незначительной.

Это может быть эффект флуктуации или эффект нерегулируемого природопользования, если оно превышает допустимую нагрузку на окружающую среду.

Задание 8: Напишите кратко о том, что Вы видите на этом рисунке и каким образом можно было бы избежать дигрессии.

Человек будущего не может, как говорилось выше и понятно каждому, отказаться об использования продуктивных земель. Но если мы намерены при этом сохранить геосистемы, то должны следовать стратегии «человека ноосферного»: использовать свои знания, свой разум для того, чтобы управлять процессами саморегуляции на обрабатываемых землях, как бы отчасти замещая своим разумом и средствами управления регулирующую способность природы. Многие ученые и специалисты сомневаются в такой возможности, руководствуясь известным постулатом: Природа знает лучше. Это, конечно так при условии, что удается отказаться от землеиспользования, от лесоиспользования и рыборазведения. Но если на это пойти нельзя, то приходится думать об оптимизации. Все равно это лучше, чем стихийное природопользование. Как это сделать – читайте в фундаментальных работах соответствующих специалистов [[17],[18]].

ВЫВОДЫ. Постараемся извлечь из приведенных примеров то общее, что их объединяет:

А. В природе реально и независимо от воли людей формируются геосистемы. Каждая геосистема – саморегулирующееся образование.

Б. Все саморегуляции сводятся к сочетанию прямых воздействий и обратных реакций. И воздействия, и реакции бывают положительными и отрицательными.

В. Чем сложнее геосистема, тем большее число регуляций в ней может образоваться.

Д. Благодаря саморегуляциям, геосистемы противостоят воздействиям внешней среды.

Е. Если человеческая деятельность наносит ущерб геосистеме, то это происходит прежде всего через разрушение ее структуры и механизма саморегуляции.

Ж. «Человек биосферный» обязан всячески сохранять нетронутыми те геосистемы степи, которые еще сохранили саморегуляцию, и способство-

---

[17] См. *Шищенко П.Г., Гродзинський М.Д.* Содержание и основные метоыі ландшафтного обоснования проектирования мелиоративных систем // Географические проблемы мелиоративных земель УССР.-К.: 1987.- С. 27-33.

[18] См.: *Позняк С.П, Красєха Є.Н., Кіт М.Г.* Картографування ґрунтового покриву.Львів: ЛНУ- 2003.

вать ее самовосстановлению (пассивная стратегия). «Человек ноосферный» должен уметь использовать саморегуляцию для улучшения экологической ситуации (активная стратегия).

Задание 9: Напишите короткое описание: как человеческая деятельность может нарушать структуру и саморегуляцию степных геосистем. Какой может быть стратегия «человека биосферного»? Какой может быть стратегия «человека ноосферного»?

Модуль **II. ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОСИСТЕМ**

II.1. Понятие оптимизации

Как уже было сказано, если человек не может отказаться от природопользования, то по крайней мере должен, обязан перед следующими поколениями сделать свои воздействия на геосистемы такими, чтобы не разрушать механизмы саморегуляции последних. Иными словами, нам предстоит взять на себя тяжелую ношу управления природными процессами саморегуляции, т.е. своего рода роль «разума геосистемы». Это задача с сомнительным результатом, но все другие человеческие проблемы когда-либо казались такими же. Если существует понятие управляемого термоядерного синтеза, процесса, чрезвычайно трудно управляемого и даже труднодоступного для слежения за ним, то почему не ставить вопрос об управлении геосистемами, которые вполне доступны для мониторинга, позволяют принимать решения в режиме реального времени и т.д.

Итак, речь будет идти об оптимизации. Оптимизация – ключевое понятие ноосферного развития, получившее организационное обрамление в концепции устойчивого развития. Предшествующая стратегия (реально она господствует и доныне) имеет характер *максимизации*: как можно больший рожай, максимальное количество древесины или уловы рыбы и т.д. Но максимизация, выгодная в краткосрочной перспективе, оказывается губительной в долгосрочной (известны хрестоматийные примеры хищнического использования природных ресурсов).

> Оптимизация - это выбор варианта поведения (воздействия, реакции на воздействие), который был бы наилучшим компромиссом из множества возможных вариантов.

Стратегия оптимизации состоит в поиске единственно разумного или вариантного соотношения видов и уровней природопользования таким образом, чтобы ни один из них не был губительным для другого. Они должны быть компромиссными, но такими, чтобы суммарный эффект оказался наибольшим или, точнее, наилучшим из возможных. Если включить в качестве «игрока», наряду с видами природопользования, еще и геосистему, т.к. она имеет свою стратегию – сохранение саморегуляции и самосовершенствование (самоорганизация), то в таком случае оптимизация выступает средством карди-

нального решения проблем окружающей среды в рамках концепции устойчивого развития. Итак, ниже будем рассматривать примеры задач оптимизации.

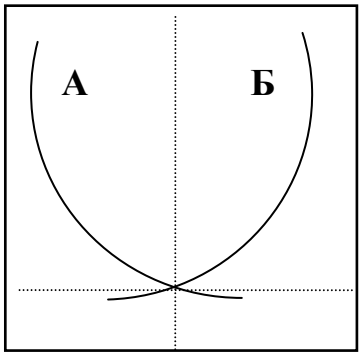


График 1. Оптимизация, осуществляемая в пространстве двух критериев.

Обычно оптимизацию характеризуют с помощью графика (график 1), подобного рис. 12

На нем показана оптимизация, осуществляемая в пространстве двух критериев **А** и **Б**, которые необходимо учесть. Таким же образом можно принимать во внимание три или более критериев, компромисс между которыми необходимо отыскать.

В природных системах довольно часто возникают спонтанные (самопроизвольные) эффекты оптимизации. Например, в живой природе - это компромисс между стремлением вида к неограниченному возрастанию численности, с одной стороны, и ограниченностью ресурсов среды - с другой. В неживой природе - это установление равновесных температуры, темпа испарения и проч., когда самопроизвольно отыскивается оптимум между данным процессом, с одной стороны, и его воздействием на другие параметры системы, с другой.

В ряде случаев человек имитирует природные процессы для достижения своих целей, смещая точку оптимума природной системы в определенную сторону. В качестве примера рассмотрим процесс орошения полей.

Пример. Орошение чаще всего рассматривают только как полив, т.е. увлажнение почвы с целью изменения ее водного баланса, что, казалось бы, является сугубо положительным воздействием. Географами давно ведутся исследования по гидрометеорологическому обоснованию орошаемого земледелия. Перспективность этого направления состоит в том, что оно указывает путь более тонкого, чем традиционный инженерно-мелиоративный вариант, воздействия на ландшафт сельскохозяйственных полей через механизмы, регулирующие тепловлагообмен: дождевание, выборочное орошение при контроле всего комплекса гидрометеорологических условий.

Почему же в таком случае так часты случаи негативного воздействия орошения на ландшафт? Потому, что в процессе мелиорации акцент часто делается на другой, наиболее наглядной, но, вероятно не единственной существенной стороне проблемы - максимальном увлажнении почвы вместо разумного воздействия на баланс тепла и влаги.

Необходимо подойти к орошению как к способу оптимизации системы "среда - растение". Для этого следует рассмотреть орошение как географическую мелиорацию, т.е. *направленное преобразование всей природной системы в границах некоторого региона с целью ее оптимизации.*

Полив приводит к изменению не только увлажнения, но также радиационного и теплового баланса. Влажная почва отражает меньше солнечных лучей и, значит, больше задерживает приходящей солнечной радиации. Таким образом, при орошении приходная часть радиационного баланса увеличивается, но рост испарения влаги с земной поверхности приводит к снижению температуры, что, в свою очередь, ведет к уменьшению эффективного излучения. Значит, расходная часть радиационного баланса уменьшается. Налицо эффект положительной обратной связи, когда малое начальное изменение режима увлажнения приводит к перестройке также энергетического баланса. Увеличение радиационного баланса приводит к тому, что природный комплекс обогащается энергией, которая расходуется на испарение, турбулентный теплообмен земной поверхности и растений с атмосферой и главное - на увеличение биопродуктивности (так как последняя функционально связана с величиной радиационного баланса). Перестройка теплового баланса идет в направлении увеличения расхода энергии радиационного баланса на испарение влаги, что снижает температуру поверхности и способствует улучшению экологической обстановки в слое обитания растений (и жизнедеятельности человека).

Следовательно, урожай, ради которого осуществляется полив, только отчасти определяется повышением влагосодержания. В равной мере он связан с энергетическим балансом. Это довольно сложная система связей и отношений саморегулируема.

В действительности, обратных связей в реальной системе *"среда - растение"* гораздо больше (как, впрочем, и связей другого рода).

Положительные эффекты в этой системе взаимодействий более значительны, чем отрицательные. В результате, происходит рост урожайности.

II.2. Постановка проблемы оптимизации геосистемы

Прежде всего, важно правильно поставить *оптимизационную цель*: не вылить на поле положенную норму воды, а использовать полив только как средство выбора наилучшего соотношения параметров почвы и приземного слоя воздуха, т.е. поставить и решить задачу *оптимизации культурного ландшафта.* В случае решения такой задачи получается ощутимый экологический и экономический эффект, а потери от применения орошения становятся минимальными.

Далее, для того, чтобы оптимизировать систему, потребуется решить несколько задач:

- *выделить систему* из окружающей среды,

- разобраться в ее структуре и связях, т.е. *построить модель системы*,
- определить тип и поведение системы, найти регулирующий механизм, *установить критерии оптимальности,*
- найти наиболее целесообразный *способ воздействия на систему*, чтобы перевести ее в оптимальное состояние.

Эти задачи являются типовыми. Их придется решать при оптимизации систем разного типа, пользуясь большим арсеналом традиционных географических (в частности, геофизических, геохимических) методов, а также новыми и нетрадиционными для географии средствами *геокибернетики.*

Таковы общие подходы к проблеме оптимизации в системе *"человечество - природная среда".*

> Воздействия на процессы в географической оболочке будут эффективными в том случае, если используются не прямые изменения их естественного течения, а принцип управления путем косвенного преднамеренного воздействия на геосистему.

Необходимо отыскивать неустойчивые состояния природной среды или отдельные неустойчивые процессы, которые потребуют сравнительно небольших по величине затрат энергии или вещества, незначительного, но умелого (своевременного и точно определенного) вмешательства для того, чтобы направить процесс в нужную сторону.

Такое небольшое вмешательство подобно информационному сигналу.

> *Сигнал* - это воздействие (обычно очень слабое), способное переводить воспринимающую систему в качественно новое состояние, благодаря чему она иначе относится и к вещественно-энергетическим потокам.

Совершенно очевидно, что наиболее перспективным путем управления природной средой, особенно на уровне крупных геосистем, является использование сигнальных воздействий, т.е. природных механизмов регулирования, для решения многочисленных конкретных задач: самоочищения, повышения плодородия почвы, стимулирования влагооборота, биопродуктивности и т.п.

> В отличие от технических и биологических систем, в которых четко фиксируются источники сообщения, блоки кодирования, запоминающие

устройства, получатели сигналов, передача сигналов в геосистемах осуществляется вместе с перемещением вещества и энергии, она как бы "размазана" в пространстве. Это затрудняет выявление и использование процессов сигнального характера.

II.3. Пространственные и временные масштабы воздействий на геосистемы

Преднамеренные воздействия имеют самые различные *пространственные масштабы* - от точки (заводская труба, выброс сточных вод) до больших площадей (распашка полей, орошение, осушение и т.п.).

По временньму масштабу можно говорить о воздействиях однократных, разовых, периодических, постоянных, динамических (ежегодная распашка), стационарных (город).

Типы воздействий на геосистемы. В других работах [19] авторы выделяли четыре типа воздействий человека на природную среду, которые получаются из сочетания двух признаков (каждый по два варианта проявления):

- преднамеренности или наоборот, стихийности воздействия;
- прямого или же косвенного их характера.

В таблице видно содержание этой простой, но емкой классификации.

	Прямые	Косвенные
Преднамеренные	**ПП**	**ПК**
Непреднамеренные	**НП**	**НК**

Пояснение. *Преднамеренные прямые* (**ПП**) воздействия. Это большая часть инженерных воздействий человеческой деятельности на природные объекты. Они выполняются в соответствии с государственными, или региональными, или местными программами, планируются, проектируются, оцениваются средствами ОВОС (в мировой практике – EIA). Как правило, в таких воздействиях мало места произволу.

Непреднамеренные прямые воздействия (**НП**) как тень, сопровождают первые, являясь побочными по отношению к ПП. Чтобы добывать руду, надо свести лес или ликвидировать хутор, затем снять плодородный слой почвы, пробурить скважины и интенсивной откачкой понизить уровень подземных вод и т.д. Таких непреднамеренных, но все же планируемых воздействий возникает великое множество. Они только отчасти предусматриваются проектом, но чаще возникают по ходу дела.

Преднамеренные косвенные воздействия (**ПК**) – это наиболее тонкий, наперед осмысленный способ решать человеческие проблемы силами природы. Например, можно очищать загрязненный поверхностный сток, построив инженерные сооружения. Для них

---

[19] См. *Боков В.А., Черванев И.Г.* Введение в физическую географию и рациональное природопользование. Учебное пособие.- Х.: ХГУ, 1989.

потребуются металл, химреагенты и т.д. Но можно использовать культивирование определенных растений – и они сами решат ту же проблему. Например, на таком принципе создаются биоинженерные сооружения: сочетания растений, которые способны очищать поверхностный сток, получая от этого пользу для себя.

Непреднамеренные косвенные воздействия (**РК**) – своего рода «медведь в посудной лавке». Они сплошь и рядом возникают по невежеству, из-за недостаточной изученности, по другим причинам (иногда утаиваются заблаговременно, чтобы снизить проектные затраты и т.п.). Например, построили оросительную систему для улучшения экологического состояния и повышения плодородия земель, а она, эта система, вразрез с этим благим желанием, привела к подъему уровня грунтовых вод, засолению, снижению почвенного плодородия – и свела на-нет все наши усилия.

В чем стратегия управления в случае таких воздействий? Она в том, чтобы:

А) как можно больше прибегать к косвенному преднамененному воздействию, т.е. регуляции состояний геосистем;

Б) как можно больше воздействий типа РК переводить в разряд ПК, для чего необходимо, в первую очередь, знание геосистем. Ниже будут примеры таких возможностей.

Использование цепных реакций

Познав механизмы цепных реакций, можно использовать сравнительно ограниченные воздействия (сигналы) для вовлечения в процесс природной энергии, значительно превышающей энергию воздействия. Кроме того, вызываемые реакции во многих случаях бывают уникальными и недоступными для непосредственного воздействия человека.

Охватывая вполне определенные территории, конкретное воздействие через некоторое время вызывают *цепные реакции*, т.е. последовательность изменений на значительно больших территориях по сравнению с площадью первоначального воздействия, которое разворачивается во времени и пространстве.

Некоторые цепные процессы усиливаются до больших размеров. Так, в научной литературе описаны несколько ситуаций, возникших в результате воздействий в США на метеорологические процессы в 70-е годы. Правда, в одном из случаев, внесения йодистого серебра в центр урагана "Камилла" привело к его усилению. Он повернул с океанского побережья на сушу (в штаты Миссисипи и Луизиана), где причинил материальный ущерб в десятки миллиардов долларов и вызвал гибель 234 человек. Но ведь, согласитесь, нельзя научиться, не ошибаясь? Большинство человеческих изобретений

прошли тернистый и ухабистый путь неудач, усовершенствований, ошибок и т.п.

Пример. На основе теоретических расчетов и численного моделирования ученые разных стран, изучив механизмы саморегуляции в пределах земной поверхности, установили следующую систему связей, возникающую при большом числе ядерных взрывов. Взрывы вызывают большие пожары. Над пожарищем создается мощный вихрь, подобный тропическому циклону, который, во-первых, способствует самоусилению пожара, во-вторых, забрасывает часть продуктов сгорания в атмосферу. Возникает система положительных обратных связей, усиливающих процесс горения, вертикальной циркуляции воздуха и вызывающая ветры ураганной силы, приносящие свежий воздух (и кислород – «хлеб» горения) к пожарищу. Эффект лавинообразного усиления процесса вызывает возгорание мало горючих веществ. Если вихрь окажется очень мощным, то часть сажи поступит в стратосферу, где будет находиться продолжительное время.

Подсчеты показывают, что в случае ядерного конфликта содержание сажи в атмосфере достигнет такого количества, что в воздухе образуется слой атмосферного аэрозоля, практически непроницаемый для солнечных лучей. В литературе состояние значительного снижения прозрачности атмосферы, вызванное ядерными взрывами, называют "ядерной ночью".

Примерно через месяц атмосферный аэрозоль распространится над целым континентом, через 3-6 месяцев - над всем земным шаром. Это приведет к уменьшению поступления солнечной радиации в 100 раз, быстрому понижению температуры суши на несколько десятков градусов (с большими территориальными различиями). Это понижение сохранится в течение нескольких месяцев. Таким образом, истинной угрозой человечеству являются не военные факторы поражения (ударная волна, световое излучение, радиоактивное заражение местности, которые обычно демонстрируют в киножурналах, посвященных ядерным испытаниям). Все эти факторы локализованы местом событий. Именно поэтому, в свое время, во время холодной войны, ядерная стратегия стран была основана на опережении: любой ценой опередить противника. На самом деле, общечеловеческая угроза ядерной войны состоит в глубоком катастрофическом изменении условий жизни на всей планете. Т.е. это угроза *глобально-экологическая*. Военные действия – только «спусковой механизм» катастрофы, которая произошла бы силами самой биосферы, на время изменившей характер функционирования.

На рис. 13 приведена схематизация этого ужасного по своей сущности процесса, опасность которого для человечества, увы, не миновала.

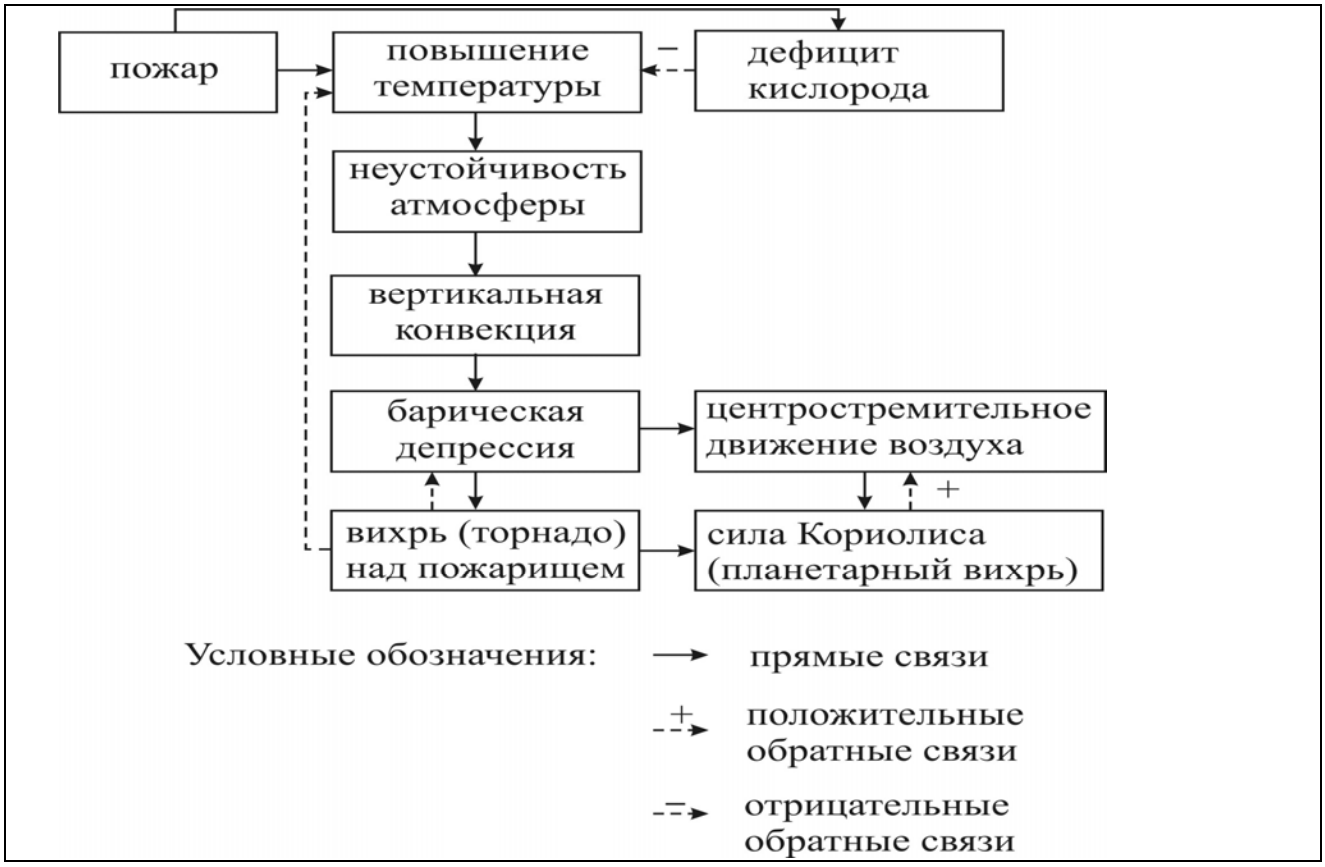


Рис. 13. Система связей, возникающих при большом количестве ядерных взрывов.

Распространение первоначально ограниченного по площади техногенного воздействия на большие площади характерно и во многих других случаях. Любые воздействия на природную среду (в том числе и мелиоративные) преобразуют и функционально сопряженные с объектом мелиорации геосистемы.

Распространение в пространстве антропогенных воздействий совершается в двух основных формах:

- *диффузии,* "размазывании" по территории, когда происходит резкое уменьшение концентрации воздействия на единицу площади, и
- *концентрации* последствий воздействия.

Второе характерно, например, при внесении удобрений на полях, использовании пестицидов, гербицидов. При смыве с полей происходит их концентрация в русловой сети, а затем в замыкающих элементах каскадных водных систем: озерах, болотах.

Выпадение из потока и концентрация химических элементов, взвешенных частиц, аэрозолей и т.д. наблюдается на природных барьерах: механических (орографических поднятиях, лесных полосах, руслах рек, тектонических разломах), геохимических (кислородных, восстановительных, сероводородных, щелочных, кислых, испарительных и др.), биологических (корневых системах растений, листовых поверхностях растительного покрова и др.).

Такова, например, природа фотосинтеза, который осуществляется в зеленом листе растения. Непосредственно фотосинтез в искусственных условиях неосуществим. Но целенаправленное воздействие на природные системы через цепные реакции позволяет этот процесс многократно усиливать в культурных растениях применением земледельческих приемов (обработка почвы, создание оросительных систем) и в природных геосистемах рациональным луго- и лесоведением.

Реакции среды на воздействие во времени также бывают нескольких типов. Они приведены на рис. 14.

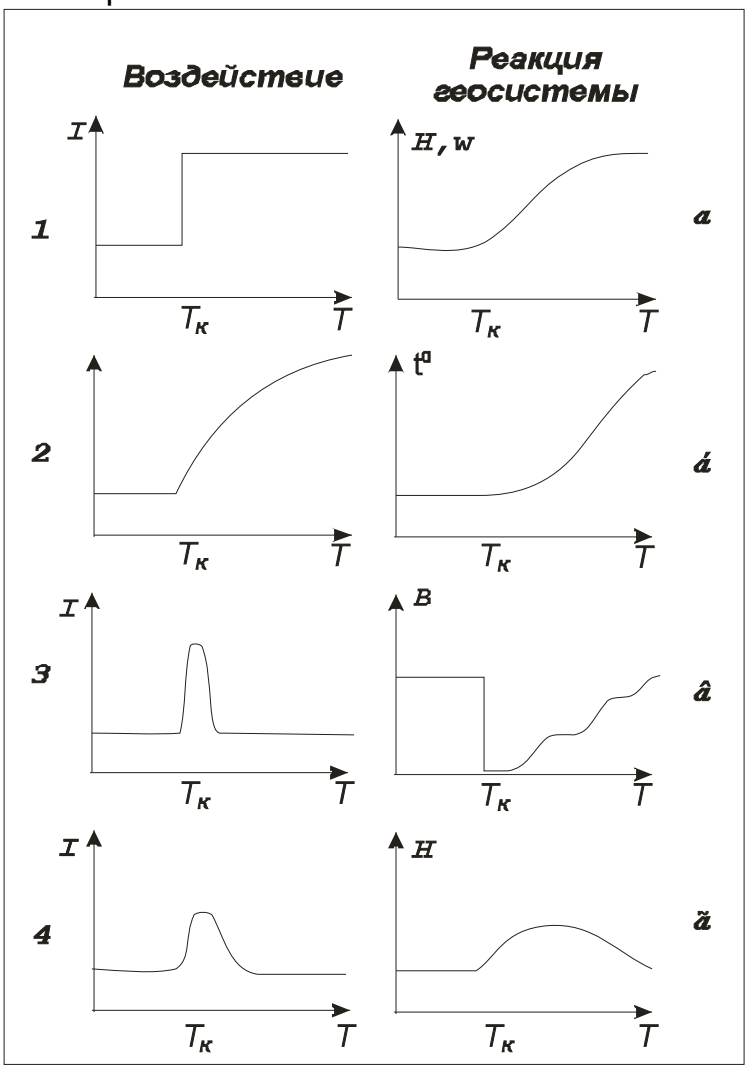
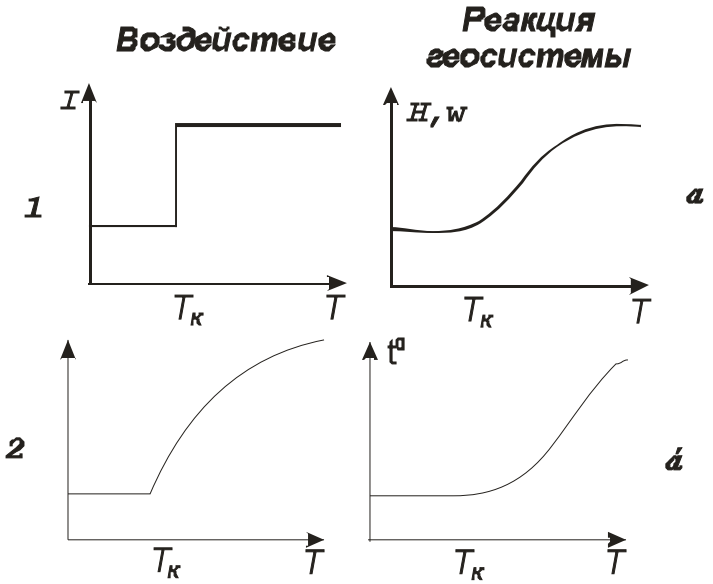


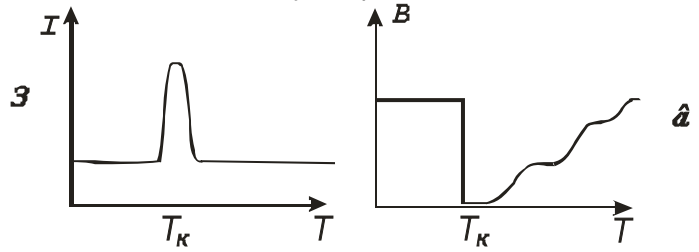
Рис. 14. Типы реакций геосистем на внешнее воздействие. Горизонтальная шкала – время, вертикальная – возмущение.

Однократное воздействие, как правило, со временем ослабляется, утрачивая значение.

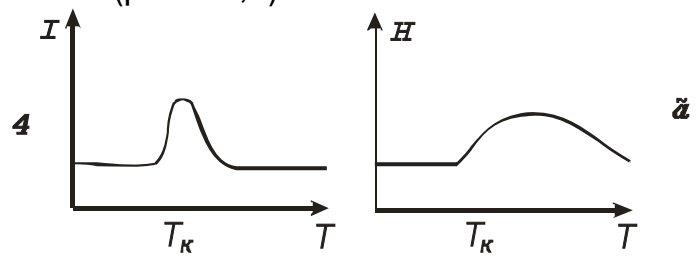
При однократном воздействии на систему (вырубка леса, выброс загрязняющего вещества в водоем, лесной пожар, наводнение и т.п. изменения или события) изменение геосистемы происходит по типу кривых, изображенных на рис. 14, *1-2* **.**



Характерным в этом случае является изменение состояния геосистемы навсегда (*1,2*) или же возвращение системы в первоначальное состояние через определенное время, называемое сукцессией (цепочка переходов из одного промежуточного состояния в другое),- см. рис. 14,*3*.



При кратковременном воздействии (паводок, например) геосистема постепенно вернется в начальное состояние, но время реакции будет существенно более продолжительным (рис. 14,*4*).



Правда, если воздействие было слишком сильным и превысило буферные возможности геосистемы, этого не произойдет. Например, при вулканическом извержении и покрытии территории вулканическими материалами (пеп-

лом или даже лавой) происходят необратимые изменения, т.к. меняется химический состав субстрата. Даже в условиях влажного тропического климата через несколько десятилетий на этом участке снова сформируется тропический лес, но он не будет точной копией предыдущего.

В менее благоприятных по водно-тепловому режиму условиях (тайга, тундра и т.д.) восстановление прежнего ландшафта-аналога потребует многих сотен и даже тысячи лет.

Если воздействие носит постоянный характер (плотина с водохранилищем на реке, например), то система (речной бассейн в данном случае) переходит в новое состояние динамического равновесия через переходный процесс, который может длиться десятилетиями.

Задание: Привести примеры воздействий на геосистемы и предположить возможные их реакции. Можно воспользоваться литературными данными относительно воздействий на природную среду, особенно популярных в 80-е гг. XX ст. [[20],[21]]. К ним возвращаются и в настоящее время [[22]].

1.4. Методология решения оптимизационной задачи

Чтобы решать задачи оптимизации такого рода, необходимо прогнозировать развитие реакций, выделить типовые их блоки, найти в них "спусковые механизмы", своего рода "кнопки", сигнальные цепи, позволяющие изменить реакцию в нужном направлении.

Некоторые блоки систем такого рода уже хорошо изучены: создание водохранилищ в условиях тайги, агропромышленных комплексов в лесостепной зоне, оросительных систем в степной, полупустынной и пустынной зонах.

Управление предполагает выделение объектов. Объектами управления выступают хозяйственные единицы: сельскохозяйственные поля, промышленные зоны, города, лесные массивы, речные бассейны. Часто они территориально не совпадают с геосистемами.

Если объект управления включает несколько геосистем, то необходимо в его пределах использовать воздействия, разные по характеру или по интенсивности.

Реакции природной системы на воздействие обычно запаздывают, ибо сложным системам присуще свойство инерционности.

Компоненты системы управления с рассредоточенными параметрами.

---

[20] См. *Исаченко А.Г.* Оптимизация геосистем. М.: Наука, 1980.

[21] См.: *Мельник Л.Г.* Экономические проблемы воспроизводства природной среды. Х.: Вища школа, 1988.

[22] См.: Трансграничные проблемы стран СНГ /Международная ассоциация академий наук СНГ. Москва, 2003.

Система управления с рассредоточенными параметрами характерна тем, что она имеет пространственную структуру, которая способна влиять на функционирование.

Пример: В водосборе реки, занимающем определенную площадь, прошел ливень. Как это повлияет на гидрограф стока реки в нижнем створе? Рассмотрим рисунок.

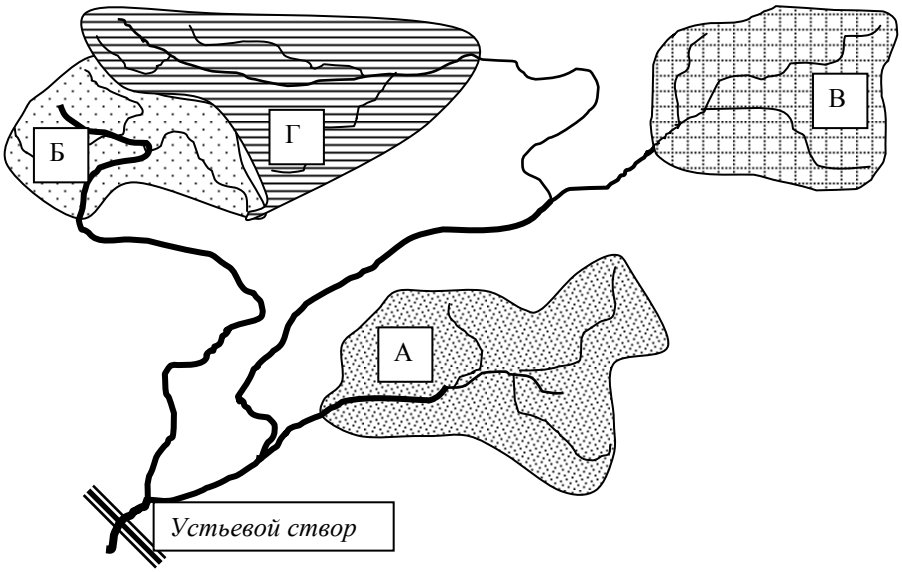


Рис. 15. Природная система с рассредоточенными параметрами (частные водосборы речек А,Б,В,Г, являющиеся частями водосбора главной реки).

Пояснения: Для пояснения воспользуемся выделенными частными водосборами речек, питающих главную реку. Они заштрихованы разным способом. Вся остальная площадь водосбора главной реки не заштрихована, хотя занимает все остальное пространство рисунка. Итак, прошел короткий, но сильный ливень на всей площади водосбора. С некоторым запаздыванием относительно времени этого ливня в гидрографе стока, фиксируемом в устьевом створе зафиксируется пик от прохождения паводка в ближайшей части водосбора (рис. 16, (1)). Через некоторое время (*время добегания*) возникнет более протяженный пик от поступления воды из водосбора А - см. рис. 16, (2), т.к. поступившая в него вода рассредоточится по всей нижележащей части водосбора (относительно небольшой подъем уровня). Затем будут такие же пики от добегания воды из водосборов Б, В, Г –см. рис. 16, (3).

Таким образом, мы увидели, что одинаковое воздействие на элементы системы с рассредоточенными параметрами производит сложную и разновременную реакцию в самой системе.

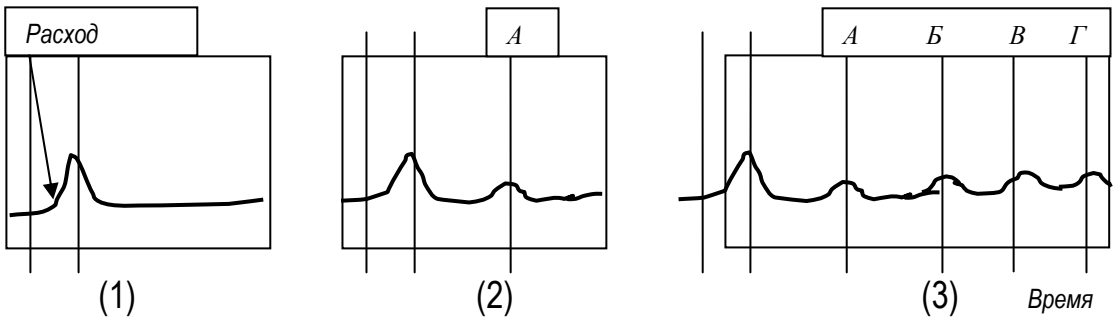


Рис. 16. Гидрографы расхода в нижнем створе реки. Паводки: 1- от поступления воды в нижнем течении; А,Б,В,Г – паводки от поступления воды из соответствующего водосбора (см. рис. 15).

Для построения систем управления следует использовать в первую очередь сигнально-информационные типы связей. Необходимо учитывать существование каскадных цепных реакций, захватывающих различные части геосистемы и распространяющиеся далеко за ее пределы. Следует учитывать и законы изменения интенсивности реакций во времени.

Средства отображения информации предназначены для представления результатов обработки информации в удобном для практического использования виде. В качестве таковых используются карты и графики. В последнее время все чаще применяются геоинформационные системы (ГИС), т.к. в них органично сочетаются различные функции, необходимые для оптимизации управления.

Модуль III. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИЙ

III.1. Принципы управления геосистемами

В целом можно сформулировать следующие положения, находящиеся в основе управления природной средой:

1. Наличие в природной среде разветвленной системы взаимодействий, приводящих к всеобщей связи в пространстве и во времени геосистем и явлений.
2. Вследствие неоднородности и анизотропности географического пространства интенсивность взаимодействия геосистем усиливается в одних зонах и ослабляется в других.
3. Основными факторами передачи взаимодействий выступают потоки вещества и энергии. Имеет место, с одной стороны, локализация потоков и связанная с этим концентрация воздействий, с другой - рассеяние потоков и соответственно рассеяние воздействий (их размывание).
4. Развитие географических процессов во времени, связанных с реакцией на воздействия, сопровождается эффектами запаздывания, ослабления.
5. В круговой форме природных географических взаимодействий широко проявляются прямые и обратные связи, приводящие, с одной стороны, к стабилизации процессов и ослаблению внешних воздействий, с другой - к самоусилению процессов, развитию их по типу цепных автокаталитических реакций.

Структура взаимосвязей определяет наличие самоорганизации геосис тем.

6. В природных геосистемах сочетаются динамические и сигнально - информационные типы воздействий.
7. Структура взаимодействий и характер реакций геосистем на них различаются в зависимости от уровня размерности геосистем: планетарного, регионального и локального.

Для построения оптимальной системы управления следует иметь, в качестве фактического материала, карты геосистем двух типов:

- *ландшафтные карты традиционного характера* (крупно-, средне- и мелкомасштабные в зависимости от решаемых задач) и

- *картосхемы распределения функционально целостных и сопряженных геосистем* (с выделением систем стока, речных бассейнов, различных типов границ, барьеров, начальных и замыкающих звеньев каскадных систем и др.). Эти карты в совокупности позволят определить направление воздействий, время их передачи и реакции различных геосистем на воздействия.

Пример: разработка программы глобального управления качество окружающей среды: Глобальная оценка международных вод (и водосборов) - проект GIWA (Global International Waters Assessment).

Общей целью GIWA является выработка всесторонней стратегической оценки, которая может использоваться GEF и его партнерами для установления приоритетных мер по устранению и уменьшению вреда, наносимого международным водам, в целях существенного улучшения состояния окружающей среды на национальном, региональном и глобальном уровнях.

Задачи проекта:

- установить связи между проблемами, относящимися к воздействию на трансграничную водную среду, и их причинами, чтобы можно было наиболее оптимально использовать свои ресурсы при решении этих проблем;
- осуществить оценку воздействия на окружающую природную среду и социально-экономического воздействия в 66 субрегионах, включая водосбор вместе пресноводной и морской экосистемами.

Задание: Проанализировать рис. 16 и попытаться конкретизировать его содержание на конкретном примере (регионе, водосборе, акватории).

Ответить на вопросы:

а) какая конкретно информация Вам бы понадобилась;

б) как бы Вы определили масштабы проблемы (в проекте GIWA приведены специально разработанные для этой цели индикаторы)**;**

в) как бы Вы приступили к вычленению наиболее актуальных проблем: на основе собственных знаний; опроса специалистов (т.е. экспертным путем); изучением мнения широкой общественности (социологический опрос) и т.д.

г) как узнать, насколько правильно Вы установили прчины деградации природной среды?

В конце необходимо предложить систему управляющих воздействий, которые, по Вашему мнению, приведут к положительному результату.

Рис. 16. Модель управления проблемами окружающей среды и устойчивого развития в международном проекте GIWA.

Геосистемы и устойчивое развитие

Проблема устойчивого развития территорий может быть сформулирована как:

- нахождение и поддержание рационального баланса между потреблением ресурсов природных геосистем и сохранением основы их естественной эволюции.

Использование природных ресурсов для обеспечения экономического роста и повышения жизненного уровня общественно-экономических формаций связано с нахождением компромисса между краткосрочными эколого-экономическими задачами нынешнего поколения людей и отдаленными по времени проблемами будущих поколений Системный подход как программно-целевой метод позволяет находить подобный компромисс путем создания информационных технологий управления. В ряде исследований приводятся

принципы этого подхода, на основе которых может быть построена общая информационная технология устойчивого развития [23].

Геосистемы территорий являются составными частями сложных

социальных эколого-экономических систем. Социально-экономическая часть подобной системы потребляет пищевые, минеральные, рекреационные и экологические ресурсы территории, а иногда, и прилегающей к ней морской акватории. В части геосистемы, находящейся под постоянным антропогенным воздействием, происходят процессы адаптации и необратимые изменения параметров состояния природной среды. Комплексный учет наиболее важных природных и социально-экономических процессов требует создания новой системной методологии управления.

III.2. Системные концепции устойчивого развития

Определение понятия *«устойчивое развитие».* Под устойчивым развитием мы понимаем:

> управляемое движение общественной формации, относящейся к данной территории, к поставленным ею целям развития при соблюдении определенных ограничений, которые вытекают из общей концепции использования социальных, природных и экономических ресурсов.

В работе [21] были сформулированы основы системного подхода к этой проблеме. Суть его заключается в использовании следующих шести концепций, перечисленных в таблице 1.

Таблица 1

Концепции системного анализа и их практическое использование

Концепции системного анализа	Практическое использование
1. Относительность (неопределенность) целей	Адаптация целевых установок развития к имеющимся ресурсам развития
2. Целостность системы (декомпозиция и синтез)	Введение вектора состояния системы и формирование ее основных элементов
3. Причинность	Установление внутрисистемных связей и формирование структуры системы
4. Подчиненность (макродетерминизм или агрегирование)	Определение положения системы в иерархии систем и учет внешних влияний
5. Динамический баланс	Построение сценариев развития системы как реакций на изменение внешних воздействий и внутрисистемных влияний

[23] *Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Тимченко И.И.* Системный менеджмент и АВС - технологии устойчивого развития.- Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика.-2000.- 225 с.

6. Информационное единство	Адаптация сценариев развития к наблюдениям за фактическим состоянием системы

Концепция относительности целей выражает собой тот факт, что целевые установки развития любой системы условны по отношению к имеющимся ресурсам развития и неизбежно претерпевают изменения в процессе управления развитием. Поэтому необходима постоянная адаптация целевых установок развития.

Концепция целостности управляемой системы утверждает, что ее вектор состояния должен содержать минимальный набор параметров, необходимых для того, чтобы контролировать движение к целям. В этом случае система будет соответствовать целям управления.

Концепция причинности акцентирует внимание на том обстоятельстве, что всякое развитие, определенное выше как изменение состояния системы, должно рассматриваться как следствие некоторого влияния на систему. Внутрисистемные влияния выражают собой устойчивые тенденции к согласованным изменениям параметров состояния. Эти тенденции заключают в себе важную информацию о системе. Именно поэтому структура системы определяется только тогда, когда к установленным через вектор состояния элементам системы добавляются связи, существующие между ними.

Концепция подчиненности является дальнейшим развитием концепции причинности. Речь идет об иерархическом построении управляемых систем, при котором задана подчиненность систем, находящихся в иерархии на более низких уровнях, системам, расположенным выше. Практическая проблема распределения ограниченных ресурсов развития между краткосрочными и перспективными целями развития подчеркивает значение системной концепции подчиненности.

Концепция динамического баланса представляет собой еще одно развитие концепции причинности. Она постулирует устойчивость управляемых систем при условии, что внешнее воздействие на систему не приводит к ее деформации или разрушению. Сценарий развития любой управляемой системы является следствием динамического баланса, в котором находится система, отрабатывающая допустимые внешние воздействия.

Концепция информационного единства предполагает, что для управления устойчивым развитием должна быть использована вся доступная информация о состоянии системы. Кроме возможных сценариев развития, которыми должен располагать орган управления системой, важную роль при выборе управлений играют непосредственные наблюдения за фактическими сцена-

риями развития. Усвоение системой этой информации позволяет адаптировать к реальности как выбранный сценарий, так и целевые установки развития.

III.3. Диаграмма управления устойчивым развитием

Рассмотренные концепции системного анализа позволяют предложить общую диаграмму управления устойчивым развитием, изображенную на рис.17.

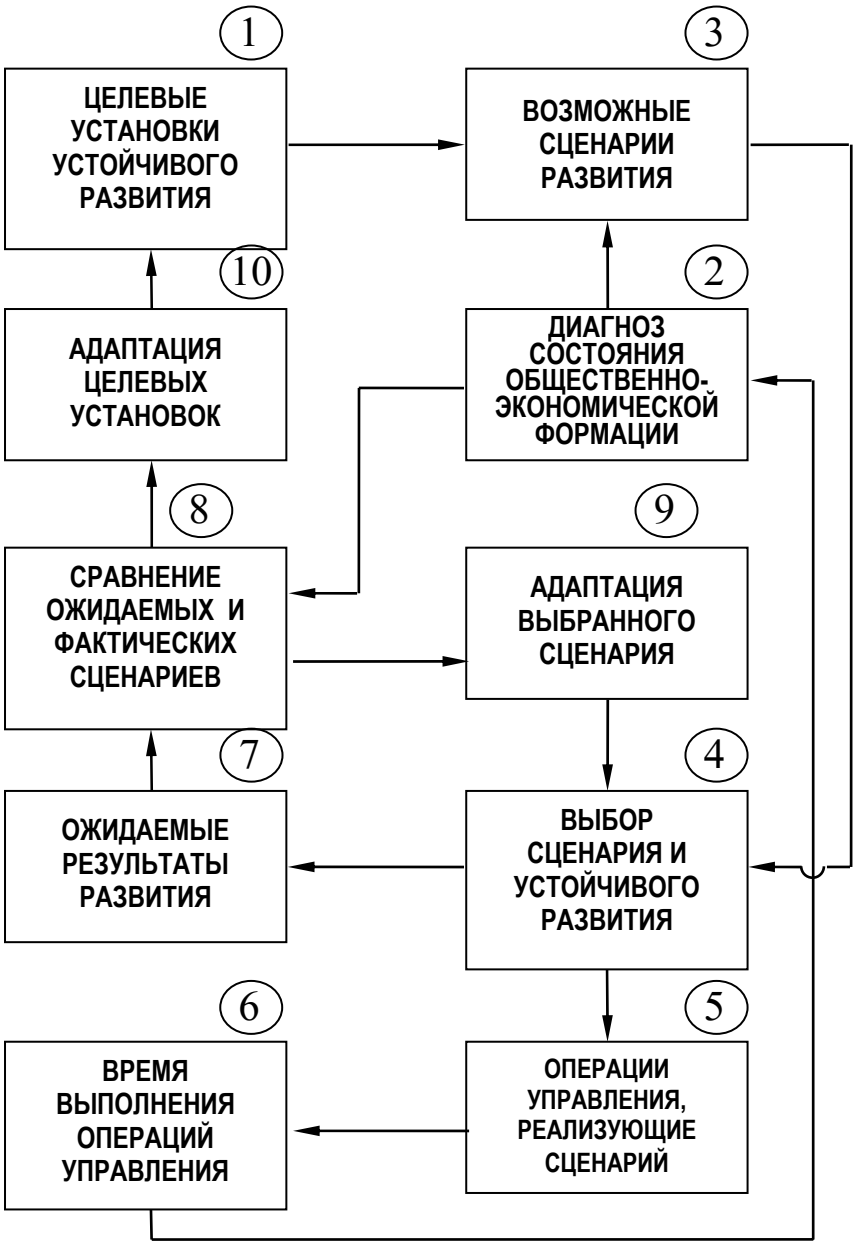


Рис. 17. Диаграмма управления устойчивым развитием.

Задание

1. Назовите 6 основных концепций системного подхода и объясните их смысл.
2. Почему понятие «система» не может иметь конкретного содержания до тех пор, пока не определены цели управления?
3. Почему динамическая модель системы управления имеет столь важное значение для устойчивого развития территории?
4. Какие цели обычно преследует население территории в процессе развития: 1 – в экономике, 2 – в социальной сфере, 3 – в экологии?
5. Попытайтесь изобразить «дерево целей» развития территории, которое имеет экономическую, социальную и экологическую ветви, используя рис. 15.

Основные балансы в системах, представляющих природно-хозяйственные комплексы

Важнейшим критерием управления развитием территорий, является *динамический баланс между экономической целесообразностью потребления природных ресурсов и экологической оправданностью вмешательства в естественное состояние природной среды.* Любая эколого-экономическая система представляет собой баланс интересов ограниченных групп общества (правительства, руководство фирм и корпораций), которые стремятся к максимальной экономической выгоде от использования природных ресурсов, и всего общества в целом, заинтересованного в соблюдении экологических, социальных, правовых и прочих ограничений, обеспечивающих защиту окружающей среды. Общий баланс естественно связан с компонентами вектора состояния системы. Используя критерий сохранения биоразнообразия окружающей среды, следует учитывать в системе управления природно-хозяйственным *комплексом баланс между тенденцией к уменьшению биоразнообразия и к его росту за счет естественной устойчивости природных экосистем и осуществляемых природоохранных мероприятий.*

Рассмотрим процесс построения системы управления на примере природно-хозяйственного комплекса, в котором предприятие использует природный биоресурс (плодородие почв, растительность суши, промысловые объекты рек, водоемов и морей) Будем считать, что предприятие, потребляющее биоресурс, уменьшает его концентрацию пропорционально объему выпуска продукции. Существует предельно допустимая концентрация биоресурса в природной среде, за которой наступают необратимые изменения естественного биоразнообразия природной среды. Для обеспечения упомянутого выше ба-

ланса в качестве тенденции, препятствующей такому развитию событий, должны быть выбраны экономические санкции против предприятия. Этой цели служит *ресурсная рента* или природоохранный налог на выпуск продукции, сокращающей концентрацию биоресурса.

Ресурсная рента представляет собой часть экономической прибыли предприятия, которая предназначена для восстановления природной концентрации биоресурса. Она призвана регулировать его потребление и поддерживать баланс биоресурса в природной среде.

Еще один вид экологического баланса связан с загрязнением окружающей среды отходами производства. Тенденции роста концентрации загрязняющих веществ в природной среде противостоит тенденция к естественному самоочищению среды, поддерживаемая природоохранными мероприятиями. Как и в случае с биоресурсом, баланс загрязняющих веществ должен обеспечиваться введением *экологических штрафов*

Экологический штраф представляет собой принудительное взимание с предприятия предусмотренной законом компенсации за причиненный им вред состоянию окружающей среды. Типичными примерами ситуаций, при которых на предприятия налагаются экологические штрафы, являются выбросы в атмосферу, в реки и водоемы, а также на поверхность суши токсических веществ, истребление флоры и фауны, несанкционированное разрушение природных ландшафтов.

III.4. Концептуальные модели управления природно-хозяйственными комплексами

Концептуальные модели управления

Управление устойчивым развитием предполагает получение модельных сценариев долгосрочного и кратковременного изменения процессов в природных геосистемах в связи с осуществлением социально-экономических преобразований на соответствующих территориях. Исходя из представления об основных балансах, обеспечивающих устойчивое развитие, необходимо представить всю совокупность управляемых процессов в виде единой схемы. Подобные схемы получили название *концептуальных моделей управления*.

> *Концептуальной моделью управления* называется граф причинно-следственных связей, объединяющий главные из контролируемых процессов в сложной системе управления, которая построена на основе баланса положительных и отрицательных обратных связей.

Концептуальные модели отображают структуру причинно-следственных связей в системе. Они составляют основу одного из наиболее распространенных методов моделирования сложных геосистем – метода системной динамики.

III.5. Основные положения метода системной динамики

Метод системной динамики был предложен Д.Форрестером для количественного описания сложных систем в экономике, социологии, экологии и в других областях знаний, где нельзя воспользоваться для моделирования известными природными законами (сохранение массы, энергии, импульса и др.) По существу речь идет о построении моделей любых сложных систем (рис. 16) по их словесному (вербальному) описанию экспертами. Поводом для создания метода системной динамики послужило так называемое «*контринтуитивное*» поведение сложных систем. Оно проявляется в появлении неожиданных для экспертов сценариев развития процессов в сложных системах.

Форрестер объяснил эффект контринтуитивного поведения тем обстоятельством, что человеческий интеллект не в состоянии следить за быстро меняющимися процессами в системе, в особенности, когда в ней присутствуют нелинейные связи и запаздывания эффектов влияния одних процессов на другие. Поэтому даже опытные эксперты не могут прогнозировать некоторые сценарии развития.

В основу метода системной динамики был положен учет причинно-следственных зависимостей между процессами. Каждому процессу ставится в соответствие поток, протекающий внутри системы. Этот поток может переносить любую субстанцию: вещество, энергию, информацию. Потоки проходят через накопители субстанции, в которых она накапливается. Количество накопленной субстанции измеряется уровнем накопления и представляется некоторым числом. Поэтому состояние системы в каждый из моментов времени можно характеризовать набором значений уровней, накопивших потоки.

Уровни зависят от темпов потоков, которые управляют скоростями накопления субстанции. Влияние процесса А на процесс В внутри системы в методе системной динамики выглядит так: *уровень субстанции процесса А изменяет скорость (темп) накопления субстанции процесса В.* Уровень соединяется с темпом. Поэтому в структуре сложной системы уровни чередуются с темпами потоков, образуя длинные цепочки причинно-следственных связей.

Таким образом, уровни и темпы потоков формируют структуру сложной системы любой природы.

Метод системной динамики прибрел широкую известность благодаря созданным Форрестером моделям мировой динамики, динамики урбанизированных территорий и динамики производственных систем. В настоящее время этот метод является основным методом построения интегрированных (агрегированных) моделей эколого-экономических систем, в том числе глобальных моделей экономики-климата. Эти модели позволяют прогнозировать экологические последствия глобальных процессов экономического роста и потому важны для управления устойчивым развитием территорий.

Пример моделирования методом системной динамики

Рассмотрим пример построения структуры причинно-следственных связей в простой модели сохранения урожая. Будем считать, что потери урожая происходят из-за насекомых, уничтожающих часть растений. Причинно-следственная зависимость потерь урожая может быть представлена следующим положительным влиянием:

Потери урожая увеличиваются с ростом количества насекомых (прямая положительная связь)

Предположим, что существует некий идеальный пестицид, который уничтожает конкретный вид насекомых, поедающих урожай растений. Пестицид безвреден для людей и не приводит к заражению почвы. Добавим к нашей модели возможность использовать этот пестицид. Причиной его применения служат потери урожая. Поэтому введем в рассмотрение связь:

Рост потерь урожая увеличивает объем применения пестицидов (прямая положительная связь)

Зависимость количества насекомых от объема использованного пестицида имеет вид:

Увеличение объема использованного пестицида уменьшает количество данного вида насекомых (прямая отрицательная связь).

С уменьшением количества насекомых потери урожая сокращаются:

Уменьшение количества насекомых уменьшает потери урожая пестицидов (прямая положительная связь)

Перечисленные прямые связи образуют замкнутый цикл, который выше был назван *обратной связью*. Цепь обратной связи в этой модели составляют следующие процессы:

Рост потерь урожая – рост объема применения пестицидов – уменьшение количества насекомых – уменьшение потерь урожая

Мы видим, что первоначальный рост потерь урожая привел к уменьшению потерь в конце цикла. Следовательно, *обратная связь в этом примере отрицательная*, так как она препятствует росту потерь. Под действием этой связи потери урожая должны стабилизироваться на некотором уровне, который определяется эффективностью действия пестицида и способностью насекомых противостоять этому действию.

На первый взгляд кажется, что, увеличивая количество пестицида на полях, можно уничтожить насекомых и тем самым исключить потери урожая. Однако, как показала практика применения пестицидов, очень часто положительный эффект наблюдается лишь в краткосрочной перспективе. Через более отдаленное время урожаи начинают падать, причем гораздо сильнее, чем это имело место вначале, до применения пестицидов. Причина состояла в том, что долго ускользало из поля зрения специалистов. Насекомые, поедавшие урожай, одновременно уничтожали и своих конкурентов - других вредителей урожая, подчас гораздо более опасных. Поэтому действие пестицида открывало дорогу для увеличения количества этих опасных вредителей, которые в итоге приводили к почти полной потере урожая.

Построенная модель оказалась не адекватной реальности в долгосрочной перспективе, т.е. с учетом долговременных последствий уничтожения насекомых. Схема причинно-следственных связей должна быть дополнена еще двумя важными процессами:

Уменьшение количества насекомых через некоторое время T (задержка влияния в модели) повышает количество других вредителей (прямая отрицательная связь)

Увеличение количества других вредителей увеличивает потери урожая (прямая положительная связь)

Таким образом, в модели присутствует еще один замкнутый цикл влияний:

Рост потерь урожая – рост объема применения пестицидов – уменьшение количества насекомых – задержка на время T - увеличение количества других вредителей - рост потерь урожая

Рост потерь урожая по этой цепи обратной связи ведет к еще большему росту потерь. Следовательно, это – *положительная обратная связь*. В реальности потери урожая отражают баланс первой (отрицательной) и второй (положительной) обратных связей. Для уменьшения потерь урожая необходимо управлять этими двумя связями одновременно. В частности, для ос-

лабления действия положительной обратной связи возможно парадоксальное решение: увеличить искусственно число насекомых ценой потери части урожая, для того, чтобы не допустить появление и размножение других вредителей.

Задание.

А) Нарисуйте системную диаграмму, соответствующую рассмотренному примеру. В качестве блоков диаграммы используйте следующие: потери урожая, объем применения пестицидов, количество насекомых, задержка влияния на время T, количество других вредителей урожая. Соедините блоки стрелками, указывающими направление влияний. Положительные прямые связи обозначьте знаками «+», отрицательные «-».

Б) Покажите основные цепи обратных связей на системной диаграмме. К какому из двух типов (положительные или отрицательные) относятся эти обратные связи?

III. 6. Построение концептуальной модели природно-хозяйственного комплекса

Рассмотрим пример построения концептуальной модели системы управления для природно-хозяйственного комплекса, потребляющего биоресурс территории (рис. 16). В работе [21] была предложена достаточно общая модель эколого-экономической системы, которая учитывает основные балансы в экономической и в экологической подсистемах. Структура модели изображена на рисунке и понятна из пояснений.

Динамика системы представлена 11 развивающимися процессами X_i, которые образуют ее вектор состояния. Компоненты вектора имеют следующий смысл: X_1 - спрос на продукцию предприятия, входящего в состав системы, X_2 - цена единицы продукции, X_3 - показатель качества продукции, X_4 - себестоимость продукции, X_5 - объем выпуска продукции, X_6 - кредит оборотных средств, накопленный к текущему моменту времени, X_7 - инвестиции, основные фонды, требующие возврата кредитов, X_8 - имеющиеся основные фонды, X_9 - необходимые основные фонды, X_{10} - концентрация загрязнений в природной среде, X_{11} - концентрация биоресурса в природной среде.

В модели присутствуют также переменные, являющиеся производными функциями от компонент вектора состояния: H - объем готовой продукции на складе, S - скорость реализации продукции, I - норма прибыли, U - управление выпуском и реализацией продукции, D - текущие доходы предприятия, C - текущие затраты предприятия, A - текущий кредит оборотных средств, M - проценты по кредиту, G - текущие инвестиции в основные фонды, F -

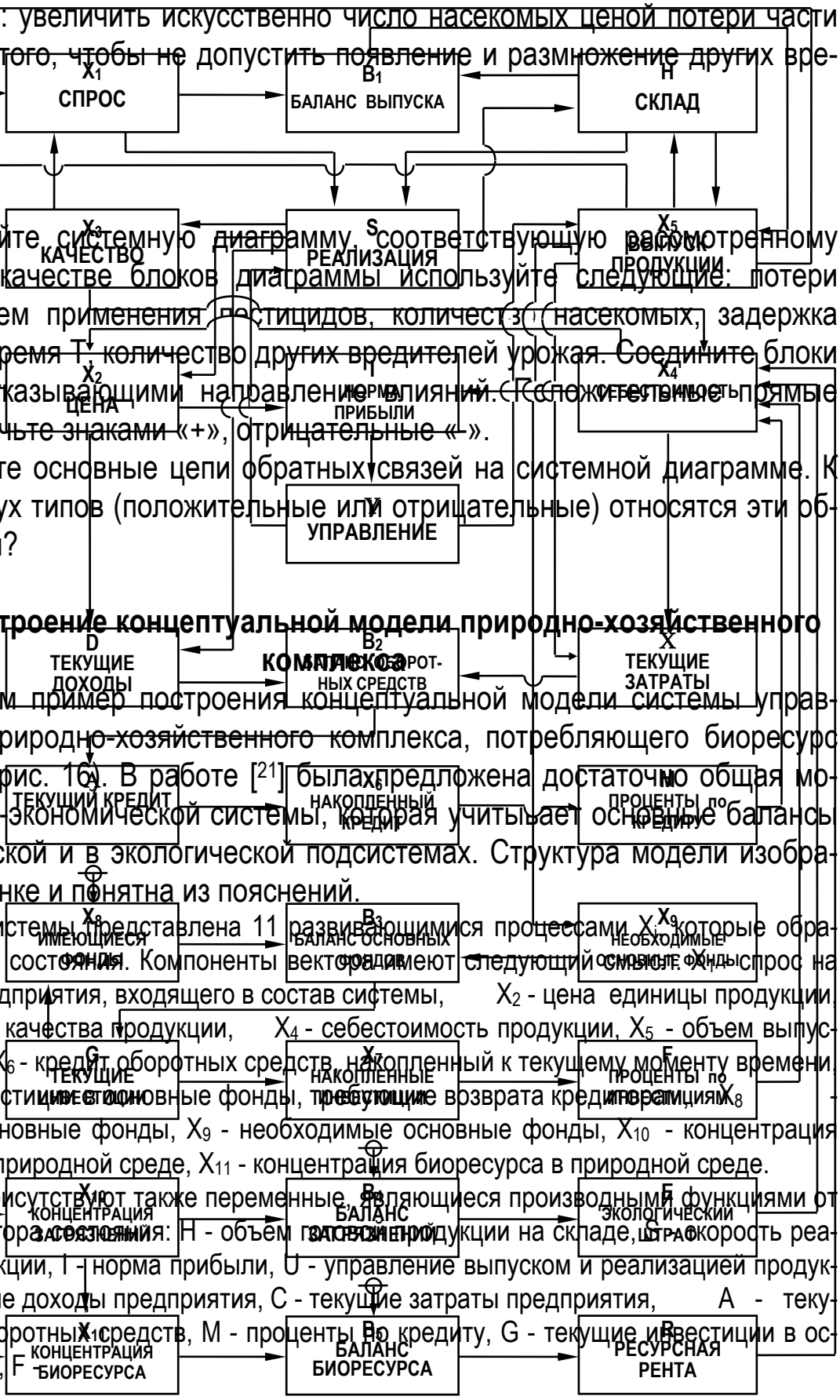


Рис. 16

проценты по инвестициям, E - доля экологического штрафа в себестоимости, R - доля ресурсной ренты в себестоимости, AD - накопленные доходы, AC - накопленные расходы, AI - накопленная прибыль,T - рентабельность, B_1 - баланс выпуска, B_2 - баланс оборотных средств, B_3 - баланс основных фондов, B_4 - баланс загрязняющих веществ, B_5 - баланс биоресурса.

Изображенная на рис. 16 концептуальная модель представляет причинно-следственные связи в эколого-экономической системе: рынок - предприятие - природная среда - государство.

Рентные платежи возвращают собственнику природных ресурсов – обществу через государство часть их стоимости, которая пропорциональна объему частного потребления этих ресурсов. Размер ресурсной ренты должен покрывать природоохранные мероприятия государства, чтобы компенсировать ущерб природным экосистемам, наносимый производством. Предположим, что с ростом потребления природных ресурсов увеличивается концентрация загрязнений в природной среде X_{10}. Если это увеличение не превышает предельно допустимого значения X_{10}^*, контролируемого балансом B_4, штрафные санкции, примеряемые к предприятию со стороны государства, отсутствуют. В противном случае себестоимость выпуска продукции возрастает на величину экологического штрафа за загрязнение E. Следовательно, увеличатся затраты C и изменится норма прибыли, что приведет к уменьшению выпуска продукции.

Таким путем устанавливается коридор допустимых объемов потребления биоресурса. Концентрация биоресурса колеблется при этом возле установленного значения, а концентрация загрязнений не превосходит предельно допустимой величины.

Задание

1. Каковы основные механизмы экономического регулирования процессов потребления природных ресурсов?

2. Постройте концептуальную модель (схему причинно-следственных связей) процессов формирования стоимости природных ресурсов: цена ресурса, себестоимость производства, спрос на ресурс, прибыль, экологическое состояние среды.

III.7. Взаимосвязь природных и социально-экономических процессов

Для управления природно-хозяйственными комплексами территорий необходимо использовать пространственно распределенные поля параметров, которые имеют не только физическую, химическую, биологическую или геологическую природу, но также представляют значения таких экономических величин как спрос на природный ресурс, себестоимость производства товаров или ожидаемая прибыль от использования ресурса. В этом проявляется тесная взаимосвязь природных и социально-экономических процессов

Пример. Рассмотрим в качестве примера проблему управления морскими биоресурсами Азовского моря. Характерной особенностью моря - мелководного внутреннего водоема, окруженного территориями с интенсивной хозяйственной деятельностью, является динамический баланс между процессами воспроизводства и потребления живых ресурсов, с одной стороны, и растущим уровнем загрязнения - с другой. Поступающие в море отходы существенно влияют на биохимические процессы и, как следствие, на биомассу планктона, видовой состав и количество рыб, моллюсков, микроорганизмов и других форм жизни.

В соответствии с моделью управления, рассмотренной выше, экологические платежи увеличивают затраты на производство продукта. Потребление биоресурса стимулируется нормой прибыли I. С ростом потребления растет концентрация загрязняющих веществ в районах промысла. Экологические штрафы E снижают норму прибыли и ограничивают потребление биоресурса в тех районах моря, где концентрация загрязняющих веществ оказывается высокой.

Второй экономический рычаг управления промыслом представляет цепь: X_5 - X_{11} - B_5 - R - X_4. Ресурсная рента ограничивает потребление морепродукта в тех акваториях, где концентрация биоресурса оказывается ниже допустимой нормы X_{11}^*.

Гидродинамическая модель Азовского моря состояла из уравнений теории мелкой воды (см. [4]). На поверхности моря задавались касательные напряжения ветра и концентрации загрязняющих веществ, на твердых границах - условие не протекания и условие неизменности концентрации по нормали к берегу. Краевые условия для участков границ в устьях рек Дон и Кубань были заданы в форме функций источников. Модель позволяла осуществлять прогнозы полей концентраций биоресурса в морской среде и концентраций

загрязняющих веществ, источником которых считались предприятия, потребляющие морской биоресурс (рис. 17).

Уровень загрязнения морской среды является сложной функцией динамики водных масс и промысла биоресурса. Пространственные распределения концентраций биоресурса и концентраций загрязняющих веществ, рассчитываемые по модели, поступали на входы X_{10} и X_{11} модели (см.рис.**00**) и служили источниками внешнего влияния на эти компоненты вектора состояния эколого-экономической системы.

В результате расчетов были получены пространственные сценарии, связанные с потреблением биоресурса. Примеры подобных карт приведены на рис.19. Сценарий распределения концентрации биоресурса отражает общую тенденцию ухудшения экологической ситуации при движении от западной к восточной границе моря. Отрицательный эффект повышения концентрации загрязняющих веществ у восточного побережья, обусловленный действием западного ветра, оказался более сильным, чем положительный эффект уменьшения солености вод в этом районе. Поэтому в проведенных расчетах концентрация биоресурса в основном зависела от концентрации загрязняющих веществ.

Подобные результаты имитационных экспериментов показывают возможности исследования операций управления в геосистеме «море - суша». Задавая различные варианты входных условий и меняя параметры эколого-экономической модели, можно построить сценарии развития и выбрать из них такой, который является наиболее приемлемым для управления комплексом.

Задание. Выделите основные цепи обратных связей на системной диаграмме концептуальной модели, отображающие действие ресурсной ренты и экологического штрафа. Какие это обратные связи? Взаимодействуют ли они между собой? Какими параметрами природной среды управляют эти связи?

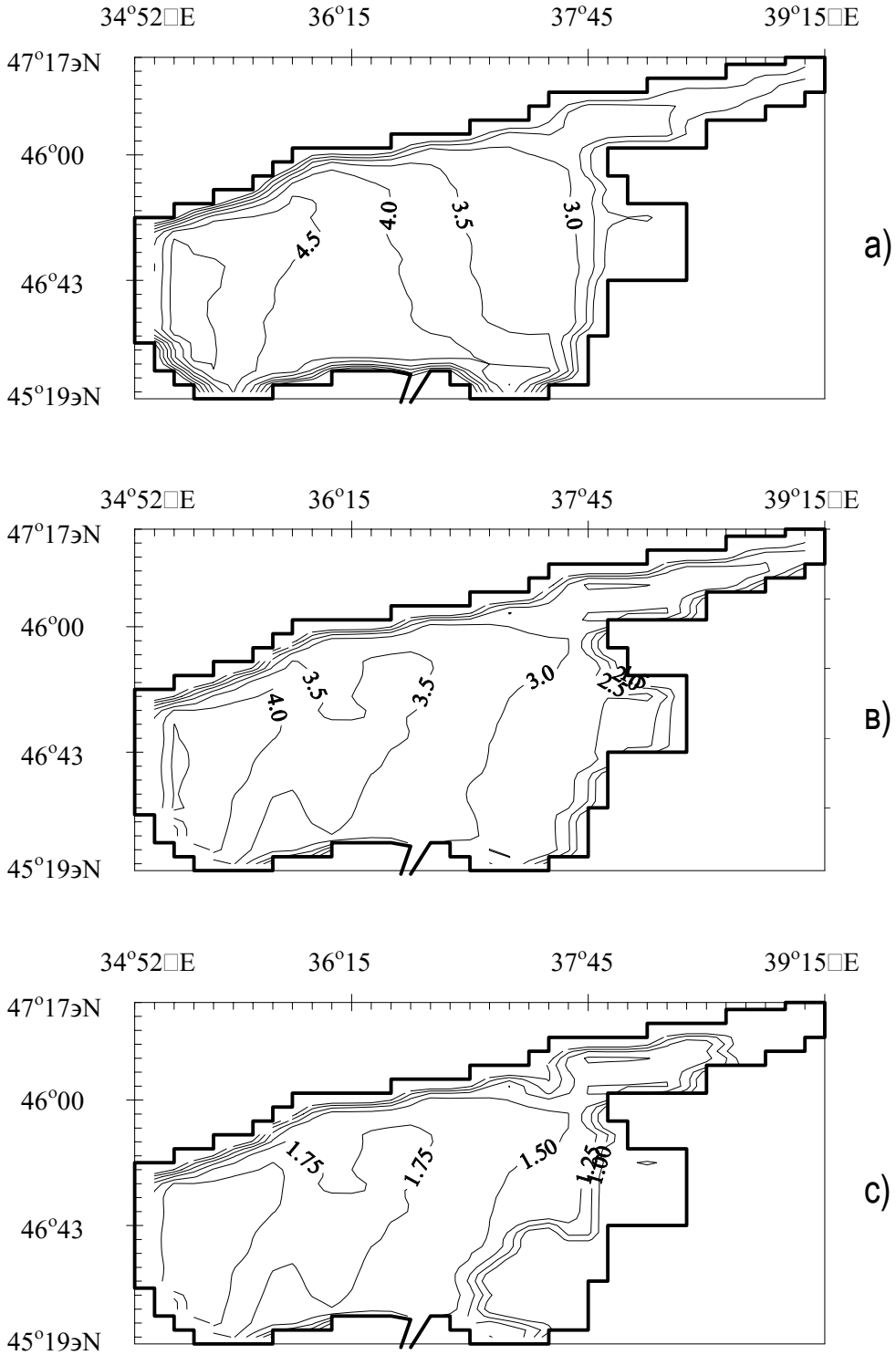


Рис. 17. Пространственные сценарии потребления биоресурса в Азовском море.
а) показатель рентабельности,
в) концентрация биоресурса,
с) допустимые уровни потребления.

III.8. Активные воздействия на атмосферные процессы - пример управления геопроцессами[24]

Энергетика атмосферных основных физико-географических процессов на несколько порядков превышает энерговооруженность человека (Таб. 2).

Из таблицы видно, что энергия и мощность процессов на Земле все же велика в сравнении с человеческим производством энергии. В связи с этим нет реальной возможности непосредственно воздействовать на процессы, происходящие в атмосфере, даже пусть самые неблагоприятные. Ученые неоднократно отмечали, что в связи с колоссальностью энергетики атмосферных процессов подход с "позиции силы" при решении вопросов, касающихся управления погодой, не может привести к успеху. Сравним мощность различных природных процессов с человеческой энергетикой (таб. 2).

Таблица 2

Энергетика некоторых атмосферных процессов и образований

Наименование	Энергетика		Характерное время (сут)
	Работа (мДж)	Мощность мДж/сек	
Энергия, получаемая Землей от Солнца	10^{18}	10^{11}	год (10^7 сек)
Влагооборот	10^{15}	10^7-10^8	год (10^7 сек)
Ураган	10^9	10^3-10^4	10 сут (10^6 сек)
Землетрясение (сильное)	$6 \cdot 10^{12}$	10^7	сут ($0{,}8\ 10^5$ сек)

Однако атмосферные процессы тесно связаны между собой в единую цепь, в которой имеются элементы регулирования с положительной и отрицательной обратной связью.

Достаточно характерным для тропосферы является состояние *неустойчивого равновесия*.

> Это такое равновесие, которое, если его нарушить даже незначительно, самопроизвольно уже не восстановится. Искусственное его восстановление потребует энергетических затрат несоизмеримо больших, чем то воздействие, которым обусловлено само это нарушение равновесия.

[24] Параграфы III.7. и III.8. заимствованы из учебника «Землезнавство» (2000).- *Примеч. научн. ред.*

По образному выражению одного из метеорологов, француза Дессенса, атмосфере бывают свойственны такие состояния, когда *"взмах крыльев бабочки способен породить бурю"*. В таких условиях возникает возможность целенаправленно использовать неустойчивость для того, чтобы управлять состоянием атмосферы. Для системы в неустойчивом равновесии бывает достаточно небольшого толчка, чтобы атмосферный процесс приобрел нужное нам направление.

Именно благодаря таким свойствам атмосферы удается с небольшими затратами средств - пока на локальном уровне - воздействовать на атмосферные процессы.

Воздействия на атмосферу с целью управления погодой носят выраженный *сигнально - информационный характер*. Об этом свидетельствует несопоставимость энергетики процесса и воздействия на него, о которой мы уже говорили, а также использование для получения необходимого эффекта искусственных сигналов, которые способны вызывать различные лавинообразные процессы:

- акустические колебания (выстрел, взрыв),
- введение в облака небольших доз реагента, способствующего началу бурной конденсации водяного пара, а затем выпадению дождя или града,
- искусственное создание относительно небольших вертикальных токов воздуха, чтобы вызвать конденсацию водяного пара, и локальный разогрев атмосферы на высоте конденсации за счет теплоты парообразования (искусственная «тяга»).

Во всех этих и подобных случаях возникает система положительной обратной связи: мощный импульс движения воздуха вверх, конденсация водяного пара и выделение в воздух скрытой теплоты парообразования, что усиливает восходящую циркуляцию воздуха. Если приток в воздух водяного пара достаточен (а способность воздуха удерживать в своем составе водяной пар зависит, как уже вам известно, от температуры), то устанавливается поддерживаемая самопроизвольно система вертикальной циркуляции, которая в вертикальном разрезе образует тор (своего рода «баранку»). В результате выпадают атмосферные осадки, что еще более способствует процессу самоподдержания такой циркуляции. Именно такой механизм проявляет себя в примере, с которого началось изложение – искусственном вызывании осадков посредством сильного пожара в саванне.

Для этого применяют:

1. Введение в облако активных ядер конденсации водяного пара (обычно йодистого серебра) для образования зародышей водяных капель и вызывания осадков.
2. Создание вертикальной конвекции путем интенсивного нагрева узкого столба воздуха горелкой или с помощью реактивного двигателя.
3. Управление термодинамическими процессами для образования или рассеяния облаков, тумана, предотвращения осадков и др.

Задание.

1. Пользуясь описанием, приведенным в предыдущем абзаце, составьте блок-схему процесса саморазвития вертикального тока воздуха, созданного искусственно.
2. Узнайте, есть ли на земном шаре места, где бы такая схема могла реализоваться – пусть даже непроизвольно? Где они должны быть? (Придется мобилизовать свои знания региональной физической географии и метеорологии).
3. Приведите пример непреднамеренного активного воздействия на любой из атмосферных процессов. Объясните, как это происходит (схема, описание).

III.9. Активные воздействия на влагооборот и водный баланс

К основным факторам изменения естественного режима водоемов суши и водного баланса планеты, по мнению гидрологов, можно отнести следующие:

1. Распашка земель и их сельскохозяйственное освоение, агротехнические, лесомелиоративные и другие мероприятия, направленные на регулирование водного режима почв с целью повышения урожайности.
2. Использование вод для водоснабжения, орошения, обводнения засушливых территорий, сопровождающееся истощением ресурсов пресных вод во многих районах мира.
3. Регулирование речного стока, создание многочисленных водохранилищ, в том числе каскадов гигантских водохранилищ-морей, перераспределяющих водные массы во времени и пространстве.
4. Урбанизация (развитие городов); перемещение огромных масс земли и воды при разработке рудных месторождение и связанное с этим нарушение существующего равновесия между поверхностными и подземными водами.

5. Загрязнение вод рек, озер, водохранилищ и отчасти подземных вод в результате сброса в них промышленных и бытовых сточных вод и смыва с сельскохозяйственных угодий и территорий городов различных загрязняющих веществ. Загрязнение может привести к качественному истощению водных ресурсов.

Совокупность перечисленных воздействий создает угрозу *водного голода* для человечества, поэтому перед наукой стоит задача раскрыть сложные взаимосвязи в природе, оценить влияние антропогенных факторов на водный режим и водный баланс, выработать эффективные меры оптимизации водопользования.

Большая группа изменений гидросферы связана с целенаправленным воздействием в процессе хозяйственной деятельности на другие компоненты природы (например, изменение гидрологического режима в результате расширения пахотных земель, мелиорации, вырубки леса и др.), что приводит к цепным реакциям. Воздействие человека всего на одно из звеньев круговорота воды, который служит источником возобновления речных вод, способно приводить к изменениям в других его звеньях и влагообороте в целом.

Эффект воздействия на водный баланс неорошаемого и орошаемого земледелия различен.

Неорошаемое земледелие вызывает уменьшение речного стока за счет мероприятий, направленных на задержание влаги на полях и повышение влагосодержания почвы. При этом часть влаги, которая раньше стекала в реки, испаряется или переводится во внутрипочвенный и подземный сток.

По расчетам М.И.Львовича, за счет интенсификации земледелия полный речной сток во всем мире уменьшается в год примерно на 700 км^3. Соответственно этой величине возрастает испарение.

По данным исследователей, за 130 лет в некоторых районах Западной Европы слой испарения увеличился на 50 мм. Следовательно, земледелие снижает обеспеченность водой других отраслей народного хозяйства и ухудшает состояние рек.

Орошаемое земледелие - один из главных потребителей водных ресурсов. Причем, в отличие от промышленности, где значительная часть воды сбрасывается в реки и водоемы, большая часть воды при орошении используется безвозвратно. Вода испаряется растениями и почвой (*эвапотранспирация*), а также просачивается (фильтрация вниз – *инфильтрация*).

К 2000 г. объем потерь за счет орошаемого земледелия достиг 3,4 тыс. км^3/год, т.е. он составляет уже 88 % от общего количества безвозвратных потерь вод. Как частная альтернатива дефициту стока, известны такие экзотичные возможности самообеспечения пресной водой даже для орошения, как создание подземных продуваемых пустот (*кяризы* в тюркском языке), где в условиях низкой температуры происходит усиленная конденсация водяного пара на стенках таких пустот. Так могут образовываться целые искусственные ручьи и речки, причем шансов получить таким образом воду в достаточном количестве тем больше, чем жарче на поверхности. Например, если температура на поверхности +40°С, а на глубине она +10°С, то из каждого м^3 воздуха может выпасть в конденсат до 30 г влаги – огромное количество, если учесть, какой объем обдувает каждую единицу поверхности в течение суток! Таким способом в средние века в аридных районах обеспечивали потребности в высококачественной пресной воде без переброски стока.

Средством управления водным балансом территорий является *регулирование речного стока.* Для регулирования речного стока на земном шаре создано 1350 водохранилищ объемом более 4100 км^3 (т.е. это около 1% от объема влагооборота). Создание водохранилищ дает возможность перехватывать часть паводкового стока, который обычно покидает водосбор за короткое время. Это в конечном итоге повышает устойчивость меженного стока (который у многих рек падает до 0). По данным М.И.Львовича, в результате регулирующего действия водохранилищ годовой объем устойчивого стока рек возрос на 15 %.

Создание водохранилищ имеет и отрицательную сторону. Под них отводятся удобные для сельского хозяйства земли. С зеркала водохранилищ происходит значительное испарение воды, вызывающее перераспределение водного баланса. Во многих водохранилищах имеет место значительная инфильтрация воды. Отсутствие паводкового стока приводит к нарушению поёмного режима. Из-за этого страдают и отмирают характерные геосистемы: галерейные леса, пойменные озера-старицы, тугаи.

Как показывают К.Я.Кондратьев, В.К.Донченко и К.С. Лосев /1996/, третий мир /Юг/ в настоящее время вносит главный вклад в разрушение окружающей среды. Речь идет об уничтожении видов организмов, эрозии почв, разрушении лесов, опустынивании. Главная причина этого заключается в следующем:

несбалансированность торговли между Севером и Югом, ведущая к преобладанию ресурсов в импорте Юга;

недоступность для развивающихся стран экологически приемлемых технологий;

сильная зависимость сельского населения этих стран от непосредственного использования местных природных ресурсов /лес, вода, почва/;

растущее население и усиливающиеся потребности в интенсивной эксплуатации природных ресурсов;

в этих странах находится преобладающая часть видов органического мира, так что разрушение ландшафтов приводит к сильным потерям биологического равновесия.

Справедливости ради следует отметить, что на саммите в Рио-92 объективно было показано, что эксплуатация природных ресурсов в странах третьего мира идет преимущественно для целей экономического благополучия западных стран, так что западные страны должны нести свою долю ответственности за возникающие проблемы.

Низкие цены на сырье, за которое должны платить развитые государства – импортеры сырьевых ресурсов - сделали многие страны третьего мира должниками с астрономическими долгами. Но возмещение долга в сложившихся условиях может происходить только за счет все более интенсивной эксплуатации природных ресурсов. Таким образом, экологический кризис и экономическая отсталость стран - взаимно усиливающие друг друга явления, т.к. они образуют систему положительной обратной связи.

Пример. В 2000 г. под эгидой ЮНЕСКО в Аральском регионе местными экспертами из 5 стран Центральной Азии был разработан фундаментальный руководящий документ «Водное видение бассейна Аральского моря на 2025 г»[25]. В нем предложены модели управления регионом через изменения водного хозяйства (прежде всего – питьевого водоснабжения и санитарного водоотведения), что является ключевой сферой состояния окружающей природной среды и социально-экономического развития в регионе. Эти изменения включают различные сценарии перестройки водопользования и соответствующие изменения водного баланса. В качестве мер управления региональным развитием названы следующие:

а) готовность общества в целом принять на себя соответствующие работы и финансовые затраты и примириться с определенными социальными издержками;

б) использование знаний и ноу-хау в отношении планирования, управления, контроля и обслуживания водохозяйственных систем;

в) разработку и выполнение правил и процедур управления строительством, эксплуатацией и обслуживанием в связи с водопотреблением и водоотведением;

г) изыскание соответствующих финансовых ресурсов.

Авторы «Водного въдения» предполагают, что таким способом они способны привести депрессивный регион, испытывающий большие проблемы развития, к устойчивому состоянию.

---

[25] См.: Водное видение бассейна Аральского моря на 2025 г.» / UNESCO, Отдел водных наук - 2000.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этом учебном пособии авторы собрали воедино те наработки, которые стали известными в последней четверти XX века в связи с проблемой окружающей среды и устойчивого развития человечества.

Утилитарной целью этого пособия является обучение студентов-географов началам геокибернетики. В настоящее время это пока еще упущенная страница современной географии, которую необходимо вернуть в ее контекст.

Наряду с этим, есть и более общая задача – изменения отношения к географии.

Авторы и научный редактор, разрабатывая этот курс, придерживались уверенности в необходимости сдвинуть с места глыбу предрассудочного отношения к природе как неприкосновенному условию жизни. На это нельзя закрывать глаза. Стихийное отношение к природе способствует ухудшению ее состояния. К природе необходимо относиться как неотъемлемому атрибуту человеческого существования, который, хотим мы того или нет - эволюционирует вместе с человеческими цивилизациями. Но это эволюционирование происходит стихийно, поэтому не поддается прогнозированию и чревато кАк неожиданными позитивными изменениями, но чаще – отрицательными последствиями техногенеза.

В последние годы происходят позитивные изменения отношения к природе. Природа в самых современных концепциях природопользования является природным капиталом, важной производящей силой, которая издавна, с зари человечества, служит людям, но незаслуженно слабо представлена в экономических концепциях и геополитических доктринах устойчивого развития.

И даже если некоторые экологи, ратующие за сокращение вторжения в природу и нашей власти над ней, пытаются вернуть человечество в эпоху пещерного существования и собирательства, это следует воспринимать только как некую крайнюю модель отношений. Никто (даже они сами) не способен отказаться от тех благ, которые нам дает Природа. Но вопрос в том, чтобы их использование не рубило сук, на котором мы сидим.

Этот курс должен, по замыслу авторов, зарядить творческой энергией молодых географов и экологов. Они (вместе с уже маститыми географами) должны понять и осознать, что разговоры общего плана об охране природы (окружающей природной среды) уже достигли цели, создали экологический синдром в сознании Человечества. Теперь очередь за наукой, которая обязана правильно сформулировать задачу и пути ее решения, и общественны-

ми институтами, которые должны мобилизовать средства для разработки этой задачи и обеспечения ее решения. Эта проблема не менее значима, чем проблема войны и мира, и вряд ли обойдется человечеству дешевле.

В одной из резолюций международных организаций в конце XX в. говорилось, что человечество ожидает альтернатива – быстрой гибели от ядерной войны или относительно более медленной, но зато более мучительной – от разрушения окружающей среды. Возможно, участившиеся природные катаклизмы и череда глобальных эпидемий, эпизоотий и пандемий – грозное предупреждение об этом.

Управление, в особенности управление адаптивное, не является панацеей от всех бед. Но оно - необходимое средство разрешения проблем окружающей среды и социально-экономического развития, без овладения которым деятельность человечества будет и далее происходить по модели Лебедь-Рак-Щука (или «врастопыр», как иногда говорят об этом). От этой разобщенности в решении важнейших проблем человечества необходимо избавиться научным комплексным подходом к ним.

Как об этом свидетельствуют мировые саммиты по коружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992; Йоханнесбург, 2002), должен быть выбран путь развития, ориентирующийся на региональные особенности. Необходимо максимально использовать природно-культурно-историческое своеобразие регионов, сохраняя историческое и природное наследие. Конечно, нужно при этом использовать и все возможные методы рационального природопользования и средовосстановления, уже апробированные мировым сообществом:

а) использование ресурсо- и энергосберегающих технологий,

б) сохранение био- и ландшафтного разнообразия, в т.ч. путем развития сети охраняемых территорий,

в) создание новых форм сосуществования Человека и Природы в самых экологически напряженных точках – промышленных узлах, крупнейших и крупных городах; как альтернатива этому, создание экологически чистых поселений (экополисов), г) все более широкое развитие системы образования в области окружающей среды (*инвайронментального образования*), в том числе экологического воспитания и образования.

SUMMARY

GEOSYSTEM MANAGEMENT OF ENVIRONMENT

ENVIRONMENTOLOGY AND MANAGEMENT OF GLOBAL NATURAL PROCESSES ON THE BASIS OF SPONTANEOUS SELF-ORGANIZATION MECHANISMS

Introduction. Understanding of the world unity is a key paradigm of humanity. Lately with comprehension of a man and environment problem it has received new direction. *This has led to co-evolution concept of humanity and environment as associated super-system.* I am sure this concept is well-known to all of us.

But co-evolution of these different systems is doubtful because specific times of these two systems differ - therefore co-evolution can't be an extemporaneous process. Where is the solution to this and does it exist? It does and we intend to show it. The solution is in acquiring natural mechanisms of self-organization, which provide homeostasis in conditions of changing environment. These mechanisms also are able to cause huge changes as a result of insignificant impact.
We would like to emphasize complexity, importance and responsibility of this task. The complexity of the matter is that nature is a closed book for us. I mean nature as a solid system, which it is in reality. The importance of the task is obvious - our perspective in ecological meaning depends on it. We are all responsible because there aren't more lethal mistakes than in management of nature, especially if there are wide -scaled projects.

Objectives of this presentation are the following:

- to show possibility to manage natural processes of any scale and content;
- to show (on examples) presence of self-organization systems that could help in natural systems management;
- to explain the meaning of more complicated process of self-organization, which should be a study object for prevention of environmental crisis.
- to mark out abilities of global and regional management of natural processes.

An adaptive management of the geo-ecosystems. It contains the solution to three connected tasks:

- Creation of the dynamic model of ecosystem responding to the objectives of management and able to forecast the development scenarios, Organization of control (monitoring) of the forecasted development scenarios;
- Creation of the information management technology, based on an accounting of monitoring dates in the dynamic model of ecosystem.

These objectives could be basis for sustainable development studies - one of the main problems of the world community. In the scale of any region and any country there are specific self-organization processes in natural, social and economic spheres. This issue is important.

Concept and methodology

Conceptual basis of self-organization studies is the idea of system and geosystem.

Geosystem is heterogeneous formation, whose elements are organized by functions and territory. The latter one - organization by territory - provides some specificity to geosystem besides the other systems:

- Heterogeneity of a geosystem is an important but less specific property. It means the following - *geosystem always includes elements of inanimate nature, wildlife and (almost always) elements of anthropogenic origin*. Emergency of this kind of a system appears at the joint points of these blocks, so we can talk about inanimate-animated and anthropo-inanimate-animated systems. These systems are special products of geo-genesis and, lately, ethno-genesis;
- character time is an important issue for geosystem. They work in boundaries of this time;
- geosystems are open and use material and energy of external environment, i.e. are dissipative structures;
- generally we can talk about self-regulation in this kind of geosystems and even about some strategy of their behaviour. In this case we consider them as animated organisms in traditional understanding;
- not just set of elements but the order of the elements disposition in time and space are also important. The operating conditions are significant too – they are defined by fluctuations of the external environment, but depend also on inner organization of the system.

We will show all these principles on the examples.

Self-regulation and self-organization

Although these terms are well-known we would like to specify them. In **fig. 1** we can see a progression where self-regulation is formed .

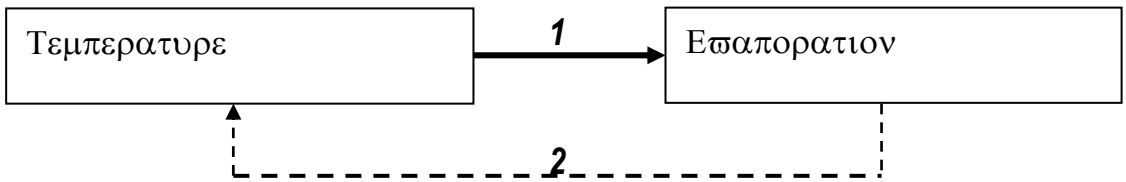


Fig. 1

We see direct relationship (this is «*cause-and-effect*» connection, (***1***) and feedback, which we should call «*signal-and-information*» connection, (**2**). Methods of description of elements and connections between them are also shown.

In the next picture we can see geosystems with complication of self-regulation.

At the initial stage this is a homeostatic system with negative feedback - income of solar radiation, which is energy base of all other processes on the Earth, is regulated through temperature, evaporation and nebulosity.
The next system is more complex. This is a «***white ground***» model. We can see effect of self-amplification of changes that occur in the system. For example, fluctuation in climate conditions may become an impulse to a chain reaction, each link of which will be more intense than previous. Through feedback (the feedback is positive here) there will be intensification of initial impulse. Deterioration of permafrost in the Arctics could be an example of this scheme.

System, which receives external impacts could react differently **(fig.2).**

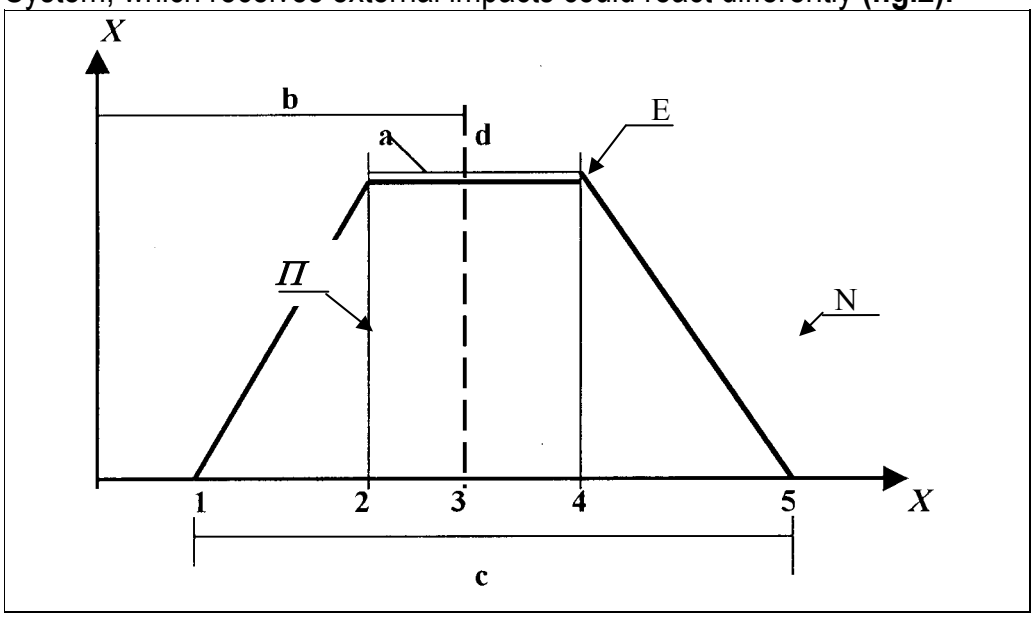


Fig. 2

We can see *effect of elasticity* here. This effect was conjunction with explanations of desertification. In this simple scheme we can see *three types of system reacting to external impacts*: positive reaction to an external impact (*P*); negative reaction to an external impact (*N*); no reaction (mean elasticity) (*E*).

These processes make self-regulation phenomena. Self-regulation is ability of a geosystem which reveals itself in the following directions: ρecovery of a balance, if this balance was broken by external agent. This is stabilizing, conservative self-regulation; destruction of a balance through weak initial impulse; conversion of a system to a new quality.

In the next fig. 3 we can see self-regulation of the energetic balance.

Simplicity of these schemes doesn't mean «primitiveness». Majority of the environmental problems are caused be *auto-regulation effects of the second and third types*. Let's list them.

1) Climate changes as a result of global warming.
2) Transposition of heat between ocean and land and processes that are connected with it -, for example, tropical storms work as geographical heat-engine.
3) Desertification is a sequence of processes of the second and third types.

Self-organization is an ability of a geosystem to support steady condition, ability to develop, improving the structure and communication of the elements, ability to resist external impacts. In the system of self-organization these qualities are revealed simultaneously.

THE CONCEPTS OF GEOGRAPHICAL SPACE AND GEOGRAPHICAL TIME

The authors have regulated existing images of space and time of geosystems.
The concepts of geographical space have been determined and analyzed:

- Geographical space (closed, spherical –conical symmetry, anisotropic);
- Space of geographical objects (metrical, topological);
- Spatial hierarchy of geosystems (quantization**,** coordination, discretion and continuality).

The concepts of geographical time have been determined and characterized:

- Absolute and relative time;
- Character time of geosystems phenomena**;**
- Internal and external time;
- Topological time;
- Functional time;
- Time hierarchy.

Spatial-time relationships have been determined in geosystems. Questions and nature of self-regulation and self-organization mechanisms have been studied.

ASSESSMENT OF SPATIAL-TIME SCALES OF IMPACTS ON ENVIRONMENT

Emergence and usage of chain reactions, kinds of impacts on geosystems nature and their reactions have been explained. The system approach to the sustainable development management on geosystem basis has been studied.

STABLE DEVELOPMENT OF SOCIAL-ECOLOGICAL AND ECONOMIC SYSTEMS

Any settled area on the Earth becomes a compound *social natural and economic complex* (NEC) with time

Because of close dependence between the problem of managed territory development and the problem of environmental protection ,it is necessary to consider these problems from the position of classified general approach. Many investigations are devoted to formation of the approach to these global problems, among them there are prominent works by *B. Vernadsky*, *D. Forrester*, *W. Izard, N. Moisejev* (31).

Let us try to form some classified development concept. Steady development of NEC must be based on study and use of territorial resources to meet the objectives in long term outlook.

All those objects and properties of NEC, which are involved in economic cycle of producing goods and ground (and natural resources), capital (invested resources), labor (labor and intellectual resources) and the population ability belong to territorial resources.

Postulating the unity of economic development processes the approach furnishes to imagine the environment as a gigantic hierarchy of *social ecological and economic systems* (SEEC) (by

S.Tymchenko). Within each SEEC there are ecological restrictions of human influence on natural processes formed at some higher level in the hierarchy of systems. It is possible to determine some acceptable influence on the environment only in case of having scientifically substantiated models of processes, which happen in ecological subsystems of SEEC at all aggregation levels. Processes of economic growth and demand assist in fulfilling the condition of full employment, effective labor and correct distribution of profits.

Management of ecological and economic systems development must be based on the rational use of natural resources in the process of moving to objective adjustments of development when meeting social, ecological, political and lawful restrictions following from the accepted development concept. The classified systemic principles of managed development must connect in a certain series of stages development from formation of some original development concept to some particular action plans.

Purpose population ,first of all ,is connected with fulfilling some economic tasks. They are: stable economic growth, full employment, economic production efficiency, correct distribution of profits and social protection.

Under the territorial development concept we understand connection of purpose population aims with main constructive ideas, which lead to achieving these aims through rational use of territorial resources. If we classify the purpose aims into main and derivatives , then they form some purpose tree. Not taking into consideration political and lawful and social tree branch of purpose development, we shall pay attention to the problems of territorial consumption of natural resources and environmental protection.

Among the most important problems of investigating and using territorial natural resources it is necessary to choose three branches of purpose tree.

1 Investigation of natural surrounding dynamics

- collection and systematization of observation of the processes, which happen in natural surrounding ;
- design of natural processes dynamics models, their self-regulation and steadiness;
- modeling of natural ecosystems; particularly in the aspect of environment restoration and regeneration of some resources
- modeling of ecological and economic territorial systems.

2.Exploitation of natural territorial resources:

- monitoring of natural resources;
- development of consumption resources technologies;
- development of natural and economic complexes projects;
- development of legal principles of natural surrounding use.

3.Monitoring of environmental conditions:

- environmental condition diagnosis;
- prediction of condition changes;
- development of information technologies of environmental monitoring;
- development of managed territorial development technologies of natural and economic complexes.

Inspite great differences in territorial development potential there are generally classified principles of resources development management .

A number of principles of classified approach defines the ideas of development management:

- uncertainty of formulated aims.
- decomposition of management problem and design of management system.

-macro-determination of considered processes and phenomena.

- informative unity of theory and experiment.

Some systems, which can not be predicted exactly as it is not quite clear if there is sufficient quantity of resources to reach the goal.

Practical sequence of uncertain goal principles is the necessity of sequential goal refinement, i. e. the comparison of exerted results and obvious ones and the introduction of correction into purpose and management model.

A.Principle *of decomposition and design means* the choice of main objects and connections, which form the structure of management development of system as it supports use of all available a priori information about a system and defines series of modelling stages diagnosis, prediction, adaptation.

B. The principle of *macro-determinism* defines conditional character of natural processes division and phenomena into occasional and deterministic ones.

C. *The aggregation of processes* increases the scale of their changeability in such a way that when it becomes comparative in size with the goal scale, the process stops to be casual and has deterministic character.

D. Practical outcome of macro-deterministic principle is some *hierarchic formation* of social ecological and economic systems of territories.

Systems modeling some systems of greater scales occupy higher position in the hierarchy and form limiting conditions, imposing on the unsteadiness of processes in the systems situated lower.

E. Principle of *informative unity of the theory* and experiment postulates the necessity of creating such geographical systems in which management of territorial development relies on the model prediction of potential development scenarios of current observation of development data mastered in the dynamic models of SEES.

It becomes basis of classified system method of managed development of SEES, as it forms constructive ideas of resources development management and defines the procedure of acquiring and use of necessary information.

THE SYSTEM METHOD OF MANAGED DEVELOPMENT

The *method of development management* is the series of actions and intervening results, which transform system development concept of natural and economic complex into general development project. We shall consider this consistence as an example of territorial resources and subordinated to the system of restriction as to their use : social, lawful, ecological and others. To simplify the consideration of the problem we shall consider that the hierarchy of territorial SEES includes only two levels: regional and local.

As it follows from the system development management principles, basis of scheme management must include diagnosis stages of territorial conditions, prediction of SEES dynamics and the adaptation of managed model to observation.

At the next stage correspondence of territorial resources to the hierarchical development program is studied and the general resources consumption scheme is scheduled. The word “general means“ extending to the all SEES hierarchy.
The resources condition monitoring is arranged. As one of main data of environment estimation of its ecological condition are presented . The local models developed goal dynamic data for all territorial districts. If lost the methods of anteceding of observation data in a predicted model of regional level SEES are developed. It turns them into informative region management technology.
The next stage provides development and monitoring of *general territorial cadastre of resources (for example, resources for atternative energy).*The geoinformatic system (GIS) combines the model (diagnostic and predicated) information about the development course and the data about SEES monitoring data conditions.

By that time the territory must have the general development plan and expert and analytical system of the basis of the achievement of intervening and final goal. Expert and analytical management system is some groups of operative planning, which develops possible territorial development scenarios.
The worked out suggestions on the rational resources with the purpose of development get the final estimation by the territorial administration; after this the next stage of general plan turns into general development project. Stage by stage performance of general plan gives the possibility to correct other purposes and administrative decisions, which concern the use of territorial resources.

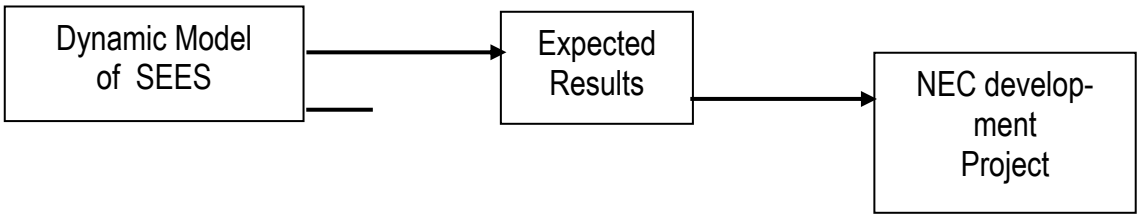
CONCEPTUAL MODELS OF MANAGED DEVELOPMENT

To implement models of system method of territorial management development in practice, it is necessary to develop dynamic models of SEES which permit to predict development data under different alternatives of resources use. It is expediently to use the expert and analytical approach relying on the experimentally known reasonable and consequent links between the processes in SEES and observed involvement development trends.

General structure of conceptual managed model is shown in this picture (**fig.3**).
Method of system dynamics was suggested by *D. Forester*. To use this method in practice it is necessary at first to separate involvements, which occur between main system parameters conditions and to design a concept system model. At the next step the system model diagram is developed, the model admits formalization modeling NEC development dynamic which conforms to the general plan.

Method of system dynamic is very attractive for developing information technologies of ecological and economic systems managed development. So the following statement will be focused on considering and developing this method.

SEES development goal defines necessary information for designing managed technologies. The information chain above systematizes expert data on resources and ways of their use.



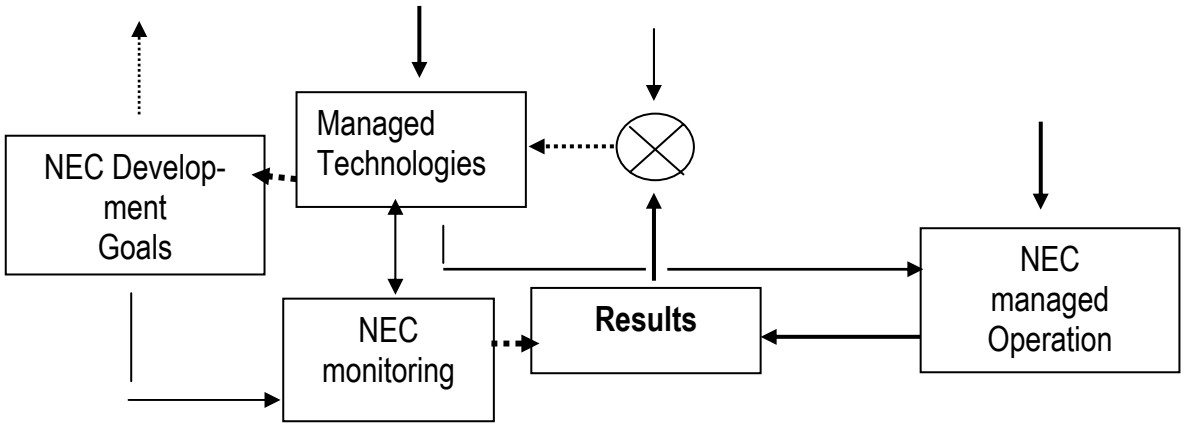


Fig. 3

The one below is based on observation data obtained in the process of territorial monitoring. The imitation modelling of development scenarios gives expected results and makes it possibly to choose the necessary scenario which must be the basis for the development project.

Method of system dynamics is very attractive for developing information technologies of ecological and economic systems managed development.

General structure of conceptual managed model is shown in this picture (**fig.4**).

SEES development goal defines necessary information for designing managed technologies. The upper information chains systematizes expert data about resources and ways of their use. The low one is based on observation data obtained during the process of territorial monitoring. The imitation modeling of development scenarios gives expected results and makes it possible to choose the necessary scenario which must be the basis for the development project.

INFORMATION MANAGED TECHNOLOGIES OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC SYSTEMS

Presented above general results of system approach to SEES managed development can be presented as general technology of collection, analysis and generalizing of information about ecological and economic system condition. The structure of information management technology supposes regular comparison of current results of management (i.e. current system conditions) with expected results or goal purposes.

To form some purpose resulted from the SEES classified development conception, at first it is necessary to develop some *conceptual model of managed system*. This model must design all available information on the problem of complex management. Considered above principles of system approach help to classify apriori information for four main chapters.

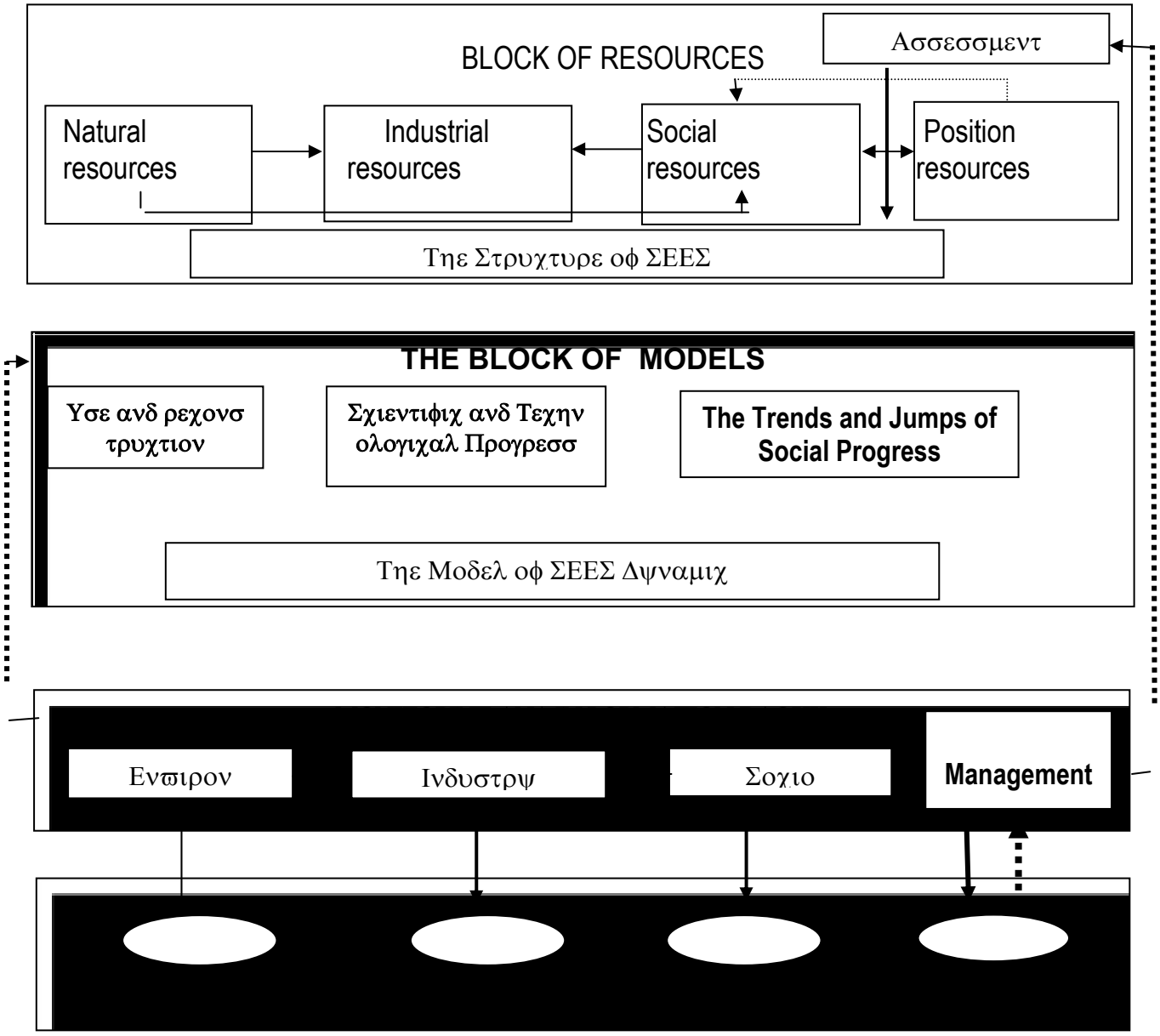


Fig. 4

The analysis of managed purposes gives the possibility to develop some *goal tree*, i.e. the hierarchy of goals of SEES development, which corresponds to the initial idea of the resources and restrictions as to their use.

The next step is modeling of managed model structure: its *decomposition on the model of managed system* and the model of external surrounding. Each of models must design main reason and outcome between component elements of managed model structure.

In common case for SEES is managing the *hierarchy of models* included into it ecological and economic systems is necessary. They can be models of different economic complex branches or models of separate plants connected by production technologies and products realization. The principle of micro-determinism supposes the aggregation of

production data of separate plants within the branch and the definition of character scales of these data in time.

CONSEPTUAL MODEL OF MANAGEMENT

So, the conceptual model of managed system must include 4 necessary blocks:

- the expected results of management,
- the conceptual model of managed system (or the system hierarchy),
- the dynamic environment model and
- analyzing monitoring system of SEES condition data.

With the help of latter the classified *principle of information unity of the theory and experiment is realized*.
The next stages of information managed technology serve for gaining *predicted scenarios of SEES* development processes. To have the possibility to predict the complex behavior under some different versions of external condition changes, the models of managed system and the models of external surroundings must be formalized, i.e. they must be represented as mathematical expressions, that makes it possible to implement the program and the computer analysis. As it was mentioned above ,one of the most perspective methods of conceptual model transformation into formalized ones is method of system dynamics.
The dynamic model of managed system includes a great number of parameters, which permit to make available maximal proximity of model estimation of SEES conditions to reality. The parameter selection is executed during imitation experiments, when the dynamic data of complex development are collected under the given outer exposure on it. There is some *reverse connection of dynamic model with the model with the observed system* as determined experiments with the model which gives the possibility to optimize the process of information collection about SEES conditions.The next important stage of information management technology is *the assimilation of observation data in the dynamic managed model*. In theory of management it is proved, that the best approximation of predicted estimations to the reality for any process gives the weighted average value, constituted due to the model prediction and this process measurement. But SEES is *territory organization system.*

SPATIAL ASPECT OF SEES

The file of the spatial data cannot be submitted by average meanings for all SEES because of danger of excessive simplification of information model. Using the procedure of getting weighted coefficient of weighting one can master the current information in the system of managed models and realize the continuous adaptation technology of managed system according to the scheme: prediction – comparison with the observations –corrective action to the prediction – corrective action to the model – corrected prediction.

After adapting the managed system it is possible to produce the SEES development scenarios under different external conditions. First of all we take into consideration various versions of using SEES resources development: natural, labor, financial and others.

The parameters of manipulation of managed system model makes it possible for management control to choose such a scenario of complex development, which corresponds to the plans of reaching goal development. The current results of management are compared with expected results as to the chosen scenario. According to the comparative results there are applied corrections at the corresponding stages of information managed technology.

As it follows from the given above analysis the main points of the development of information technology of ecological and economic systems management are:

- development of conceptual model of managed system;
- formalization of conceptual model;
- imitation modelling of SEES development scenarios,
- mastering of observation data.

This operation of general information managed technology is the main subject of further more detailed and formalized investigations.