

2 ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ И ОПТИМАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

На примере СЭЗ “Брест” показано, что освоение и преобразование любых по площади территорий и регионов оказывают большое влияние на окружающую Среду. При этом земли, пригодные для сельскохозяйственного использования, являются одним из лимитирующих факторов развития общества. Характер использования земельных ресурсов, степень и интенсивность их освоения во многом, и особенно сегодня, зависят от роста общих потребностей в земле, как базисе индустриального развития, интенсификации земледелия и изменения их качества в процессе эксплуатации. Нужно также иметь в виду, что в процессе производственной деятельности (строительная, пищевая, химическая и другие отрасли) уничтожается и загрязняется большое количество сельскохозяйственных и лесных угодий, нарушаются естественные ландшафты и ухудшаются санитарно-гигиенические условия Среды обитания человека. Последние десятилетия, мелиоративная деятельность стала одной из действенных сил, вторгшихся в природную Среду, и, поэтому, исследование всех звеньев экологической цепи, с созданием экологических моделей прогноза последствий реализации инженерно-агротехнических решений, в настоящее время очень актуально [36].

Роль мелиорации в повышении плодородия, постоянном росте производительной силы земли, в формировании местного влагооборота, облагораживании ландшафта и улучшении социальных условий, безусловно, положительна. Однако, реализованные на практике мелиоративные мероприятия, нередко сопровождаются истощением и загрязнением водных ресурсов, обеднением флоры и фауны, нарушением ряда естественных связей в природной Среде, приводящим, как правило, к негативными антропогенным явлениям, соизмеримым с глобальными природными катастрофами.

Мелиорация, например, вторгаясь на локальном уровне в структуру естественных фитоценозов, способна вызвать обратимую или необратимую смену их типов, предопределить региональную динамику растительности и состава флоры, в целом. Трансформация естественных угодий в сельскохозяйственные приводит к уничтожению травянистых гипергидрофильных сообществ, сокращению ареала аборигенных холодостойких и умеренно влаголюбивых видов и появлением космополитных, умеренно теплолюбивых и сухолюбивых их видов. Аналогичное изменение характерно и для лесной растительности: увеличиваются площади сосновых и резко сокращаются площади дубовых и еловых лесов.

Система антропогенных, наиболее существенных изменений флоры, в том числе взаимосвязанных локальных и региональных, а также последовательных и катастрофических изменений, представлена на рис. 2.1. При этом, четко прослеживается вся последовательность антропогенных изменений флоры - от изменения биологической продук-

тивности, при слабоизменяющемся видом составе, до полного изменения состава флоры - при создании культурных фитоценозов.



Рис.2.1 Таксономическая система антропогенных изменений флоры.

Характер последствий более радикального освоения водно - земельных ресурсов находит свое отражение в социальной, эколого - экономической и технической областях (рис.2.2).

В Беларуси, с множеством ландшафтно-мелиоративных комплексов (холмисто-маренные возвышенности; болотно-солончаковые на озерно-ледниковых песчаных равнинах, болотно-дерновые на озерно-ледниковых песчаных равнинах; болотно-подзолистые на флювиогляциальных песчаных равнинах и др.), система их (комплексов) реакций на водно-земельные мероприятия чрезвычайно сложна, многофакторна и знакопеременна (рис.2.3). Сложность реакций Среды кроется не только в геоморфологических, тектонических и литолого - гидрологических условиях страны, но и в мере антропогенных воздействий на природный комплекс, в целом.



Рис.2.2 Характер последствий освоения водно-земельных ресурсов.

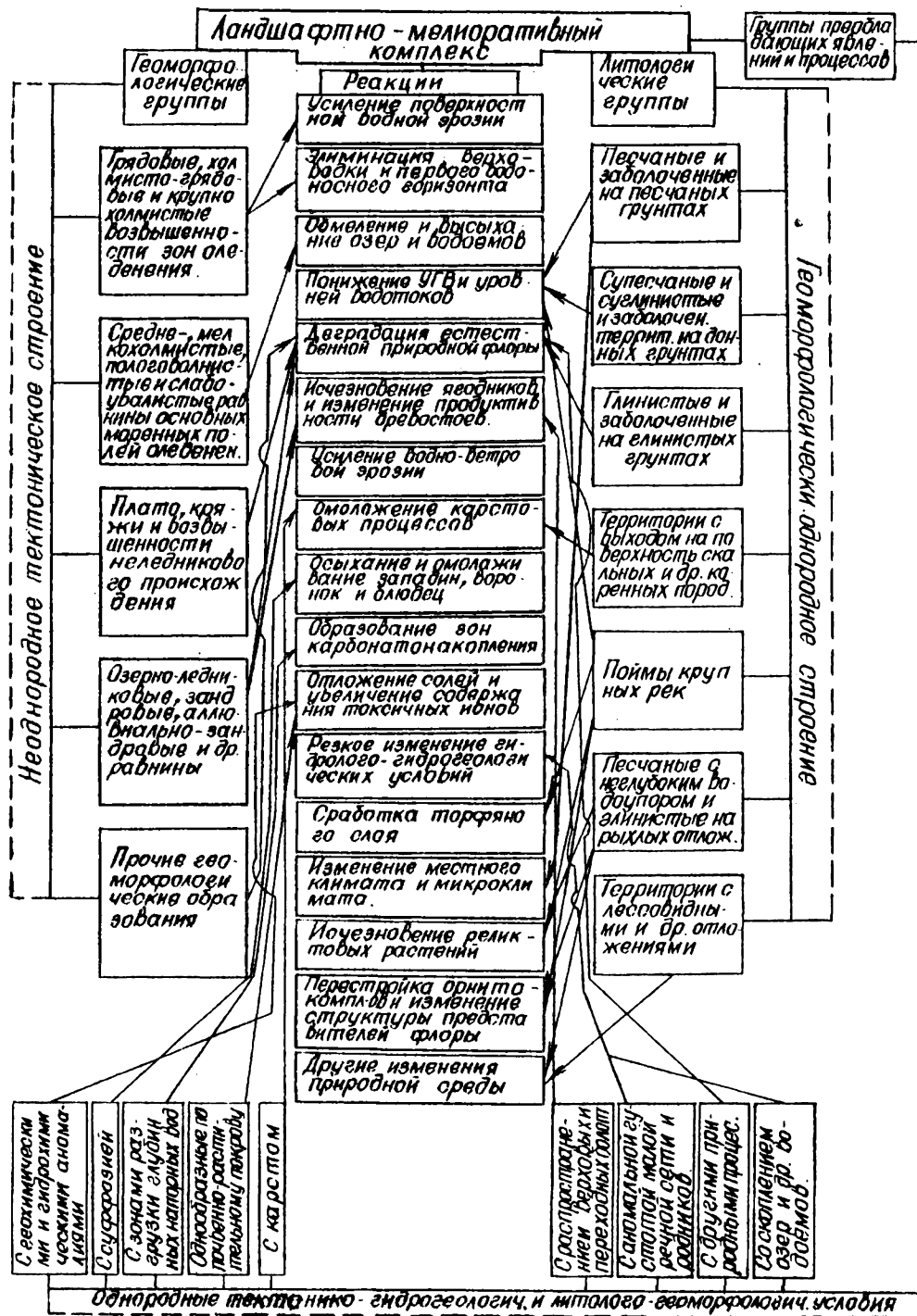


Рис.2.3 Система реакций типичных комплексов на воздействие мелиораций.

Означает ли это, что природная Среда деградирует ?!

В данном случае нужно говорить только о сознательном и рациональном вмешательстве в природную Среду с целью экологически безопасного использования природных ресурсов в условиях формирования новых антропогенных экологических систем, в большей мере отвечающих жизнеобеспеченности общества.

Теоретические разработки методов долгосрочного преобразования элементов природной Среды под влиянием антропогенных факторов требуют анализа устойчивости природных образований и пределов их саморегулирования.

Так, например, наблюдавшееся ранее "решительное" спрямление речных русел, значительно снизило уровни воды в межень более чем на 1,5 тыс. рек страны. На водный режим и баланс крупных водосборов значительно повлияла прокладка сети мелиоративных каналов и дренажей, общая протяженность которых составляет сегодня более 1 млн. км и в 10 раз превышает суммарную длину рек, речек и ручьев.

По данным ЦНИИКИВР [7], регулирование рек для целей судоходства обусловило снижение уровня воды в Днепре на 0,3м, Березине - 0,6м, Припяти и Соже - 0,5м, Немане - 0,4м и Западной Двине - 0,1м.

Необходимо также отметить, что изменения состояния природной Среды происходят и в ходе естественных физико-биологических процессов, связанных с планетарным изменением климата, неотектоники, или после внедрения результатов научно-технического прогресса в народное хозяйство. Например, глобальное потепление климата вызывает уменьшение атмосферных осадков на 5% и, тем самым обуславливает уменьшение суммарного стока на 4...8% . Для Полесской зоны возможно уменьшение осадков до 15%, что может, соответственно, обусловить уменьшение стока до 16...18%. А это, в свою очередь, способно уменьшить влагозапасы в почве на 12%, а суммарное испарение - на 13...14%.

Рост водопотребления, являющийся одним из показателей научно-технического прогресса государств, вызывает необходимость расширенного использования артезианских вод. Интенсивная эксплуатация подземных вод уже сегодня привела к образованию обширных депрессионных воронок диаметром до 10...20 км. Понижение напора подземных вод эксплуатируемых водных горизонтов до 20...50 м вызвало снижение УГВ до 5...6 м.

Например, Минский водозабор создал депрессионную воронку площадью 750 км². По данным ЦНИИКИВР, имеющиеся в республике 52 подземных водозабора уже оказали влияние на сток 108 рек, а к 2000 году уже 121 река окажется в зоне действия более ста водозаборов [7].

Поэтому, в основу научного прогноза изменения естественных природных процессов должны быть положены качественные и количественные критерии, которые характеризовали бы разумные антропогенные воздействия на геобиосистему, при которых она имеет обратимые изменения и остается устойчивой, или получает строго рассчитан-

ные необратимые изменения и неустойчивое состояние.

Принято считать, что при радикальном преобразовании определенного природного комплекса цель преобразований может быть достигнута, если в природном комплексе вызван необратимый процесс, обуславливающий неустойчивость системы, в целом. При обратимости же процесса, для поддержания измененного состояния природного комплекса, необходимо осуществлять периодическое повторение целенаправленных воздействий.

Так как, с точки зрения кибернетики, всякий необратимый процесс характеризуется последовательностью смен неустойчивых состояний системы и, при этом, ни одно из состояний не повторяет предшествующего, а обратимый процесс характеризуется устойчивым состоянием системы с замкнутым циклом последовательных состояний, то исследование взаимодействий природных компонентов требует выделения саморегулирующихся и несаморегулирующихся процессов [10].

В группу саморегулирующихся процессов нами отнесены процессы, при которых изменения в состоянии или других функциях системы, вследствие внутренних или внешних причин, вызывают реакцию, возвращающую систему в исходное состояние, либо изменяющую ее, приспособлявая к существованию в новых условиях, без разрушения, в целом. В первом случае, развиваются обратимые изменения, во втором - необратимые, определенно направленные изменения.

В целом, согласно Г.Ф. Хильми [54], устойчивость системы, по отношению к воздействиям внешней Среды, представляет собой уменьшение или уничтожение разнообразия возможных исходов в зависимости от разнообразия воздействий. Например, анализ изменений уровня грунтовых вод, по отношению к естественному, и длительности отклонений от его оптимального значения позволяют установить экологический диапазон колебаний УГВ, который не вызывает необратимых изменений в составе фитоценозов. Однако, если для смежных территорий этот вариант оптимален, то для мелиорируемых территорий, без существенной замены естественных фитоценозов с помощью мелиоративных воздействий, в принципе не обойтись. Но, с другой стороны, интенсификация процесса получения растениеводческой продукции вовсе не мешает воспроизводству других природных ресурсов.

Отсюда, оптимальное природопользование является одной из главных и, в то же время, самых сложных задач, обусловленных:

- необходимостью планирования результатов взаимодействия производственных и природных процессов, хотя не все природные процессы поддаются управляющему воздействию;
- выбором средств воздействия на окружающую Среду с учетом чрезвычайного многообразия возможных последствий;
- региональным характером изменения компонентов природной Среды;

- большим многообразием социальных эффектов и их временной приуроченностью.

Необходимо отметить, что Минаев И.В. [31] и другие [1,32,50] достаточно полно вскрыли основные аспекты влияния мелиоративных преобразований на окружающую Среду. Все причины и следствия этих преобразований ими разделены на три основные группы: *инженерные мероприятия* - которые непосредственно обнаруживаются и практически всегда имеются; *агротехнические мероприятия* - последствия которых трудно-определимы и весьма сложны для прогнозов; *строительство и эксплуатация гидромелиоративных систем* - вызывают временные последствия, но наиболее существенные по силе воздействия на окружающую Среду. При этом, все последствия влияния мелиораций Минаев И.В. анализирует, исходя из условий жизни и уровня комфортности населения, особенно сельского.

Им же определена и система характеристик в области охраны природной Среды:

- параметры функционирования природоохранных систем и комплексов;
- показатели воздействия на окружающую Среду;
- показатели изменения окружающей Среды.

Разумеется, сложность объекта исследования, определяемая характером взаимодействия природных процессов в изменившихся условиях при нарастающем активном вмешательстве человека, требует новых методов и подходов. Хотя, системно-структурный анализ дает возможность правильно поставить цель и описать структуру изучаемого объекта, т.е. установить ее элементы и структурно-функциональные и генетические связи между ними на различных уровнях.

Нами, на основе математического представления совместимости отраслей народного хозяйства и элементов природной Среды, составлена матрица наблюдаемых и прогнозных изменений основных эколого-социальных компонентов. При этом, использована десятибалльная шкала и экспертные оценки, опубликованные в открытой печати, в том числе и в наших исследованиях.

Так как включенные в матрицу (табл.2.1) экологические компоненты общеизвестны, анализу подвергнем лишь социальные компоненты:

- структурный коэффициент демографической динамики и миграции, - включающий в себя плотность населения и процентное соотношение возрастных групп в сельской местности (до 17, от 18 до 64 и старше 65 лет). Возрастное деление определено миграцией выпускников школ и людей преклонного возраста;
- генетический груз человеческой популяции, включающий в себя общее состояние и качество природной Среды проживания, запыленность и концентрацию токсичных элементов в атмосфере, загрязненность гидросферы, степень и характер изменения флоры, фауны и ландшафта, степень и характер радиоактивного загрязнения;
- социальный и медико-биологический уровень жизни, включающий в себя рождаемость, смертность, обеспеченность эколого - калорийной пищей, энерго - обеспеченность, степень комфортности жилища и социальный уклад (условия работы и отдыха).

Таблица 2.1 Матрица экспертного прогноза характеристик взаимосвязи эколого - социальных компонент и отраслей хозяйства

Основ- ные эко- логичес- кие и со- циаль- ные ком- поненты	Характе- ристики основных компонен- тов	Отрасли хозяйства													
		Водное хозяйство			Сельское хозяйство		Лесное хозяйство		Рыбное хозяйство		Промышленность			Индустрия отдыха	
		мелно- рация	водо- снабжение	судо- ходство	ороша- емое	неоро- шаемое	интен- сивное	экст- енсив- ное	рыбо- разве- дение	добыча рыбы	пище- вая	строи- тель- ная	тор- фяная	запо- ведни- ки	зоны рекре- ации
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Поверх- ностные воды	Загрязнение	-2/-3	-	-1/-2	-3/-4	-2/-3	-1/-2	-	-	-	-3/-4	-1/-2	0/-1	+6/+10	+1/+3
	Изменение объема	±1/±4	-2/-3	-	-2/-5	-	±1/±2	±3/±4	-1/+3	-	-	-	-	-	-
	Изменение режима	±2/±5	-1/-2	±1/±3	±2/±3	-	±2/±4	+1/+3	±1/±3	-	-	-	-	±8/±10	+3/±7
Подзем- ные воды	Загрязне- ние	-2/-3	-	-	-2/-6	-1/-5	-1/-2	-	-	-	-4/-7	-3/-6	-2/-5	+4/+10	+2/+7
	Изменение водно-со- левого ба- ланса	-1/-4	-	-	-1/-5	-1/-3	-1/0	-	-	-	-	-	-	-	-
	Истоще- ние	0/-10	-3/-6	-	±2/±7	-	0/-7	0/+5	-	-	-	-	-	0/+10	0/+7
	Продук- тивность	+10/-10	-	-	0/10	-	-3/+8	-	-	-	-3/-6	-2/-7	+1/-6	-	-
Почвы	Изменение химичес- ких свойств	-2/-6	-	-	-3/+4	-	-1/+2	-	-	-	0/-3	0/-2	-3/-5	0/+10	0/+6
	Минера- лизация и осадки	-2/-10	0/-6	-	+1/-2	-	-3/-7	-	-	-	-	-	-7/-10	0/+10	0/+6
	Теплофи- зические изменения	-3/-5	-	-	+5/-1	-	+2/-6	-	-	-	-	-	-3/+3	-	-
Флора	Обеднение	-5/+5	-	-	+1/+10	-	-3/+2	0/+10	-	-	0/-4	0/-3	0/-7	+10	+6/0
	Изменение состава	-4/+8	-	-	-3/+7	-	-6/+4	0/+10	-	-	0/-2	0/-1	0/-3	+10	+6/0
	Изменение ландшафтов	-7/+8	-	-	+1/+8	-	-7/+6	0/+10	-	-	0/-7	0/-7	0/-7	+10	+6/0

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Фауна	Обеднение	-8/+3	-	-1/-6	-2/-7	-1/-4	-2/-8	0/+10	0/+7	-7/+2	-	-	-	+10	+7/0
	Изменение условий жизни:														
	вода	-2/+5	-	-3/-4	-	-	-	-	-	+2/-3	-	-	-	-	-
	суша	-3/+4	-	-	-3/+4	-3/+3	-4/+4	0/+10	-2/+7	-	-	-	-	-	-
	Обратимость процессов	-8/+6	-	-	-	-	-2/-6	-	0/-2	0/-7	-	-	-	+10	+4/0
Социальные условия жизни населения	Уровень структурного коэффициента демографической динамики и миграции	-1/+9	+3/+5	-2/+3	+1/±4	-3/+6	-	-	-	-	-1/±5	±3/±6	-	0/+10	+4/+1
	Уровень генетического груза человеческой популяции	±2/±3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±2/±6	-	-	-
	Социальный и медико-биологический уровень жизни	±3/±8	+1/+8	-	+2/±6	-	-	-	-	-	+2/±9	+2/±8	-	+2/+6	+1/+8

Примечание: В числителе - минимальное, в знаменателе - максимальное значение оценочного критерия; ± - соответственно, улучшение или ухудшение элемента.

Групповая оценка относительной важности элементов матрицы и значимости характеристик основных компонентов может быть определена по формуле

$$\alpha_k = \frac{1}{m} \cdot \sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^n \alpha_{il} \cdot \beta_{ikl}, \quad (2.1)$$

где i - индекс критерия ($i = 1, 2, 3, \dots, n$); l - индекс эксперта ($l = 1, 2, 3, \dots, m$); α_{il} - оценка i -го критерия i -м экспертом; β_{ikl} - оценка k -го элемента по i -му критерию l -м экспертом.

Матрица позволяет получить как единые критерии оценки воздействия антропогенных факторов на природные ресурсы, включая основные социально - экологические компоненты, с значительным диапазоном возможных взаимодействий, с позиции экономики и экологии, так и осуществлять поэлементный анализ и разрабатывать приоритетные направления развития природоохранных мероприятий.

Матрица, представленная выше, включает только экстремальные оценки экспертов. Однако, и эти оценки характеризуют как отсутствие единого мнения по характеристикам основных компонентов системы "Антропогенные факторы - Социально- экологические компоненты" и ее подсистем, так и сложность проблемы подобных оценок, вообще.

Все это обуславливает необходимость концептуального представления системы "Преобразующий комплекс - Природная Среда (ПК-ПС)" в составе трех взаимодействующих подсистем со структурной функцией типа - $S = \{S_1, S_2, S_3\}$, где S_1 - производственная (экономико-социальная), S_2 - физико - географическая (ландшафтная), S_3 - управляющая подсистемы, включая блок синтеза, концептуального прогноза НТР и социально-демографических изменений, экологических прогнозов антропогенных воздействий, в т.ч. глобальный (планетарный) прогноз (рис.2.4).

Проанализируем сущность блоков системы:

- 1-1 - анализ экономико-географического положения и состояния региона;
- 1-2 - экономико-географическое районирование;
- 1-3 - составление кадастра производств и экологических паспортов;
- 1-4 - типизация селитебных зон и активных техногенных элементов;
- 1-5 - типизация производств и активных техногенных элементов;
- 1-6 - разработка типов хозяйственного освоения территории;
- 1-7 - типизация хозяйственного освоения территории;
- 0-3 - устойчивость ландшафтов к антропогенным воздействиям;
- 0-2 - территориальная организация производительных сил;
- 0-1 - характер активных элементов технологических целей и масштабы антропогенных воздействий;
- 2-1 - компонентный анализ природных и антропогенных природно-территориальных комплексов (ПТК);

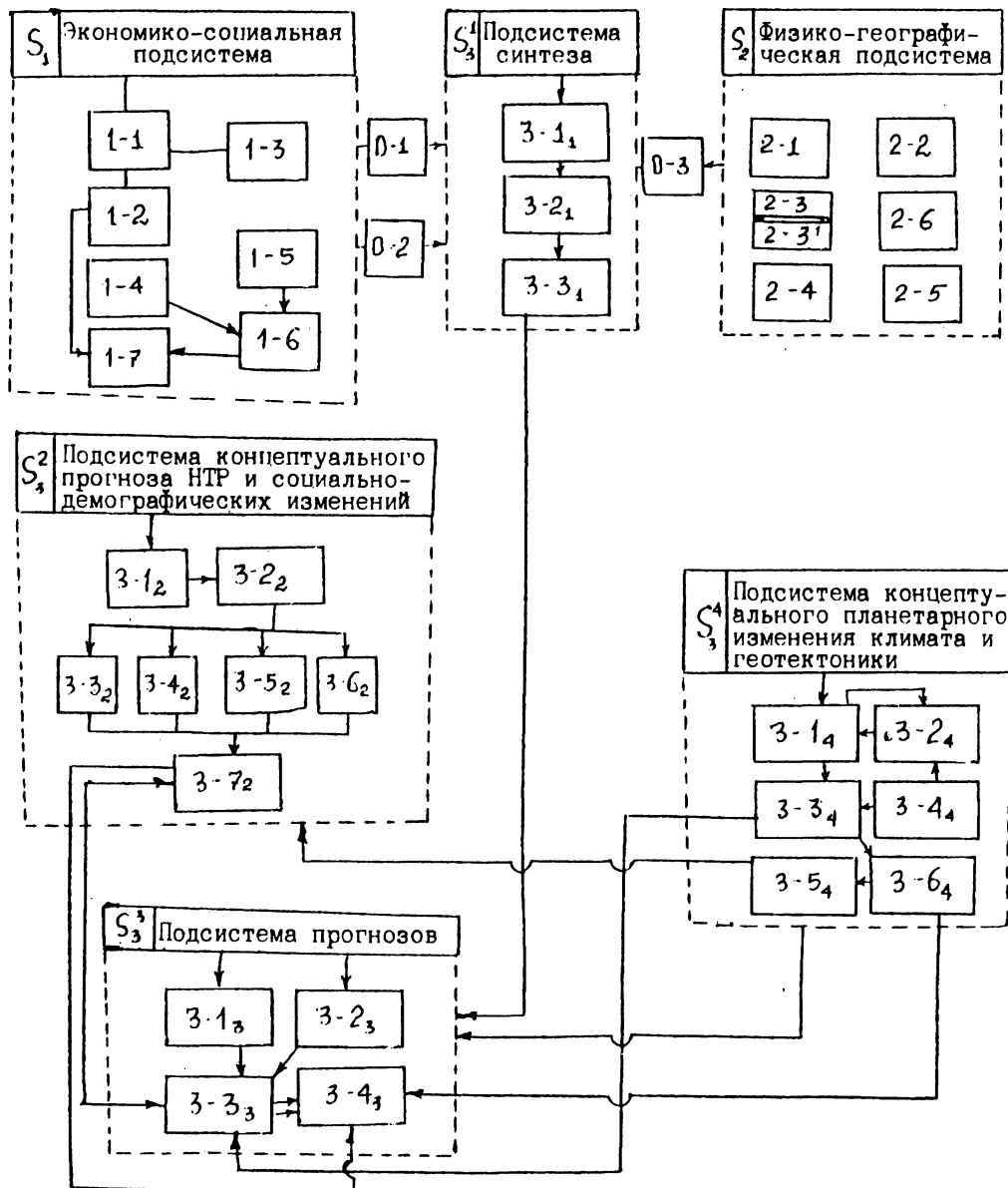


Рис.2.4 Принципиальная система анализа и прогноза взаимодействия общества и природной Среды региона.

- 2-2 - ландшафтное районирование;
 - 2-3 - ПТК измененные в процессе заселения;
 - 2-3' - ПТК измененные функционированием производства;
 - 3-4 - типы изменений и устойчивости природных комплексов;
 - 2-5 - районирование по типам изменений и устойчивости;
 - 2-6 - естественные тенденции развития природной Среды;
 - 3-1₁ - состояние природоохранительной практики;
 - 3-2₁ - мониторинг природной Среды;
 - 3-3₁ - состояние природной Среды региона и эффективность ее использования;
 - 3-1₂ - концепция развития и размещения производительных сил региона;
 - 3-2₂ - влияние проектов преобразования природной Среды на территориальную организацию производительных сил;
 - 3-3₂ - система расселения;
 - 3-4₂ - тип освоения;
 - 3-5₂ - система организационно-производительных сил;
 - 3-6₂ - тип производства и активных элементов технологических цепей;
 - 3-7₂ - оптимизация варианта территориальной организации производительных сил;
 - 3-1₃ - прогноз развития законодательства об охране природы;
 - 3-2₃ - прогноз совершенствования мониторинга;
 - 3-3₃ - концептуальный прогноз взаимодействия общества и природной Среды региона;
 - 3-4₃ - прогноз взаимодействия общества и природной Среды в расчетный период;
 - 3-1₄ - вариантный прогноз изменения природной Среды;
 - 3-2₄ - прогноз характера сочетания естественных тенденций развития ПТК с ранее вызванными антропогенными процессами и явлениями;
 - 3-3₄ - прогноз изменения природной Среды под влиянием естественных тенденций развития ПТК различных рангов;
 - 3-4₄ - прогноз типов функционирования природно-антропогенных комплексов и допустимости хозяйственной нагрузки на них;
 - 3-6₄ - прогноз состояния природной Среды региона.
- Для решения задач рационального использования природных ресурсов и охраны природной Среды наиболее существенна функциональная классификация, при которой в качестве признаков деления выступают следующие свойства ландшафта, задействованные в процессе человеческой деятельности:
- степень устойчивости к воздействию;
 - степень пригодности и качество выполнения социально-экономических функций;
 - характер, степень и темпы развития компонентов и ландшафта, в целом;
 - величина возможной нагрузки на отдельные компоненты и ландшафт, в целом;

- реакция ландшафта на систему мероприятий по предупреждению или устранению негативных последствий.

На природный комплекс влияют не только отдельные составляющие системы природопользования, но и система, в целом. При прогнозировании изменений природной Среды требуется систематизация естественных природных процессов по зонам воздействия: поверхность почвы и зона аэрации; поверхностный сток; подземные воды; процессы, развивающиеся под влиянием систем природопользования в каждой из зон воздействия; воздействия со стороны основных элементов геоэкосистем; влияние вероятностных процессов на компоненты ландшафта в будущем.

Такая систематизация позволяет установить характер влияния проводимых мероприятий на отдельные компоненты ландшафта и дать качественную оценку экологических изменений.

Управление же системами оптимального природопользования, т.е. природно-экономическими системами, требует разработки проблемно-ориентированных региональных моделей для решения проблем мониторинга, рационального использования водно-земельных и других биосферных ресурсов, проблем водохозяйственного строительства и др.[11].

Под регионом нами понимается природно-хозяйственный комплекс, расположенный на фиксированной территории с естественными границами и динамичными природно - экономическими компонентами, рассматриваемый с точки зрения системного анализа как относительно замкнутая система. Собственно же структура комплекса моделей "Регион" должна базироваться на двух уровнях (верхнем и нижнем), включающих элементы экономики, природных ресурсов и населения (рис.2.5).

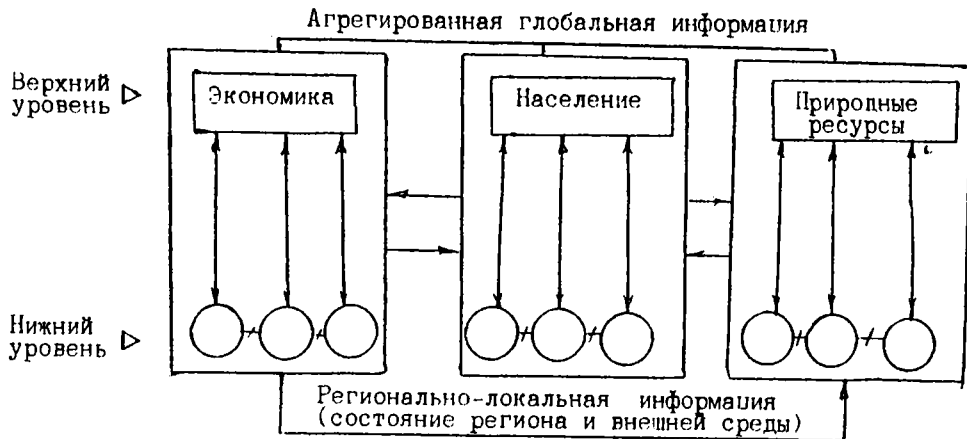


Рис.2.5 Структурная схема комплекса моделей "Регион".

Наиболее существенным, с нашей точки зрения, является сельскохозяйственное

использование водно-земельных ресурсов, поэтому, детально остановимся на модели, ориентированной по сельскохозяйственному производству с агрегированным описанием остальных моделей.

Базовые предпосылки для нее приводятся ниже.

1. Рост производства сельхозпродукции $\bar{A}(t) \rightarrow \bar{A}^*(t)$; обеспечивается за счет:

- расширения площади пашни и оптимального распределения сельскохозяйственных земель по основным видам использования;
- мероприятий различного уровня по интенсификации сельскохозяйственного производства, в т.ч. его технического перевооружения.

2. Реструктуризация сельхозугодий проводится в направлении:

- увеличения площади продуктивных угодий за счет мелиоративно-агротехнических мероприятий, рекультивации и восстановления;
- уменьшение площади продуктивных угодий, отводимых на несельскохозяйственных нужды, и, в т.ч. на формирование природозащитных территорий (водоохранные зоны, заповедники, заказники и др.).

3. В качестве объектных учетных факторов в модели используются:

- естественное плодородие почв;
- деградация почв в результате их использования;
- зависимость урожайности основных сельхозкультур от природных условий, средств и способов интенсификации производства;
- факторы экономического развития, влияния инфраструктуры и обеспеченности средствами интенсификации производства;
- отвод земель на нужды промышленности и транспорта, урбанизированные территории;
- прирост населения по возрастным группам;
- показатели удельного роста сельхозпродукции;
- показатели прироста капвложений на новое строительство, расширение и инфраструктуру;
- показатели прироста капвложений на освоение новых земель;
- показатели прироста капвложений на борьбу с деградацией земель.

4. Основные экологические ограничения исходят из:

- степени загрязнения и эрозии почв;
- степени антропогенного нарушения элементов ландшафта;
- неубывающего плодородия почв, как наиболее дефицитного природного ресурса.

Структурную схему проблемно - ориентированной модели "Регион" можно представить в следующем виде (рис.2.6).

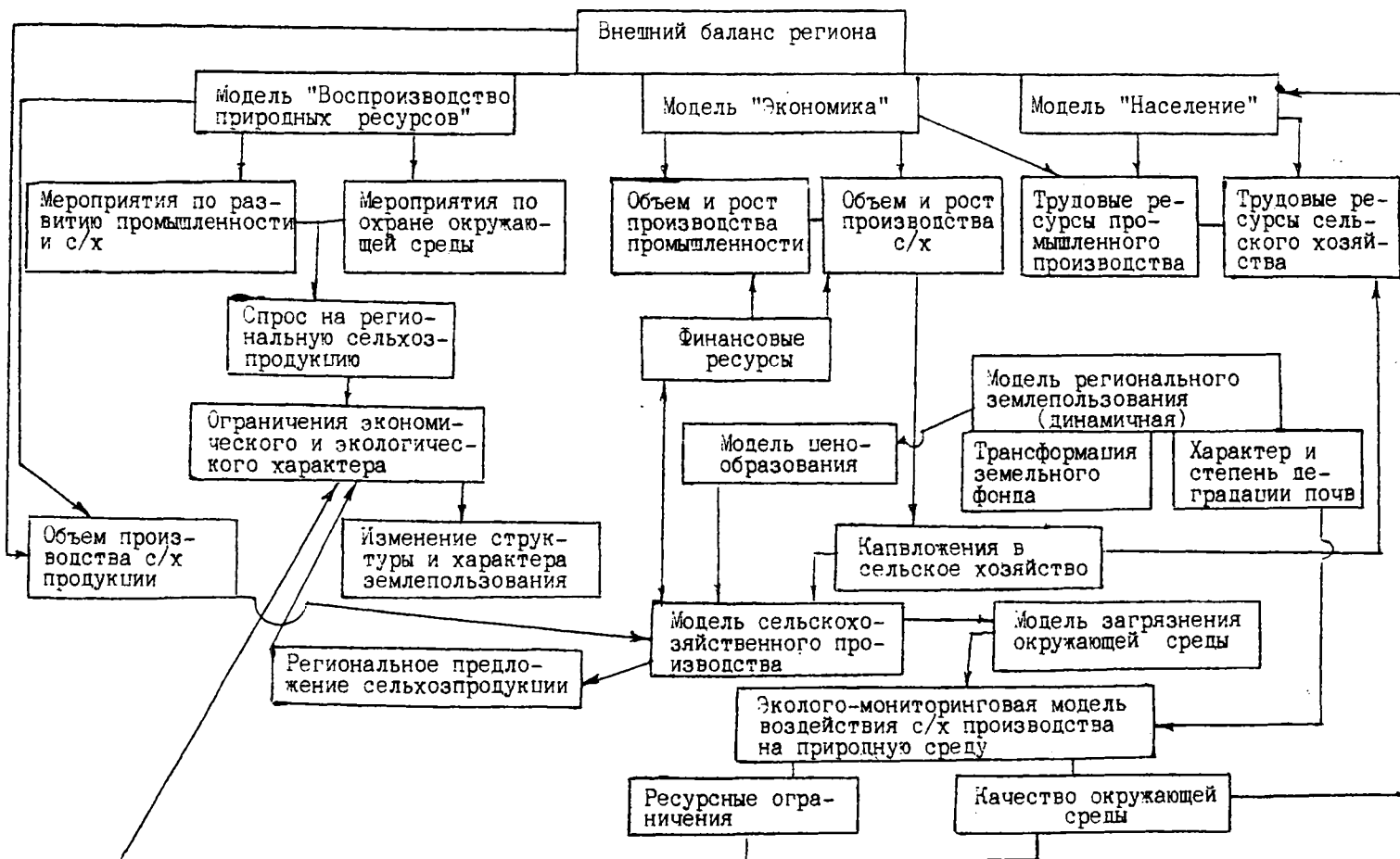


Рис. 2.6 Структурная схема проблемно - ориентированной модели "Регион".

В структуре модели доминируют следующие блок-модели: *землепользования* - в которой дается динамика трансформации земельного фонда; *экономики* - определяющая динамику производства регионального валового промышленного продукта ($\bar{P}(t)$) и объема капложений в сельскохозяйственное производство; *производства сельскохозяйственной продукции* - описывающая динамику валовой региональной сельскохозяйственной продукции ($\dot{A}(t)$); *населения; воспроизводства природных ресурсов; изменений природной Среды и мониторинга; спроса и ограничений* - определяющих внешние и внутренние связи и возможности.

Рассмотрим, каким образом можно описать эти блок-модели. Их структурные схемы представлены, с учетом большинства существующих сегодня систем оптимального управления природно-экономическими системами, на рис.2.7.

В модель землепользования (а) в качестве основных элементов общего земельного фонда региона ($L_{\alpha}(t)$) включены: L_1 - обрабатываемые сельскохозяйственные земли; L_2 - пастбищно-луговые земли; L_3 - необрабатываемые земли, но потенциально пригодные для сельскохозяйственного производства; L_4 - земли, потенциально пригодные для пастбищ; L_5 - лесные угодья; L_6 - земли под водными ресурсами; L_7 - земли урбанизированных территорий; L_8 - деградированные земли; L_9 - заповедники и охраняемые территории.

Выходными параметрами модели являются изменения во времени составляющих земельного фонда региона, т.е. $\alpha_i(t), t \in [t_0, T]$ и соотношений между ними. Эти изменения регламентируются в строго очерченных рамках:

- уменьшение площади пашни зависит от темпов развития общественного производства и прироста населения;
- трансформация потенциально пригодных земель в пашню или пастбища возможна только при наличии инвестиций;
- стоимость вновь осваиваемых земель вырастает по мере уменьшения фонда земель, пригодных для освоения под пашню;
- изменение площадей лесных угодий зависят от потребности региона в древесине и инвестиций в лесовосстановительные мероприятия;
- площади земель под водными объектами (пруды, водоемы, водохранилища) определяются потребностями в воде промышленности, сельскохозяйственного производства и населения;
- характер и степень деградации почв (снижение плодородия, загрязнение и т.п.) определяется комплексом антропогенных воздействий всех уровней (глобальных, региональных, местных).

Математическое описание модели, при условии постоянства общего земельного

фонда - $\left(\sum_{i=1}^9 L_i = \text{const} \right)$, возможно системой дифференциальных уравнений [32,36]:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^9 \frac{dL_i}{dt} &= 0; \\ \frac{dL_2}{dt} &= \frac{J_{pn}}{W_n} - \eta_2 \cdot \frac{dL_7}{dt} - \zeta_2 \cdot \frac{J_n(t)}{W_n} - \chi_2 \cdot \frac{dL_6}{dt}; 0 \leq \eta_i, \zeta_i, \chi_i \leq 1; \\ \frac{dL_3}{dt} &= -\frac{J_{p3}}{W_A} + \alpha_3 \cdot \left(\frac{Q_g}{Q_n} + n \right) - \zeta_3 \cdot \frac{J_n(t)}{W_n} - \chi_3 \cdot \frac{dL_6}{dt}; \\ \frac{dL_4}{dt} &= -\frac{J_{pn}}{W_n} + \alpha_4 \cdot \left(\frac{Q_g}{Q_n} + n \right) - \zeta_4 \cdot \frac{J_n(t)}{W_n} - \chi_4 \cdot \frac{dL_6}{dt}; \\ \frac{dL_5}{dt} &= -\frac{J_n(t-\tau)}{W_n} - \left(\frac{Q_g}{Q_n} - 6 \cdot n \right); \\ \frac{dL_6}{dt} &= F(J, \gamma_B, E); \quad \sum_{i=2}^4 \chi_i \leq 1; \\ \frac{dL_7}{dt} &= \max \left\{ 0, \frac{P \cdot L_y - L_7}{T_y} \right\}; \\ \frac{dL_8}{dt} &= \frac{L_1}{T_3 \cdot M_\gamma} - \frac{J_7}{C_3}; \\ \frac{dL_9}{dt} &= 0; \quad \sum_{i=2}^4 \zeta_i \leq 1, \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

где J_{pn} - инвестиции в земли животноводческого сектора; W_n - удельная стоимость освоения пастбищ; $J_n(t)$ - текущие инвестиции в лесные угодья; W_n - стоимость восстановления 1 га лесных угодий; J_{p3} - инвестиции на освоение новых земель; W_A - удельная стоимость освоения новых земель; Q_g и Q_σ - соответственно, объем добываемой древесины и объем древесины на 1 га лесных угодий; P - потери площадей лесных угодий (затопление, пожары, экологические бедствия); $J_n(t-\tau)$ - инвестиции в лесопосадки; σ - коэффициент потерь "делового" леса; η, ζ, χ - коэффициенты зональной коррекции; F - кусочно-постоянная табличная функция; M_γ - нелинейная табличная функция; J - индустриальный региональный продукт; γ_B - региональный с.-х. продукт; E - энергосамообеспечиваемость региона; P - население региона; L_y - нормативная площадь (урбанизированная, сельскохозяйственная и заповедно - охраняемая) на 1 человека; T_y - временной экологический параметр (время регенерации почвы); T_3 - среднее время жизни почвы; J_3 и J_C - соответственно, инвестиции в охрану почв и удельная стоимость почвозащитных мероприятий.

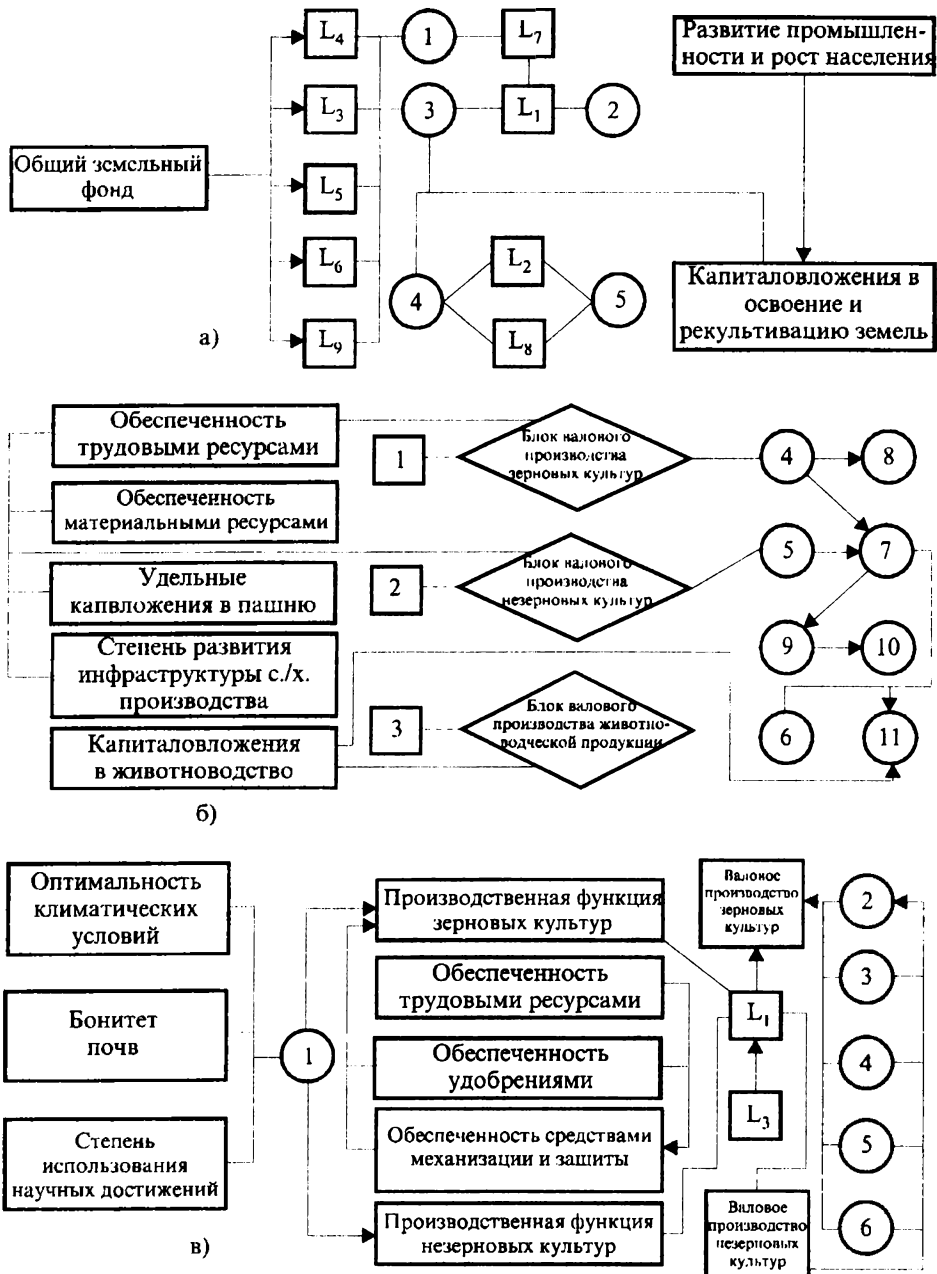


Рис.2.7 Составные блок-модели проблемно-ориентированной модели “Регион”:
а - землепользования; б - сельскохозяйственного производства; в - земледелия;

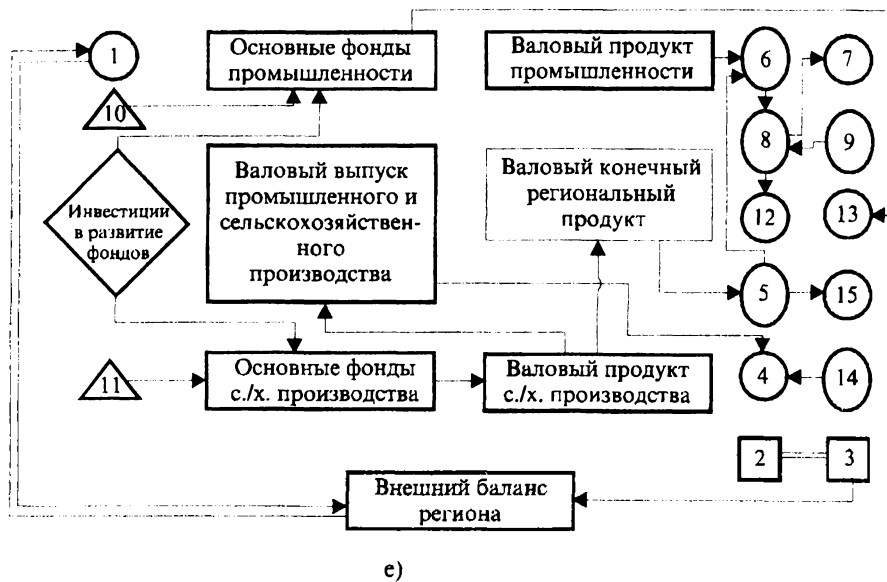
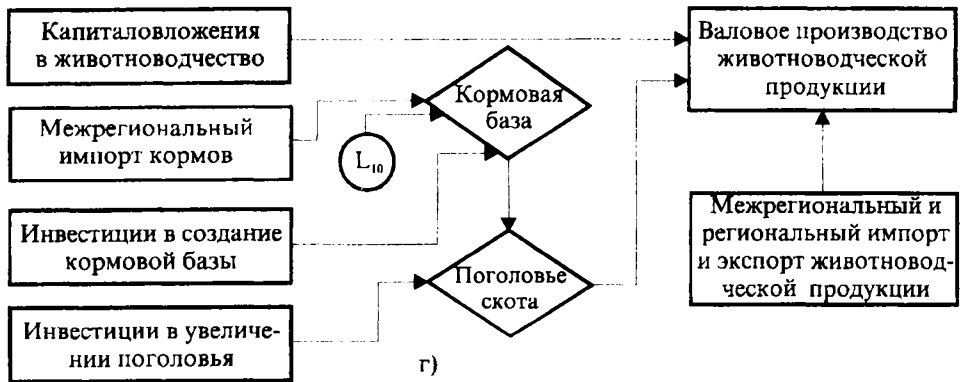


Рис.2.7 (продолжение) Составные блок-модели проблемно-ориентированной модел
"Регион": г - животноводства; д - населения; е - экономики.

Модель сельскохозяйственного производства (б) обеспечивает знание динамики изменения во времени производства региональной сельскохозяйственной продукции, т.е. $\bar{A}(t, T) \in (t, T)$ на территории $\bar{L}_A(t) \in \bar{L}$. Эта модель, фактически, формирует модель землепользования (а) и определяет функционирование моделей земледелия (в) и животноводства (г).

В качестве базисных параметров модели взяты: обеспеченность трудовыми и материальными ресурсами, удельные капиталовложения в пашню и животноводство, степень развития инфраструктуры. В целевой функции оперирование осуществляется по валовому производству зерновых, незерновых культур и животноводческой продукции. Выходными параметрами являются: производство продукции по категориям (4 - зерновые, 5 - незерновые культуры и 6 - продукция животноводства), общее предложение региональной сельхозпродукции (7), объемы семенных фондов и кормов (8 и 11), валовое предложение сельхозпродукции населению региона (9) и, соответственно, товарное предложение (10).

Модель земледелия (в) базируется на производстве продукции двух агрегированных типов - зерновых и незерновых культур. При этом, *входные параметры* - это максимальная урожайность (1) и факторы, влияющие на нее (климатические и почвенные условия, обеспеченность рабочей силой, удобрениями, средствами механизации и защиты растений и почв, степень использования научных достижений, последствия антропогенных воздействий), *промежуточные* - производственные функции культур, а *выходные* - валовое производство и производство по целевому назначению (2 - общие потери продукции, 3 - продукты питания, 4 - семенной фонд, 5 - сырье для промышленности и 6 - корм для животных).

Производственная функция зерновых культур определена следующим образом -

$$Y_{\text{зер.}} = Y_{\text{зер.}}^{\max} - \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot (Y_{\text{зер.}}^{\max} - Y_e) \cdot \exp\left(-\frac{\Theta \cdot x_1}{\alpha_2 \cdot (Y_{\text{зер.}}^{\max} - Y_e)}\right), \quad (2.3)$$

где x_1 - количество удобрений и других веществ, вносимых на 1 га; Θ - коэффициент почвенно-климатических условий; α_1 - функция влияния отношения предложения рабочей силы к ее спросу; α_2 - функция степени эксплуатации почв; $Y_{\text{зер.}}^{\max}$ и Y_e - соответственно, максимально возможная урожайность и урожайность по естественному плодородию.

Аналогичный вид имеет и производственная функция для незерновых культур.

Модель животноводства (г) базируется на состоянии поголовья, кормовой базы, инвестиций в ее создание и описывается следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_2}{dt} &= \frac{J_{ra}^1}{G_T} - \frac{3}{B}; & N_1 &= \frac{K_0}{H}; \\ 3 &= X \cdot N_1 \cdot B; \\ N &= \min\{N_1, N_2\}; \\ J_{ж} &= J_k + J_{ж}^1 + J_p + J_{ж}^2 \end{aligned} \right\}, \quad (2.4)$$

где N_2 - возможное поголовье при использовании всех средств на его рост; $J_{ж}^1$ - вложения в рост поголовья; G_T - стоимость увеличения стада на 1 голову; 3 - производство мяса; B - средний вес животного; N_1 - действительное поголовье; X - корректирующий коэффициент; K_0 - количество имеющихся в регионе кормов; H - потребное количество корма на 1 голову; J_k - инвестиции на создание кормовой базы; $J_{ж}^2$ - затраты на содержание имеющегося поголовья; J_p - затраты на создание кормовой базы для имеющегося поголовья.

Модель "Население" (д) базируется на общей численности населения, его миграции с учетом рождаемости и смертности, медико-социальных и материально - экологических условий жизни и может быть описана следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} T_i &= q' \cdot A_i \cdot V_i + q' \cdot B_i \cdot \bar{V}_i + q' \cdot W_i + q' \cdot P_i; \\ \Delta T_i(t) &= \bar{T}_i(t) - T_i^0(t); \\ n_{ij} &= \max\left\{\beta(\Delta T_j(t) - \Delta T_i(t), \bar{q}(\Phi_j - \Phi_i))\right\}; \\ \alpha_i^S(t) &= \sum_{k \in J} \sum_{j \in J} \lambda^S(J, k) \cdot v_j^k(t); \\ \frac{dG_i}{dt} &= (R_{Gi} - M_{Gi}) \cdot G_i, \quad i = \overline{1, m}, \end{aligned} \right\}, \quad (2.5)$$

где T_i - оптимальное количество трудовых ресурсов в регионе i ; q' - вектор удельных затрат труда по отраслям; $\Delta T_i(t)$ - дефицит трудовых ресурсов; Φ_i, Φ_j - векторы благосостояния; $\bar{q}$ - неотрицательная функция, характеризующая влияние разности благосостояния на интенсивность миграции; n_{ij} - суммарная миграция из региона в регион; $v_j^k(t)$ - вектор взаимных объемов перевозок; $\alpha_i^S(t)$ - вектор ограничений по взаимным перевозкам; G_i - общая численность населения; R_{Gi} и M_{Gi} - соответственно, рождаемость и смертность в регионе.

Рождаемость и смертность зависят от обеспеченности людей качественной пищей, загрязненности Среды, газового состава атмосферы, материального уровня жизни, вообще, энергообеспеченности и плотности населения; описываются следующими соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} R_{Gi} &= (1 - h_{Gi}) \cdot k_{Gi} \cdot G_i \cdot H_{GVi} \cdot H_{GGi} \cdot H_{GMSi} \cdot H_{GGi} \cdot H_{GZi}; \\ M_{Gi} &= \mu_{Gi} \cdot H_{MSi} \cdot H_{Gi} \cdot H_{FGi} \cdot H_{Zi} \cdot H_{Oi} \cdot H_{Ci} \cdot G_i + \tau_{G0i} \cdot \tau_{Gci} \cdot G_i \cdot W_{Gi} \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

где h_{Gi} - коэффициент, отражающий качество потребляемой населением пищи; при идеальном уровне качества $h_{Gi}=0$; k_{Gi} и μ_{Gi} - соответственно, постоянные составляющие процессов рождаемости и смертности; τ_{G0i} и τ_{Gci} - показатели зависимости смертности от качества окружающей Среды (концентрация O_2 и CO_2); W_{Gi} - показатель степени влияния на смертность физиологических особенностей Среды обитания с учетом плотности населения; $H_{GVi}(H_{FRi})$, $H_{G0i}(H_{Oi})$, $H_{Gci}(H_{Ci})$, $H_{GMSi}(H_{MSi})$, $H_{GGi}(H_{Gi})$, и $H_{GZi}(H_{Zi})$ - функции влияния на рождаемость (смертность) факторов окружающей Среды, соответственно, - обеспеченности пищей, концентраций в атмосфере O_2 и CO_2 , материального уровня, плотности населения и загрязненности Среды.

При этом, функции H_{Oi} и H_{Gi} являются аппроксимирующими для медико-биологических зависимостей смертности от газового состава атмосферы, являющейся следствием заболеваний.

В соответствии с исследованиями [32], рождаемость и смертность можно описать законом Ивлева, т.е.

$$\left. \begin{aligned} H_{GVi} &= 1 - \exp(-V_{Gi}), \\ H_{FRi} &= \rho'_{Gi} + \frac{\rho''_{Gi}}{F_{RGi}}, \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

где V_{Gi} - оптимальное количество пищи, определяемое как сумма составляющих пищевого спектра (животного и растительного происхождения); F_{RGi} - нормированная обеспеченность пищей; ρ'_{Gi} и ρ''_{Gi} - соответственно, постоянная уровня и скорости возрастания смертности.

Аналогично описывается зависимость рождаемости и смертности от материального уровня (закон Форрестера) и от плотности населения (закон Ивлева). Однако, если количество пищи определяет для H_{GVi} и H_{FRi} функцию насыщения, то материальный уровень и плотность населения - возрастающую и убывающую функции.

Наиболее важным является описание зависимости H_{GVi} и H_{FRi} от состояния Среды обитания человека. Соответственно, имеем систему зависимостей (2.8), в которой - ℓ'_{Gi} , μ'_{Gi} , $f'_{\mu Gi}$ - константы, характеризующие определенный уровень расчетных параметров (факторов окружающей Среды), а ℓ''_{Gi} , μ''_{Gi} , $f''_{\mu Gi}$ - скорость перехода прогнозируемых величин от расчетного до некоторого, характеризуемого заданной константой уровня, O , C_i и O_{Gi} , $\bar{C}_{Gi}$ - загрязненность биосферы, выраженная через начальные и конечные концентрации O_2 и CO_2 :

$$\left. \begin{aligned} H_{GZi} &= \ell'_{Gi} \cdot \exp(-\ell''_{Gi} \cdot Z_{RGi}); & H_{\mu Zi} &= n'_{\mu Gi} + n_{\mu Gi} \cdot Z_{RGi}; \\ \tau_{G Ci} &= \begin{cases} \tau'_{G Ci} + \tau''_{G Ci} \cdot (C_i - \bar{C}_{Gi}), & C_i > \bar{C}_{Gi}; \\ \tau'_{G Ci} & , \quad 0 \leq C_i \leq \bar{C}_{Gi}; \end{cases} \\ H_{\mu Oi} &= f'_{\mu Gi} + \frac{f''_{\mu Gi}}{O}; & H_{\mu Ci} &= \exp(k_{Gi} \cdot C_i); \\ H_{COi} &= 1 - \exp(-k_{GOi} \cdot O); & H_{GCi} &= \exp(-k_{\mu Gi} \cdot C_i); \\ \tau_{GOi} &= \begin{cases} \tau'_{GOi}, & O > \bar{O}_{Gi}; \\ \tau''_{GOi} - (\tau''_{GOi} - \tau'_{GOi}) \cdot \frac{O}{\bar{O}_{Gi}}, & 0 \leq O \leq \bar{O}_{Gi}; \end{cases} \\ Z_{RGi} &= \frac{Z_i(t)}{Z_i(t_0)} \end{aligned} \right\}. \quad (2.8)$$

Модель "Экономика" (е) базируется на валовом производстве зерновых культур (1), базовых инвестициях в сельское хозяйство (9), инвестициях в развитие основных фондов промышленности и сельскохозяйственного производства, общем объеме инвестиций (5), валовом региональном продукте, спросе на промышленную продукцию со стороны сельского хозяйства (14), объемах регионального продукта на душу населения (2), объеме затрат на интенсификацию сельскохозяйственного производства (4). Кроме того, учтены амортизация основных фондов (11), дополнительные инвестиции в сельское хозяйство (16), полный объем инвестиций в производство (8), инвестиции на интенсификацию сельскохозяйственного производства (12), рекультивацию и освоение земель (13) и региональное промышленное производство (15). Модель может быть описана следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} V(t) &= A \cdot v(t) + B \cdot \bar{V}(t) + p(t) + W(t); \\ 0 \leq v(t) < V(t); & \quad p_0(t) \leq p(t); \\ \bar{W}(t) &= \varpi(t) + \vartheta^n(t) - \vartheta^e(t); \\ W(t) \geq 0; & \quad \vartheta^n(t) \geq 0; \quad \vartheta^e(t) \geq 0; \\ M \cdot \bar{W}(t) &= M \cdot (\varpi(t) + \vartheta^n(t) - \vartheta^e(t)) = 0. \end{aligned} \right\}, \quad (2.9)$$

где v - вектор выпуска продукции по основным отраслям; $\bar{V}$ - вектор мощности отраслей; A - матрица удельных фондообразующих затрат; B - вектор конечного непроизводственного потребления; p - вектор расхода продукции в единицу времени на создание резервов; ϖ - вектор объема резервных запасов; M - нулевая матрица.

Следует отметить, что модель "Воспроизводство природных ресурсов" (см. рис.2.6) является одной из достаточно сложных моделей эколого-экономической системы, т.к. динамика ресурсов определяется большой совокупностью нелинейных процессов - естественным восстановлением, взаимовлиянием, диффузией и миграцией, спон-

танно-плановым использованием ресурсов в экономике и др.

Отсюда следует, что модель должна определяться функцией начального состояния ресурсов $R(t_0)$; описывается уравнением:

$$\dot{R}(t) = Q(R(t) - \bar{R}) - [C \cdot V(t) + D \cdot \bar{V}(t) + G \cdot p(t)] + r^u(t) - r^e(t), \quad (2.10)$$

где C, D, G - соответственно, матрицы удельных ресурсных затрат на единицу выпуска + прироста мощностей и потребления; $r^u(t); r^e(t)$ - функции перераспределения ресурсов; $\bar{R}$ - состояние ресурсов на расчетный период t ; Q - квадратная матрица, диагональные элементы которой определяют пропорциональность естественного восстановления, а недиагональные - степень взаимного влияния ресурсов.

Основные ограничения по модели $-R(t) \geq 0$; $r^e(t) \geq 0$; $r^u(t) \geq 0$.

Модель загрязнения окружающей Среды должна анализироваться в трех сферах загрязнения - воздух, вода и почва, в пределах которых характерно воздействие антропогена на растительную биоту. Но так как современная технология обуславливает лишь перенос антропогенной нагрузки с атмосферы на воду, поэтому, в первом варианте региональной модели рассмотрим лишь один компонент - средний загрязнитель.

Изменение концентрации загрязнения (ξ), генерируемого i -ым регионом, происходит со скоростью, определяемой интенсивностью производства загрязнений и их разложения Z_{VG}^i , т.е.

$$\xi = \frac{dZ_i}{dt} = \bar{Z}_{VG}^i - Z_{TV}^i, \quad (2.11)$$

где $\bar{Z}_{VG}^i = k_Z^i \cdot G_i \cdot Z_{VG}^i$; $Z_{VG}^i = Z_{OGi}^{\max} \cdot [1 - \exp(-\bar{G}_{ZGi} \cdot V_{RGi})]$;

$$Z_{TV}^i = Z_T^i + Z_V^i; \quad Z_{VGi}^{\max} = \frac{\bar{V}_i}{G_i}; \quad Z_T^i = \frac{Z_i}{T_3^C}; \quad Z_V^i = \frac{U_{GZ}^i \cdot V_i}{G_{ZG}^i};$$

k_Z^i - коэффициент, характеризующий среднюю плотность населения; G_i - фонды в расчете на душу населения, направляемые на охрану окружающей Среды в регионе; V_i и G_i - множители, определяющие скорость генерации антропогенных воздействий; G_{Zgi} - стоимость очистки единицы загрязнений; Z_T^i - естественная скорость разложения загрязнителей; Z_i - концентрация загрязнений; T_3^i - время разложения загрязнителей; U_{GZ}^i - доля фондов, направляемых на интенсификацию процесса естественной ассимиляции загрязнителей (очистку).

Показатель степени лимитирования роста биомассы загрязнениями (d) и доля загрязнений, приносимых в почвы региона агромелиоративными мероприятиями (Z), принимаются осредненными по региону.

Наиболее сложной и наименее разработанной является эколого-мониторинговая модель воздействия сельскохозяйственного производства, то же использования водно-земельных ресурсов, на природную Среду.

Определяющей в этой модели является базисная модель динамики и состояния наземной экосистемы, а также используемая система прогнозирования изменений природной Среды и мониторинга.

Следует отметить, что не менее важным является вопрос разделения прогнозируемых изменений природной Среды на фоне дифференциации воздействий от мелиоративных мероприятий и от других отраслей сельскохозяйственного производства (животноводство, подсобные цеха, предприятия местной индустрии и т.д.).

Используя тренд-анализ, по статистическим полям многомерных связей между экономическими и социально-экологическими параметрами, легко отыскать интерполяционный многочлен типа

$$X_i = C_1 + \Delta q_{01} + C_2 \cdot \Delta H + C_3, \quad (2.12)$$

где X_i - относительная величина прогнозируемого изменения от воздействия мелиоративных мероприятий; C_i - коэффициенты регрессии; Δq_{01} - относительная составляющая прогнозируемой величины; ΔH - величина аномалий основного фона, $\Delta H = \frac{H_{cx} - H_m}{\Delta F}$; H_{cx} и H_m - соответственно, суммарные капвложения в сельское хозяйство и мелиорацию, млрд. \$; ΔF - расчетный прирост площадей сельхозугодий, тыс.га.

На рис.2.8 приведен график учета влияния мелиорации на уровень структурного коэффициента демографической динамики и миграции (Δq_{01}), включающий в себя плотность населения и процентное соотношение возрастных групп в сельской местности.

Следует отметить, что определить связь между уровнем структурного коэффициента демографической динамики и миграции с величиной аномалий основного фона (мелиоративного воздействия) за 1991-1997 годы с помощью тренд - анализа невозможно. Причиной этого является стохастичность экономических процессов, как с позиций капвложений в водохозяйственное строительство, так и эксплуатационных затрат.

В данном случае целесообразно использование методов, базирующихся на теории хаоса. Особенностью всех этих методов является определение функции правдоподобия связей и зависимостей.

В общем виде функция правдоподобия представима в следующем виде -

$$P = P_u[f(t_i, \varphi)] \cdot P_c[F(C_i, \varphi)], \quad (2.13)$$

где $f(t_i, \varphi)$ - функция сдвига последствий для нецензурированных, а $F(C_i, \varphi)$ - соответственно цензурированных параметров; C_i - параметр временного ускорения; φ - параметр одновременности воздействия различных групп факторов; t_i - параметр пропорциональных интенсивностей (шансов).

Проведенные расчеты показывают достоверность выявленной линейной положительной связи со степенью правдоподобия до 0,8.

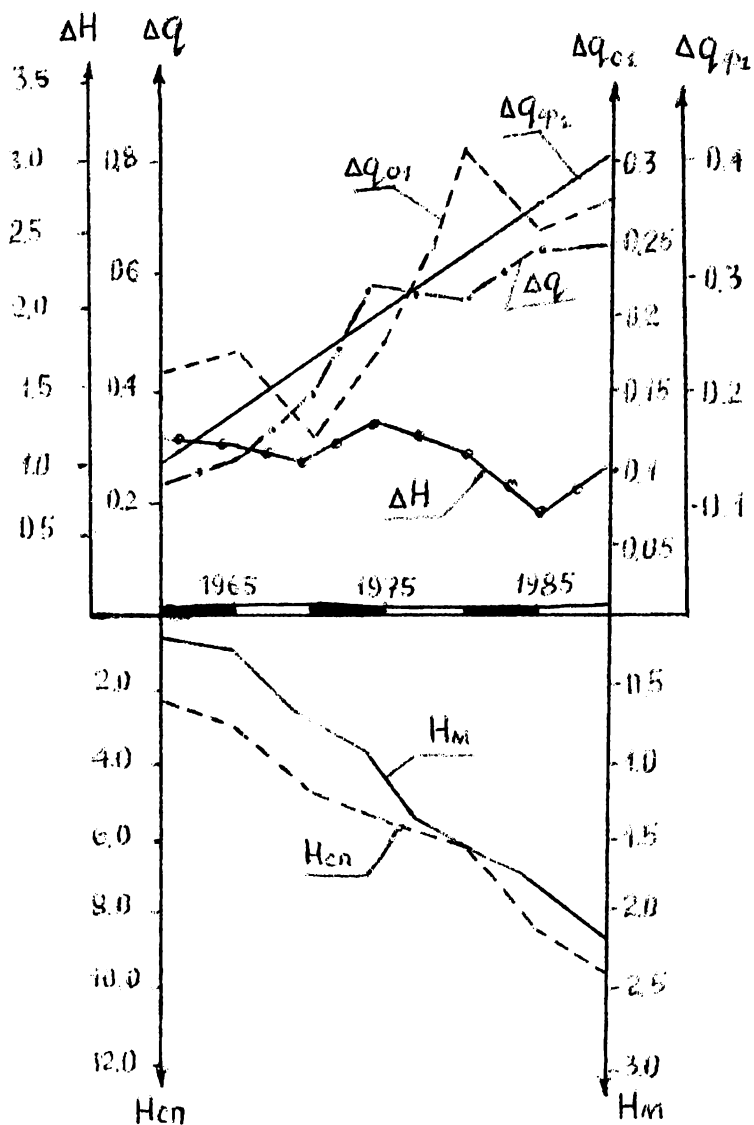


Рис. 2.8 Расчетный график влияния мелиорации на уровень структурного коэффициента демографической динамики и миграции (обозначения смотри по тексту).

Анализ графических зависимостей позволяет отметить, практически, линейную положительную связь между уровнем структурного коэффициента демографической динамики и миграции (Δq_{01}) и величиной аномалий основного фона (мелиоративного воздействия) (ΔH), однако, коэффициент корреляции по расчетным периодам изменяется в широких пределах - 0,63...0,92.