

4 ПРОБЛЕМЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МЕЛИОРАТИВНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

В результате длительного аккумулирующего воздействия человека на почву, а через нее на всю природную Среду, сформировались антропогенные экологические системы. Наиболее крупными из них самыми распространенными являются агроэкологические системы, образованные первичным воздействием хозяйственной деятельности человека с нарушением экологического равновесия природного комплекса.

При этом, как отмечено Скоропановым С.Г. [54], любое мелиоративное мероприятие с экологической точки зрения есть не что иное, как "загрязнение" почвы, так как изменяется ее химический состав и большинство водно-физических и химико-биологических свойств.

Несомненно, роль мелиорации положительна в повышении плодородия, постоянном росте производительной силы земли, в формировании местного влагооборота и облагораживании ландшафта. Однако, истощение и загрязнение водных ресурсов, обеднение флоры и фауны и другие негативные процессы являются нежелательными и зачастую необратимыми.

На рис.4.1 показаны основные функции преобразуемых территорий (болот).

Следует отметить, что распространенные ныне осушительно - увлажнительные мелиорации связаны с изменением уровня подземных вод (УПВ) на объекте и перераспределением ресурсов влаги в регионе. Известно, что первопричинами большинства изменений в природной Среде являются - изменение уровня режима грунтовых и напорных подземных вод, режима поверхностного стока, смена растительности, изменение гидравлического режима водотоков, аккумуляция водных масс и др.

Отсюда, любые существенные методы преобразований природной Среды и естественного ландшафта, с точки зрения рационального использования водно-земельных и других природных ресурсов, требуют детального анализа взаимодействия преобразующего комплекса с окружающей Средой, а также определения устойчивости природных образований и пределов их саморегулирования. Поэтому, в научном аспекте, мелиоративные системы должны относиться к большим и сложным системам, включающим множество элементов самой природы (биоприродной, эргономической и технологической ее составляющих).

Анализ системы "Преобразующий комплекс - природная Среда" (ПК-ПС) (глава 2) показал, что в зависимости от характера, степени нарушения и способности саморегулирования природного комплекса в данный период, состояние системы в момент (t_0, t_1) можно описать набором величин $-Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_i, \dots, Y_n\}$, где i - индексы составляющих векторов.

Для таких систем взаимодействие является истинной конечной причиной изменений в природной Среде. При этом, взаимодействие различных факторов в системе приобретает конкретные формы движения материи, придавая природной Среде и ландшафт-

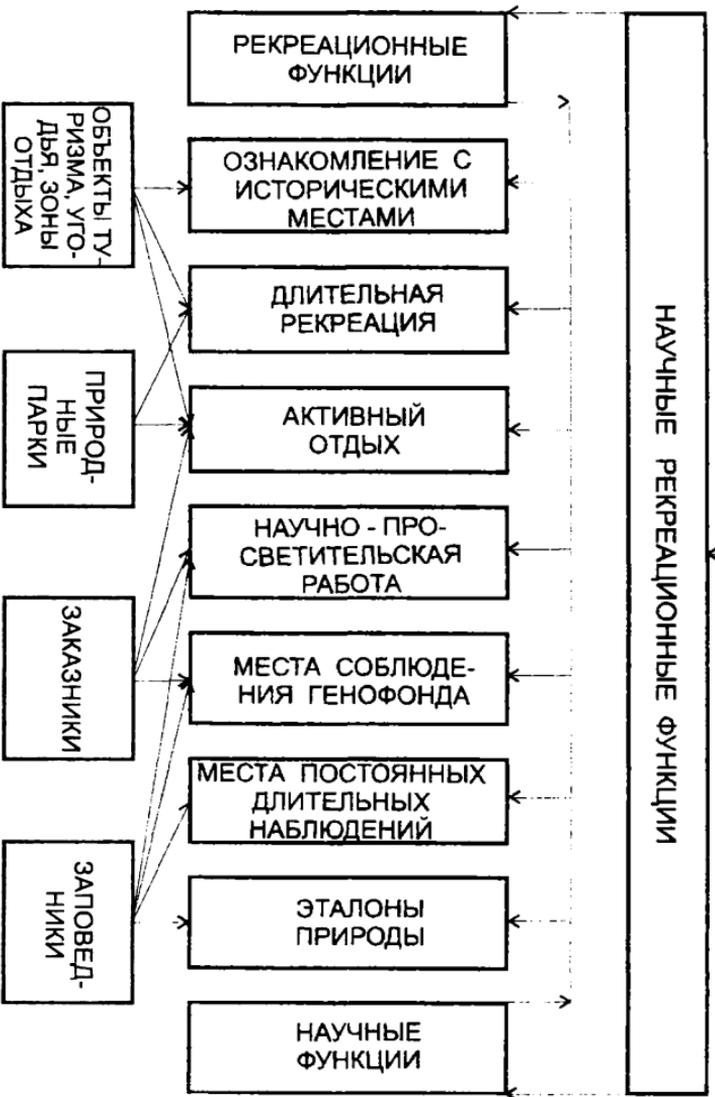
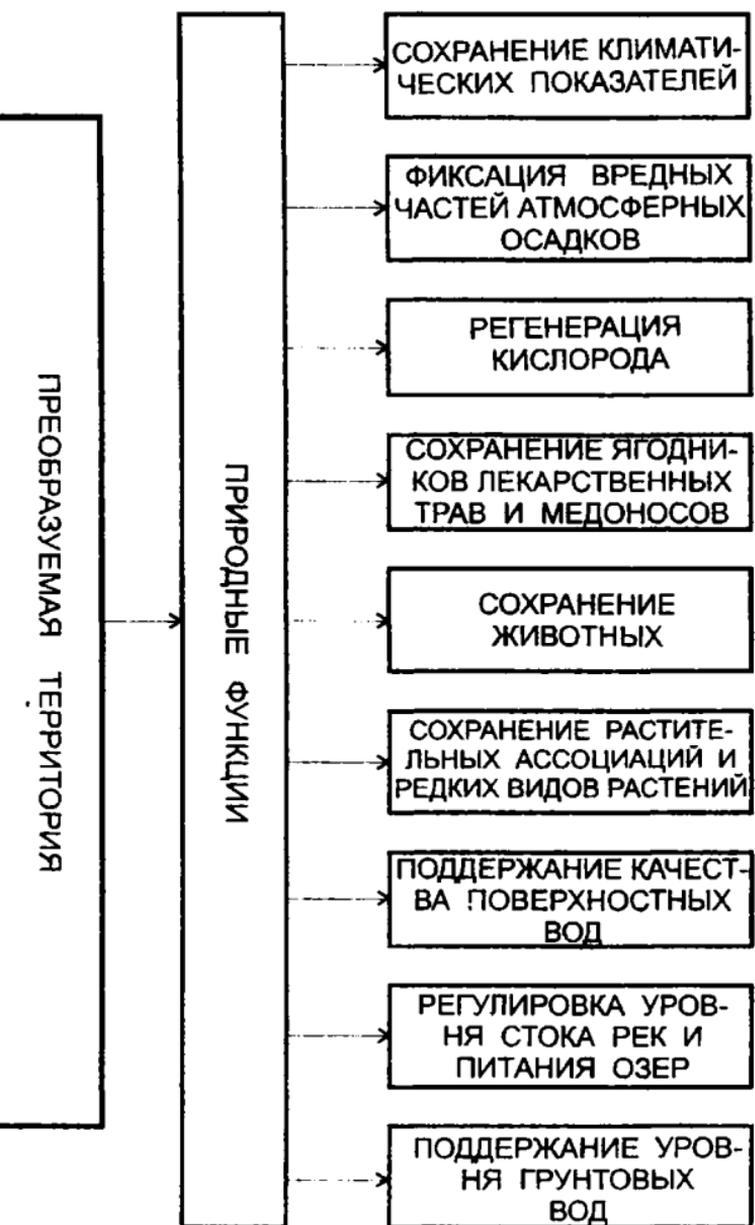


Рис. 4.1 Основные функции преобразуемых территорий (болот).

там новое качество, меняя их структуру, состояние и, тем самым, вызывая значительные изменения соотношений массы и энергии.



Схематизация главных компонент эволюции геосистемы высшего ранга, образуемой оболочкой, включающей гидросферу, литосферу и органический мир, представлена в табличной форме (рис.4.2).

Главнейшие аспекты в описании эволюционного изменения геосистемы высшего ранга лежат в плоскости:

- учета основных закономерностей формирования природно - территориальных комплексов и обуславливающих их факторов;
- корректной оценки ландшафтных ресурсов отдельных регионов и природно-территориальных комплексов;
- учета геохимической миграции элементов в ландшафтах и образования геохимических типов ландшафтов и геоэкосистем;
- количественной и качественной оценки эволюции ландшафтов под воздействием антропогенных факторов;
- научного обоснования докризисных характеристик техногенных ландшафтов по геохимическим ареалам и аномалиям.

Типы гипергенных процессов		Типы химических реакций	
Техногенез Процессы хозяйственной деятельности	Биогенез Процессы жизнедеятельности живых организмов	Гидролиз (химическое разложение)	Окисление - восстановление
Гидрогенез Изменение при воздействии воды и пород	Механогенез Отложения механическими факторами		
Голагенез Образование голей в почвогрунтах	Катагенез Изменение на границах пород	Растворение и выщелачивание	Карбонизация и декарбонизация
Диагенез Изменение осадков	Сингенез Накопление осадков	Силитификация и десилитификация	Комплексообразование
Педогенез Почвообразование	Хемогенез Выветривание		
Геотехнические структуры и рельеф	Петрохимические типы и фракции пород поверхности зоны гипергенеза		

Рис. 4.2 Главные компоненты эволюции геосистемы высшего ранга.

Если рассмотреть не мгновенные переходы состояний системы, а последовательные их смены, то векторы оказываются функциями времени [10] и описываются как

$$Y(t) = \{Y_1(t), \dots, Y_i(t), \dots, Y_n(t)\}. \quad (4.1)$$

Процесс функционирования системы "ПК-ПС", в целом, может быть описан некоторой фазовой траекторией, а моменту t_0 соответствует начальное состояние системы Y_0 .

При этом, если фазовую траекторию процесса мелиорации объекта можно описать вектор-функцией

$$Y'(t) = \{Y'_1(t), \dots, Y'_i(t), \dots, Y'_n(t)\}, \quad (4.2)$$

а процесс развития природной Среды ее аналогом -

$$Y^2(t) = \{Y^2_1(t), \dots, Y^2_i(t), \dots, Y^2_{n_2}(t)\}, \quad (4.3)$$

то состояние системы "ПК-ПС" выражается через состояние подсистем

$$Y = Y'UY^2 \quad \text{и} \quad \dim Y = n_1 + n_2, \quad (4.4)$$

где Y' - вектор состояния производственной подсистемы $\dim Y' = n_1$; Y^2 - вектор состояния природной Среды $\dim Y^2 = n_2$.

Входная и выходная величины подсистемы развития природной Среды связаны отображением $F^1: X \Rightarrow Y'$, имеющим общий вид $Y' = W_1 \cdot X$, и, соответственно, подсистемы сельскохозяйственного производства $F^2: X \Rightarrow Y^2$, с общим видом $Y^2 = W_2 \cdot X$, где W_1 и W_2 - линейные операторы.

Аналогично, множество состояний процесса мелиорации связано с множеством управляющих воздействий и отображением $F^0: U \Rightarrow X$, имеющим вид $X = U_0 \cdot U$.

Тогда, качество процесса управления системой оценивается отображением $F: YU \Rightarrow R$, $R \leq E_1$, где E_1 - числовая прямая; задачей управления является отыскание таких действий и состояний $(\bar{U}(t), \bar{Y}(t))$, чтобы обеспечить выполнение условия

$$A[U(t), Y(t)] \cdot E[\bar{U}(t), \bar{Y}(t)] = F[\bar{U}(t), \bar{Y}(t)]; BF[U(t), Y(t)], \quad (4.5)$$

где B - отношение линейной упорядоченности и $U \leq U^f$, $\bar{Y} \leq Y^f$; U^f - множество допустимых управлений; Y^f - множество допустимых состояний.

Необходимо отметить, что структурная сложность и неоднородность природных систем позволяют создать только формализованные методы прогноза и оценки их состояний, ибо в принципе любое изменение абиотических параметров вызывает изменения всей системы.

Степень допустимости (недопустимости) изменений состояния природных экосистем имеет всегда внеэкономическую компоненту, связанную с ее уникальностью, т.е. экономическая оценка изменений состояния природных систем должна проводиться на

основе теории полезности, включающей как "материально осязаемые", так и "неоссязаемые полезности". Но, в целом, экономическая оценка изменения состояний природных систем возможна только в границах допустимости [9].

Отсюда следует, что создание эколого - технически - совершенных мелиоративных систем связано с использованием количественных методов оценки природных факторов при реализации формализованной модели Среды и модели взаимодействия Среды с запроектированной системой. При этом, в основу моделей кладутся следующие критерии устойчивости гео- и экосистем: мера допустимого изъятия вещества и энергии из системы; мера допустимого загрязнения в регионе; мера техногенного (инженерного) насыщения; мера эквивалентного возврата вещества и энергии.

На рис.4.3 приведена понятийно-логическая модель техноприродного объекта (гео- и экосистемы), базирующаяся на принципе системного анализа.

При оптимизации процесса выбора стратегии мелиоративного и хозяйственного освоения болот и заболоченных земель должны использоваться и технико-экономические (K_1), экологические (K_2), социально-эстетические (K_3) и организационно-технические (K_4) критерии.

Формирование и оптимизация функционала цели управления агрообъектами и регионом (\bar{K}) осуществимы на базе теории геосистем; для данного случая - на базе пространственно-ненулевой (вещественно-энергетически - ненулевой) части геосреды с операционно-фиксированными пространственно-временными границами, которой поставлена в соответствие геосистемная модель -

$$S = (Z, \Sigma, F, E, \Lambda), \quad (4.6)$$

где S - упорядоченный набор множеств; Z - множество целей (проектов водохозяйственного и мелиоративного строительства); Σ - структура; F - функционирование (в физическом времени); E - эволюция (в геологическом времени); Λ - эмерджентность геосистемы.

Пространственные границы геосистемы (S) определяются целью (Z) и фиксируются по границе потенциально возможного распространения режима - формирующих регионально-геологических, зонально-климатических и техногенных факторов. При этом, необходим анализ границ "на замкнутость" по всем факторам. Временные границы могут фиксироваться от начала формирования геосистемы (в геологическом или физическом времени) до момента прекращения управления ею (в физическом времени).

В общем случае, функционал цели можно представить в виде

$$P = P^n \cdot P^m \cdot P^k, \quad (4.7)$$

где P^n - непрерывные величины, P^m - дискретные величины, P^k - качественные категории.

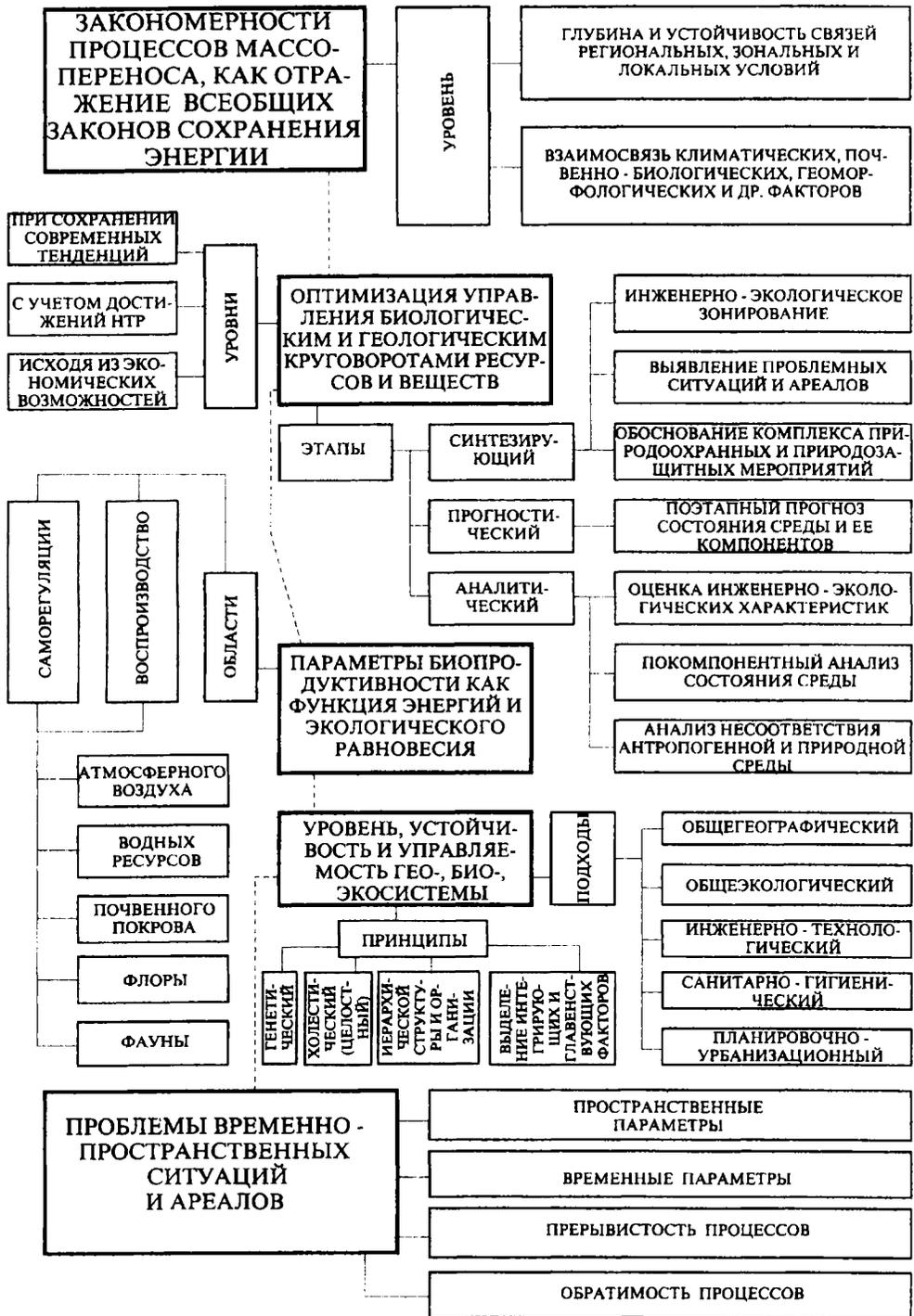


Рис.4.3 Понятийно-логическая модель техноприродного объекта.

Тогда, управление геосистемой (S), формируемой по i-ому проекту, выполняющей n инженерно-хозяйственных функций с максимальной эффективностью по всем критериям K_j , состоит в выборе стратегии из условия максимума вектора-функционала \bar{R} -

$$\max \bar{R} = \{R_i(\{K_j\})\}, \quad i=1,2,\dots,n; j=1,\dots,n.$$

В частном случае пространства P^n и критерия K_2 , стратегия управления состоит в выборе: момента начала антропогенных преобразований геосистемы (t_j^H); проекта эксплуатации геосистемы Y_i , $i = 1,2,\dots,m$; природоохранных мероприятий в границах геосистемы M_j , $j = 0, 1,\dots,n$.

Выбор осуществляется из условия минимума функционала ("степени риска")

$$R = \int_0^{t_j^H} y_i(S) \cdot P(S) \cdot dS + \int_{t_j^H}^{t_j^k} [y_i(S) + Y_{mj}(S)] \cdot ds \Rightarrow \min \cdot i, j, t_j^H, \quad (4.8)$$

где $y_i(S)$ - функция экономического ущерба при выборе проекта Y_i ; $Y_{mj}(S)$ - функция ущерба при осуществлении мероприятия M_j ; $P(S)$ - прогнозная плотность вероятности нарушения природной Среды; t_j^k - момент реализации природоохранных мероприятий.

Исходя из предположения, что устойчивость природной Среды во времени (t) можно описать поведением коэффициента равновесия $K_y(t)$ и негативные изменения природной Среды будут практически несущественны при $K_y(t) \geq 1$, величину $P(S)$ можно определить по уравнению

$$\int_0^t \left[\int_{-\infty}^{a(t)} f\left(\frac{x(t)=y}{x(s)=a(s)}\right) \cdot dy \right] \cdot P(S) \cdot ds = \int_{-\infty}^{a(t)} f\left(\frac{x(t)=y}{x_0(0)}\right) \cdot dy, \quad (4.9)$$

где $x(t)$ - случайный стационарный марковский процесс; $a(t)$ - расчетная "предельная" для $x(t)$ функция. Тогда вероятность $P_k(t)$, что нарушение природной Среды произойдет до t - момента, и среднее время до этого момента ($\tau_{cp.}^0$) определяются, соответственно, по зависимостям

$$P_k(t) = \int_0^t P(S) \cdot dS; \quad \tau_{cp.}^0 = \int S \cdot P(S) \cdot dS. \quad (4.10)$$

Отсюда, устойчивость природной Среды наиболее целесообразно описывать функцией экологической надежности (P_c), охватывающей три области: собственно систему (P_1), ее элементы (P_2) и процессы (P_3), т.е. $P_c = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$. При этом, если не наступает катастрофического разрушения системы, P_1 - определяет вероятность ее функционирования в пределах допустимого, P_2 - вероятность того, что основные элементы системы, в течение определенного периода, не выйдут за пределы допустимого, а P_3 - вероятность того, что технология природопользования не вызовет катастрофических изменений основных элементов системы.

Анализ единичных графиков функции экологической надежности $[P_C(t)]$, функции интенсивности нарушения элементов природной Среды $[\lambda(t)]$ и функции "резервной" надежности $[f(t)]$, определяющей длительность периода до неблагоприятных в геосистеме изменений (рис.4.4), показывает, что интенсивность нарушений элементов природной Среды, в период формирования критического уровня экологической надежности, должна определяться уровнем начальной надежности и изменчивостью во времени внутренних процессов системы и внешних факторов. Итак, необходим достоверный учет созидательных антропогенных факторов (последствий условных значений ошибок и упущений) и непредвиденных геоклиматических и георегиональных факторов. Выбор же начальной "резервной" надежности является, при этом, чисто экономической задачей, так как она определяет, в итоге, стоимость создания мелиоративно-ландшафтных экологически надежных систем.

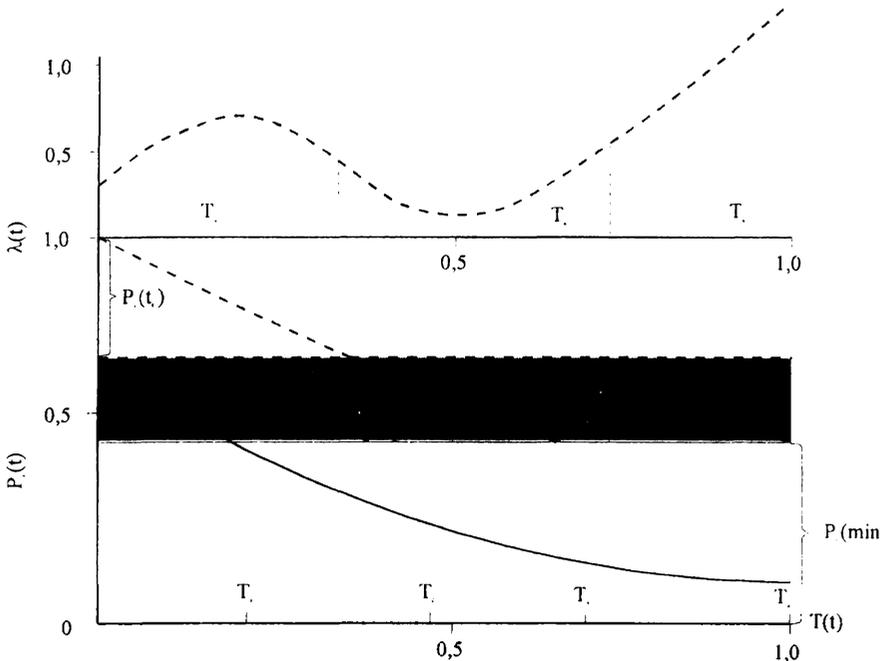


Рис.4.4 Временные графики изменения экологической надежности геосистемы $[P_C(t)]$ и интенсивности нарушений $[\lambda(t)]$: T_n - начальный период воздействия (период эксплуатации системы); T_o - период оптимального функционирования; T_k - период формирования критического уровня экологической надежности; $P_C(t)$ - экологическая надежность при начальном "резервировании"; $P_C(T_1)$ - повышение надежности при поэтапной реализации природовосстановительных и природоохранных мероприятий; P_i^{\min} - минимально допустимая экологическая надежность.

Так же очевидно, что оптимальный уровень экологической надежности можно обеспечивать на двух направлениях: начальным "резервированием"; поэтапной реализацией природоохранных и природовосстановительных мероприятий.

С эколого-социальной точки зрения, оптимальный компромисс между приведенными затратами и экологической надежностью находится при решении функции экологического ущерба вида

$$Y_i(S) = Y(a_1, a_2, \dots, a_n; b_1, b_2, \dots, b_n), \quad (4.11)$$

где a_i - параметры, определяющие состояние системы воздействий, влияющих на вероятность появления экологических изменений; b_i - детерминированные величины, определяющие конструктивно-технологические и эколого-экономические характеристики.

Прогнозирование поведения любых гео-, био- и экосистем требует выделения и анализа четырех возможных и несовместимых состояний: S_0 - нормального функционирования; S_1 - некоторой допустимой перегрузки; S_2 - потери способности к самовосстановлению; S_3 - критического состояния.

По принципу формирования возможных реальных состояний системы ее поведение можно описать функцией - $S_i = \sum_{j=1}^a \sum_{n=1}^m S_i^{f \cdot t}$, где i - состояние группы элементов типа $g = 1, 2, \dots, m$, находящихся под воздействием $t=1, 2, \dots, n$ - факторов, для которых характерно 7 прямых ($S_0 \leftrightarrow S_1$) и 3 контингентных ($S_0 \leftrightarrow S_2 \cdot S_3$) риска.

Общий закон вероятности разрушения системы или отдельных ее элементов, исходя из предельных состояний, способности к самовосстановлению и нормальному воспроизводству природных ресурсов, имеет вид

$$Q = P(T_{CP}) = \int_0^{1/\beta_2} \varphi_1(S) \cdot \left[\int_0^{\beta_1/\beta_2} \varphi_2(r) dr \right] dS, \quad (4.12)$$

где β_1/β_2 - суперпозиция функций; $\beta_1 = f(r, S)$ и $\beta_2 = \lambda(r, S)$; r - характеристика устойчивости системы к преобразованию; S - резерв экологической надежности; T_{CP} - период функционирования; P - функция экологической надежности; $\varphi_1(S)$ - плотность вероятности действующих антропогенных воздействий; $\varphi_2(r)$ - плотность вероятности критических (разрушающих) воздействий; f и γ - соответственно, функции "резервной" надежности и интенсивности нарушений.

Проведенный анализ показывает, что функция экологической надежности вполне определима номенклатурой следующих критериев (признаков-свойств): k_1 - степени обратимости и взаимодействия природных и производственных процессов; k_2 - степени пригодности и качества выполнения социально-экологических функций; k_3 - направленности и интенсивности развития основных компонент; k_4 - величины критического воздействия (нагрузки) на отдельные компоненты; k_5 - реакции на систему мероприятий по предупреждению и (или) устранению негативных последствий; k_6 - степени вос-

производства природных (биосферных) ресурсов; k_7 - степени удовлетворения общественных потребностей в качестве природной Среды; k_8 - показателя репродукционной продуктивности; k_9 - степени антропогенности (устойчивости и активности) элементов Среды; k_{10} - степени окультуренности ландшафтов; k_{11} - степени изъятия природных (биосферных) ресурсов; k_{12} - величины удельных капиталовложений; k_{13} - степени совершенства биотехнологических процессов (геохимической локально - региональной активности территории).

В матричной форме функция экологической надежности может быть записана следующим образом

$$P_S(t) = \begin{matrix} k_1 & k_2 & k_3 & k_6 & k_8 & k_{10} & k_{11} & k_{12} \\ k_2 & k_5 & & & k_8 & & k_{12} & k_{13} \\ k_3 & k_4 & k_5 & k_7 & k_9 & & k_{13} & \end{matrix} \quad (4.13)$$

Оптимальным значением экологической надежности ландшафтно - мелиоративных систем является величина вероятности степени антропоустойчивости (k_1), изменяющаяся от 0,90, для отдельных элементов, до 0,95 - для всей системы. Для большинства из обследованных нами мелиоративных объектов величина k_1 находится в пределах 0,75...0,90, а для водосборов, в целом, - 0,83...0,99.

Тогда, структурно-логическая модель взаимодействия техно - природной системы и природной Среды может быть представлена в следующем виде (рис.4.5).



Рис. 4.5 Структурно-логическая модель взаимодействия техно-природной и природной Среды.

С учетом того, что массоэнергообмен связан с гидролого - гидрогеологическими процессами, нами изучены структура и причинно-следственные связи гидролого - гидрогеологических циклов в контексте процессов мелиорации и соответствующих трансформаций земельных угодий (рис.4.6). В структурную схему причинно-следственных связей, наряду с зонами аэрации, подземных и поверхности вод, поверхностью водосбора, также включена и приземная зона с компонентами внешней Среды.

Анализ структуры и связей показывает, что состояние системы по элементам (Р) гидролого - гидрогеологического цикла зависит от взаимосвязи и наложения зон действия крупномасштабных (региональных) и мелкомасштабных (локальных) процессов, а также действия и противодействия системы управления (U).

При этом, составные элементы преобразующей системы, реализующей процесс мелиорации или трансформации земель, могут носить как природоохранный характер, так и ухудшать экологическое состояние, выполняя основное функциональное назначение.

Из вышеизложенного следует, что природа любой преобразующей системы неделима, а это требует применения в практике системного подхода (анализа). Этот подход требует не только выделения составных частей природной Среды и преобразующей системы, но и раскрытия прямых и опосредованных связей между ними с последующим их объединением, при реализации мелиоративных мероприятий, на каждом локальном объекте или регионе, в целом.

Следует отметить, что в настоящее время проектирование мелиоративных систем, в основном, базируется на использовании модулей стока расчетной обеспеченности. При этом, обосновываются соответствующими гидролого - гидрогеологическими, гидравлическими и фильтрационными расчетами бесподпорные условия работы каналов, коллекторов и дрен с интервальной (дискретной) или временной оптимизацией УГВ (почвенных влагозапасов).

Основным недостатком такого проектирования является несопряжение уровней и несоблюдение баланса расходов воды. Например, на мелиоративном объекте "Верховье р. Ясельды" фактический суммарный сток в 1,5...2,5 раза превышает проектный, а несопряжение уровней на 72% расчетного времени не соответствует оптимальному значению.

Тем более, что сегодня мелиоративные объекты, на наш взгляд, необходимо рассматривать не только как систему максимизации производства во имя человека (пища, и, в какой-то мере, вода), но и как управляемую природоулучшающую систему (с точки зрения недопущения загрязнения подземных и поверхностных вод, обеднения флоры-фауны и др.). При этом, важно иметь в виду, что мелиоративные системы являются не статическими, то есть развивающимися динамическими комплексами, с изменяемой во времени структурой.

Рис 4.6. Продолжение подрисуночной подписи: □ - зона действия крупномасштабных, ◇- тоже, мелкомасштабных (локальных) процессов; ——— - причинно-следственная связь между крупномасштабными, - - - - тоже, между крупномасштабными и локальными процессами; $F(t)$ и $E(t)$ - граничные условия и источники, внутренние для данной зоны; $F(P)$ и $E(P)$ - тоже, но зависящие от процессов в других зонах; P - состояние по элементам; U - управление; $Ис$ - испарение; O - осадки; $Ин$ - инфильтрация; Q_c - сток; Q - расход; H - уровни грунтовых вод; Z - воды в водотоках; ϵ - глубинная инфильтрация; $(\Phi - \Phi)$ - флора и фауна; I - динамика воды в болотах и мелких водоемах; 2 - работа оросительных систем; 3 - течения в поймах водоприемников (водоисточников); 4 - работа регулирующих сооружений и гидроузлов; 5 - осадки и испарение; 6 - работа скважин и водозаборов; 7 - гидравлическая связь водоносных горизонтов; 8 - боковая приточность; 9 - работа дренажных (осушительно-увлажнительных) систем.

Принципиальная схема процесса создания мелиоративного объекта на основе системного анализа приведена на рис.4.7.

Внешняя Среда (BC) нами рассматривается как совокупность двух подсистем - "Природа" (П) и "Народное хозяйство" (НХ), а мелиоративный сельскохозяйственный объект (МСО), как совокупность трех подсистем - "Мелиоративная сеть" (МС), "Мелиорируемая почва"(МП), "Сельскохозяйственные культуры" (СК).

Формирование и работа системы МСО должны определяться входными воздействиями подсистемы BC - $\xi(T)$ с оптимизацией её по выходным воздействиям $x(t)$, включающим: минимизацию затрат - капложений (K_i), эксплуатационных издержек (ЭИ) и сельскохозяйственных издержек (СХИ); максимизацию срока службы (T_c); увеличение плодородия почвы (УПП); максимизацию интенсивности выхода производимого продукта (годовых урожаев) (BC); минимизацию воздействий на природную Среду (ОП).

В качестве основных структурных элементов подсистемы мелиоративных сельскохозяйственных систем (МСХС) приняты: А - основные альтернативы; В - основные процессы; С - процессы, взаимосвязанные с основными (динамика тепла, твердого стока, минеральных и органических веществ, воздуха, фазовые переходы-- ФП. При разработке даже средне- и мелкомасштабных мелиоративных проектов и принятии любых решений по управлению природной Средой, необходим комплексный многоуровневый анализ множества различных по своей природе факторов (экономических, технологических, эколого - социальных и т.д.) При этом, нужно иметь в виду, что степень оптимальности решений при создании комплексных мелиоративных систем необходимо оценивать по суммарному критерию, учитывающему как чисто мелиоративную, так и экологическую их надежность.

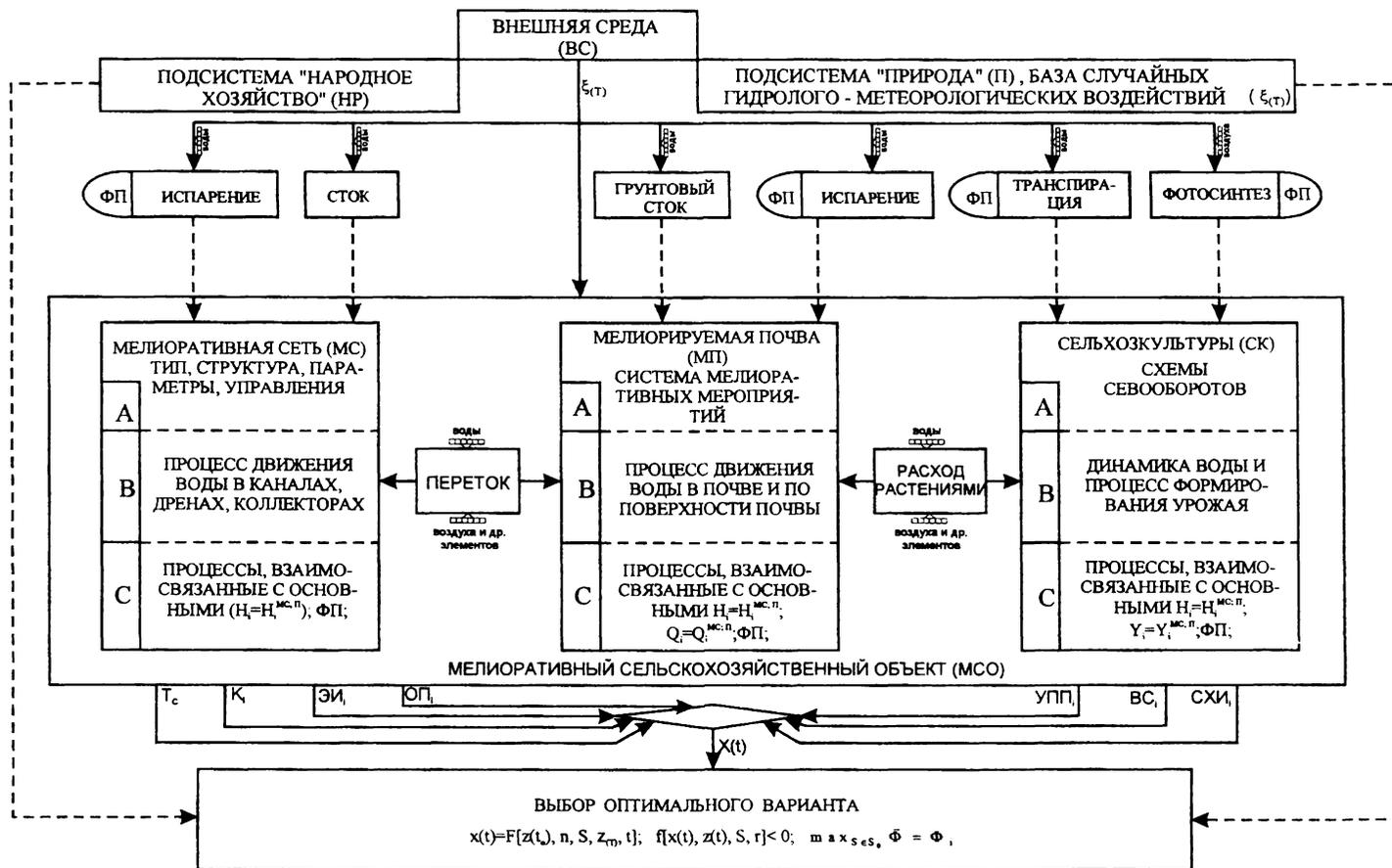


Рис. 4.7 Принципиальная схема процесса создания мелиоративного объекта (МСО) на основе системного анализа (см. продолжение подрисуночной надписи)

Рис. 4.7 Продолжение подрисуночной подписи Φ, Π, S, r -- векторы критериев, неизменяемых переменных, альтернатив и ресурсов; F - оператор функционирования системы; $f, x(t), z(t)$ - вектор - функции искусственных ограничений, выходных воздействий и состояний системы; \longrightarrow - потоки воды, воздуха, тепла, твердого стока, питательных элементов и др.; \dashrightarrow -- потоки информации; \square - функции решения.

Следует также отметить, что качество мелиоративных систем во многом зависит и от культуры сельского, лесного и охотничьего хозяйствования, помноженных на ответственность земле - природопользователей.

На рис 4.8 представлена схема учета природных факторов, как на этапе проектирования и обоснования технологических процессов (этап 1), так и на этапе хозяйственного освоения и эксплуатации водохозяйственных систем. Однако, анализ опыта создания совершенных и экологически безопасных мелиоративных систем показывает, что понятие "совершенная мелиоративная система" не является однозначным и в каждом конкретном случае оно определяется различными факторами. Исходя из общих задач и требований, такая система должна обеспечивать получение максимального количества прироста сельскохозяйственной продукции при ее минимальной удельной стоимости, быть управляемой и надежной в эксплуатации, экономичной в использовании природных, трудовых и материально-технических ресурсов, экологически безопасной, с точки зрения, взаимодействия с природной Средой. По выражению А. Сент-Экзюпери, совершенная система - это система, выполняющая свои функции без структурной и функциональной избыточности [9]. Что касается взаимодействия с окружающей Средой, она должна отражать основные критерии устойчивости гео- и экосистем, к которым относятся: мера допустимого изъятия вещества и энергии из системы; мера допустимого загрязнения региона; мера техногенного (инженерного) насыщения; мера эквивалентного возврата вещества и энергии.

Например, если исходить из основной предпосылки планетарной геоэкологии, то ни одно мероприятие или вид хозяйственной деятельности не должны нарушать принципа неизменности естественного состояния гидросферы, и, особенно, подземной, т.е. природная защищенность, общие запасы и чистота подземных вод должны сохраниться при любых техногенных вмешательствах в природную Среду.

Отсюда следует, что гидроэкологическая мелиорация должна обеспечивать трансформацию ландшафтов с оптимизацией параметров сельскохозяйственного использования природной Среды при минимально допустимом изменении естественного водного режима и водного баланса, т.е. должна поддерживать воднобалансовую устойчивость мелиорируемых водосборов, определяемую оптимальным соотношением между действием мелиоративной системы и режимом естественного переувлажнения (недоувлажнения) территории.

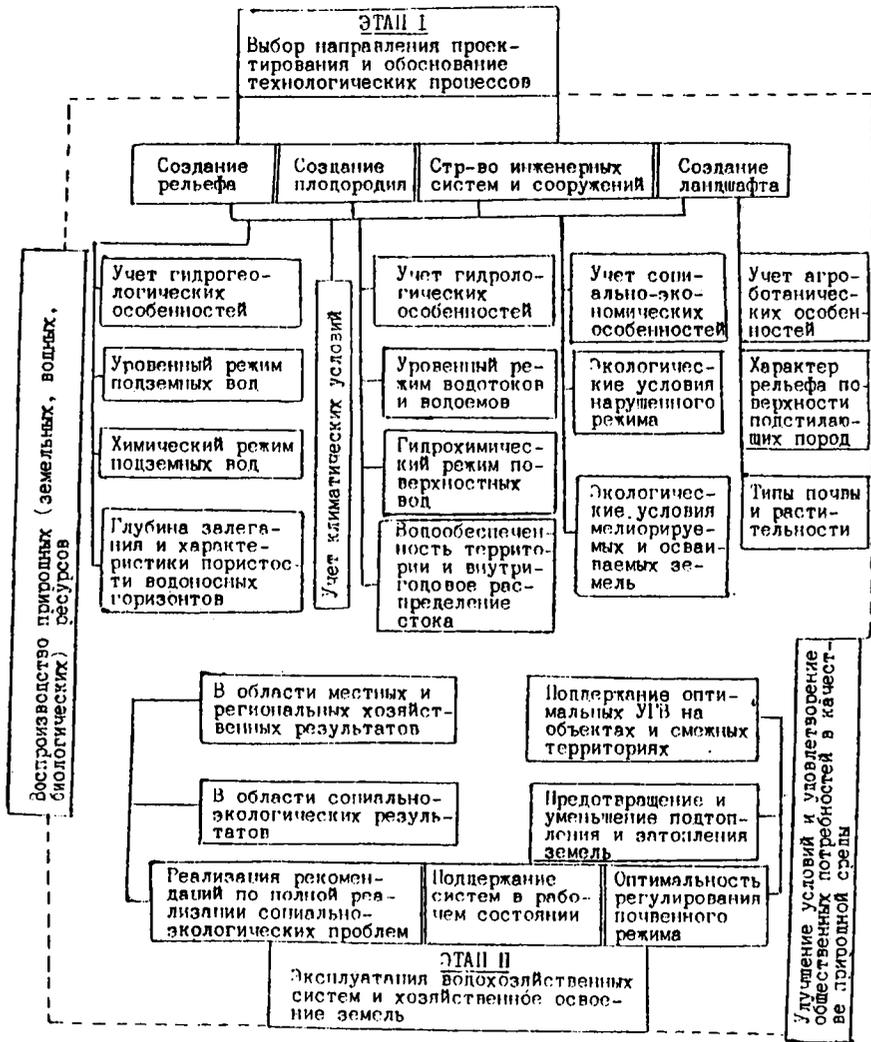


Рис.4.8 Схема учета природных факторов и условий при создании систем по рациональному использованию водно-земельных ресурсов.

С точки зрения социальных связей, необходимо обеспечение комфортабельности жизни в сельской местности, что потребует выделения трех уровней: обеспечения личных потребностей членов каждой семьи; обеспечения коммунально-бытовых условий; удовлетворения требований к окружающей Среде. Последнее является необходимым условием создания совершенных эколого - мелиоративных систем, а два первых уровня связаны лишь с интенсивностью использования природных ресурсов.

Таким образом, планированию при мелиорации земель подлежат: использование природных ресурсов; обоснованный уровень комфорта жизни в сельской местности; охрана ландшафтов; действенность мероприятий по охране почв, флоры, фауны, водных ресурсов и воздушной Среды. Так как экономическая эффективность природоохранных мероприятий не всегда очевидна, то, с этой точки зрения, следует выделять две категории мелиоративных объектов: 1) объекты, в которых природоохранные мероприятия служат только в целях охраны природной Среды или имеют рекреационное значение; 2) объекты, в которых предусматривается комплексное использование природных ресурсов.

Варианты мероприятий по комплексному использованию осваиваемой территории необходимо сопоставлять по показателю общей эффективности капитальных вложений, который для комплексных мелиоративных систем определяется по зависимости

$$E_K = \frac{(C_T + \sum \Delta C_T) - (C + \sum \Delta C) - \sum Y_K}{K_{CT} + K_{CK} + K_{OC} + K_{II} + K_{IC}}, \quad (4.14)$$

где E_K - коэффициент общей эффективности капитальных вложений в создание мелиоративной системы с природоохранными мероприятиями; C_T - стоимость дополнительной сельскохозяйственной продукции, получаемой с мелиорируемой площади системы; $\sum \Delta C_T$ - возможные ежегодные поступления за счет использования иных природных ресурсов или платных услуг за использование природных комплексов; C - дополнительные ежегодные затраты, связанные с получением дополнительной продукции сельского хозяйства с мелиорируемой площади системы; $\sum \Delta C$ - дополнительные ежегодные затраты, связанные с эксплуатацией и обеспечением функционирования или сохранности природных сооружений и комплексов; K_C - капитальные вложения в создание мелиоративной системы; K_{CK} - капитальные вложения в сельскохозяйственное производство, связанные с получением дополнительной продукции сельского хозяйства; K_{OC} - стоимость приобретения дополнительных оборотных средств в сельском хозяйстве, в связи с увеличением урожайности культур на мелиорируемых землях; K_{II} - капитальные вложения на сооружения и мероприятия по использованию иных природных ресурсов; K_{IC} - стоимость приобретения дополнительных оборотных средств, в связи с получением продукции от использования иных природных ресурсов; $\sum Y_K$ - ущербы от полного использования или ликвидации ранее использовавшихся природных ресурсов.

При формировании комплексных систем (сельскохозяйственного и рекреационного, сельскохозяйственного и охотничьего назначения и др.) наилучший вариант системы соответствует наибольшей величине дополнительного дифференциального дохода, определяемого по формуле

$$D_K = (C_{T1} + C_{T2}) - (C_1 + C_2 + C_3 + E_H \cdot K_M + E_H \cdot K_{II}) - \sum Y_T, \quad (4.15)$$

где D_K - дифференциальный чистый доход, характеризующий качественную сторону используемых ресурсов; C_{T1} - стоимость дополнительной продукции с мелиорируемой

площади системы; $Ст_2$ - стоимость продукции от использования иных природных ресурсов (или услуг) после строительства мелиоративной системы; $С_1$ - дополнительные текущие затраты, связанные с получением дополнительной продукции сельского хозяйства; $С_2$ - дополнительные текущие затраты, связанные с получением продукции от использования иных природных ресурсов; $С_3$ - суммарные эксплуатационные затраты по мелиоративной системе с природоохранными мероприятиями; E_n - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; K_m - капиталовложения в строительство мелиоративной системы сельскохозяйственного назначения; K_n - капиталовложения в строительство сооружений и проведение мероприятий для получения продукции в виде платы за использование природных ресурсов; $\sum U_r$ - ущербы от неполного использования или ликвидации использовавшихся природных ресурсов.

Оптимизацию природоохранных мер наиболее целесообразно осуществлять с помощью компромиссно-оптимальных решений на базе теории полезности.

Этапы решения задачи оптимизации формулируются следующим образом:

- выбор и исследование факторов, характеризующих экономические и экологические аспекты;
- выявление их функциональной связи;
- формирование многомерного векторного критерия оптимальности принимаемых решений;
- аналитическое объединение экологических факторов в функцию экономических последствий;
- аналитическое объединение экологических факторов и функции "эффективность - затраты";
- установление взаимных зависимостей и разработка смешанной эколого - экономической функции полезности;
- оптимизация "смешанной функции полезности" с определением экологических и экономических параметров;
- разработка рекомендаций.

Рассмотрим в качестве примера замкнутую в гидрологическом смысле, систему водного бассейна р. Ясельда с запроектированными мелиоративными объектами K_1, K_2, \dots, K_m и контрольными створами N_1, N_2, \dots, N_n .

Створ N_i характеризуется вектором количественных изменений гидрологических характеристик (например, уровнем, расходом, температурой воды, концентрацией химических веществ в воде и др.) (\bar{l}_i) , а мелиоративный объект (k_i) - вектором гидрогеологических и экологических параметров (H_i) . Разнообразие гидрогеологических характеристик требует рассмотрения их набора, как вектора, по множеству контрольных створов и расчетных параметров, т.е. (C_{ij}) .

Представляя функцию экологических последствий как некоторую монотонно воз-

растающую функцию от C_i , получим $\vartheta_i(C_i) = \alpha \frac{C_i}{C_0}$, где α - коэффициент пропорциональности. Для упорядочения n -мерных векторов вида $\bar{\vartheta} = (\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n)$, принимаем целевую функцию эколога - экономической полезности вида

$$Z_{j,p} = \frac{\max_i \vartheta_i}{i} + \gamma \cdot \left(\sum_{i=1}^N \vartheta_i^p \right)^{1/p}, \quad (4.16)$$

оценивающую водный объект, в целом, применительно к водоохранным мероприятиям. Здесь γ и p - параметры, определяемые аналитико-экспертной процедурой, при этом, $p \geq 1$, а γ - выражает относительность того или иного фактора в природоохранной проблеме.

Компромиссно-оптимальный критерий может быть выражен однопараметрическим семейством функций двух переменных, представляющих собой экологический (J) и экономический (\mathcal{E}) факторы, так, что $J \geq 0$, $\mathcal{E} \leq 1$.

Функция экологических последствий должна удовлетворять системе следующих требований:

$$\left. \begin{aligned} F_j(0, \mathcal{E}) = F_\gamma(J, 0) = 0; \\ F_\gamma(J_2, \mathcal{E}_2) \geq F_\gamma(J_2, \mathcal{E}_1), \text{ при } J_1 \geq J_2 \text{ и любых } \mathcal{E}_1 \text{ и } \gamma; \\ F_\gamma(\mathcal{E}_2, J_2) \geq F_\gamma(\mathcal{E}_1, J_2), \text{ при } \mathcal{E}_1 \geq \mathcal{E}_2 \text{ и любых } J_1 \text{ и } \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

Анализ взаимодействия природных факторов с процессом развития и состоянием мелиоративного объекта позволяет отметить относительную ограниченность числа связей как в области процессов обмена вещества и энергии (водообмена), так и в области функционального состояния ландшафтов региона [10].

Поэтому, рассматривая воздействия любых типов на биосистемы как внешние, вызывающие определенную степень их адаптации, основные задачи природоохранного проектирования можно сформулировать следующим образом: оценить роль биосистемы (болотного массива) в питании рек, озер, в водном балансе речных водосборов и речном стоке; определить влияние технологии освоения и преобразования на водный режим и состояние естественного ландшафта преобразуемых и смежных территорий; определить влияние изменения водного режима (осушительной сетью; водоприемником) на естественный ландшафт; составить прогноз изменений режима общего водообмена, определить предельное состояние и диапазон возможных изменений окружающей Среды; рассчитать экономическую эффективность оптимального варианта использования биосистемы с учетом всех социально-экономических последствий. Ранее проведенные авторами исследования [54,56], позволили выделить группу основных показателей, определяющих выбор оптимального варианта освоения и использования болотной системы: водно-балансовую устойчивость системы к пересушке и переобводнению; степень участия болотного массива в стоке ручьев, рек и озер; степень влияния мелиоративных мероприятий на продуктивность болотных почв и прилегающих территорий; влияние мероприя-

тий на ценные древесно-растительные ассоциации и их комплексы, находящиеся как на объекте, так и на прилегающей к нему территории; влияние мероприятий на фауну; интенсивность минерализации и уменьшения мощности торфяного слоя; баланс торфяных запасов.

Последний показатель является территориально-бассейновым, а не объектным, критерием сбалансированного потребления торфяных запасов. Он определяет необходимость использования во времени торфяных запасов таким образом, чтобы объем потребления торфа не превосходил объем его накопления. Решить этот вопрос могут планирующие органы республики совместно со специалистами.

Критерий водно-балансовой устойчивости болотной системы получают из основного уравнения геоморфологических связей, отражающего зависимость модуля проточности, интенсивность внешнего и внутреннего питания, формы потока в плане в зависимости от рельефа массива [11].

Для численного и полного выражения критерия устойчивости, необходим анализ качественной характеристики устойчивости системы, определяемой следующими условиями:

обеспечивает ли приток на массив процесс стока при режиме уровней и влаги, соответствующих оптимальному устойчивому состоянию данных растительных сообществ, или же происходит нарушение водного режима, влекущее за собой полную смену растительных ассоциаций или изменение только их структуры;

соответствует ли величина водообмена между озерами и болотными ландшафтами нормальной водопрпускной способности деятельного горизонта окружающих микроландшафтов, вследствие различий их водных балансов (при наличии внутри болот замкнутых водоемов - озер);

соответствует ли механической прочности по отношению к внешним механическим воздействиям структура и флористический состав растительных ассоциаций и их комплексов, определяющих жизненную способность растительных сообществ.

Количественное выражение воднобалансового критерия имеет вид:

а) при болотно-озерной системе -

$$\left(\frac{\bar{P}_M^{\min} \cdot \omega_M + \bar{P}_{O3} \cdot \omega_E}{2,55 \cdot g_{\max}} \right)_{\min} < \frac{l_U + l_N}{\omega} < \left(\frac{\bar{P}_M^{\max} \cdot \omega_M + P_{O3} \cdot \omega_E}{2,55 \cdot g_{\min}} \right)_{\max}, \quad (4.18)$$

б) при отсутствии озер на болоте -

$$\left(\frac{\bar{P}_M^{\min}}{2,55 \cdot g_{\max}} \right)_{\min} < \frac{l_U + l_N}{\omega} < \left(\frac{\bar{P}_M^{\max}}{2,55 \cdot g_{\min}} \right)_{\max}, \quad (4.19)$$

в) для вновь создаваемых водоемов -

1) при однородном прилегающем к водоему микроландшафте

$$\omega_E \geq (\ell_2 - \ell_1) \cdot \frac{\bar{g}}{\bar{p}}, \quad (4.20)$$

2) при различных типах микроландшафтов

$$\omega_E \geq \frac{\sum(\bar{g} \cdot \ell)}{\bar{p}}, \quad (4.21)$$

где \bar{P}_M^{\max} и \bar{P}_M^{\min} - максимальное и минимальное внутреннее питание болотного массива, мм/год; ω_E и ω_E - суммарные площади болотного массива и озер в их пределах, км²; ω - площадь всей болотно-озерной системы, км²; ℓ_{\cup} и ℓ_{\cap} - длина запроектированного контура внутреннего и внешнего дренирования, км; \bar{g}_{\max} и \bar{g}_{\min} - максимальная и минимальная горизонтальная проточность массива, л/с км; ℓ_1 и ℓ_2 - длина зоны стока и притока в водоем, км; \bar{g} - средняя проточность деятельного горизонта, л/с км; \bar{p} - среднегодовое питание болотно-озерной системы, мм/год; \bar{P}_{O3} - внутреннее питание озерной системы, мм/год.

Внутреннее питание болотного массива (\bar{P}_M^i) - находится по зависимости

$$\bar{P}_M^i / \frac{\min}{\max} = \frac{P_0 - P_{И} \pm P_{ГР}}{\omega}, \quad (4.22)$$

где P_0 - интенсивность осадков, мм/год; $P_{И}$ - интенсивность испарения, мм/год; $P_{ГР}$ - интенсивность грунтового водообмена торфа с подстилающими минеральными грунтами через всю площадь болотного массива.

Значения величин P_0 и $P_{И}$ определяются по картам распределения, а $P_{ГР}$ - по зависимости

$$P_{ГР} = (i_j - i_j^a) \cdot \frac{\bar{\mu}_j}{\Delta \cdot S_j} \cdot \omega, \quad (4.23)$$

где $\bar{\mu}_j$ - средний многолетний модуль проточности, см²/с; i_j - уклон поверхности болота; i_j^a - фиктивный уклон поверхности болота, который был бы в случае отсутствия грунтового водообмена, определяемый по зависимости

$$i_j^a = \frac{g_j^0 \cdot b_S^0 + (\bar{P}_0 - \bar{P}_{И}) \cdot b_S \cdot \Delta S_j}{\mu_j \cdot b_S}, \quad (4.24)$$

где $\bar{P}_0 = \frac{P_0}{\omega}$; $\bar{P}_{И} = \frac{P_{И}}{\omega}$; ΔS_j - длина линии стекания, км; b_S - длина фронта стекания, км;

g_j^0 - среднемноголетняя начальная величина проточности массива, л/с·км; b_S^0 - длина фронта вытекания, км.

Для получения этих характеристик необходимо произвести фрагментирование объекта с построением сетки линий стекания.

При построении сетки линий стекания целесообразно использовать комплексную группу признаков: ориентация элементов микрорельефа в ландшафтах комплексного строения; расположение на болотах мезоландшафта и форма в плане топей выклинивания и проточных топей, берущих начало из озер; расположение и форма в плане транзитных топей, образующихся за минеральными островами; расположение истоков и русл внутриболотных речек и ручьев.

Среднегодовую величину проточности массива рекомендуется определять по формуле

$$\bar{g}_j = i \cdot \bar{k}_0 \cdot (z_0 - \bar{z}), \quad (4.25)$$

где i - уклон поверхности болота по линии стекания; \bar{k}_0 - средний коэффициент фильтрации в фильтрующем слое, см/с; z_0 - мощность деятельного горизонта массива, изменяющаяся от 20 см для низинных болот до 60...70 см - для верховых болот; \bar{z} - глубина грунтовых вод в расчетный период (летняя межень), см.

Длина запроектированного контура внутреннего и внешнего дренирования (ℓ_{\cup} и ℓ_{\cap}) определяется в зависимости от типа ландшафта, а контур последнего - по границам болота с минеральными землями. Контур внутреннего дренирования создается протекающими по болоту внутриболотными речками и соединяемыми ими озерами, уровни в которых значительно ниже (на 1,0 ... 2,0 м) уровней грунтовых вод в прилегающих к ним болотных мезоландшафтах.

При уровненом режиме озер, близком к режиму уровня грунтовых вод, они не являются дренирующими и не включаются в дренирующий контур. Осушительные же системы увеличивают внутренний контур за счет каналов, коллекторов, дрен и т.д. При этом, общая длина контура равняется сумме длины всех открытых элементов сети ($\ell_{\text{ОТКР}}$) и длине закрытого дренажа ($\ell_{\text{ЗАКР}}$) при условии, что снижение УГВ, обусловленное ими, не менее 0,8 м, т.е.

$$\ell_{\text{ИС}}^{\cup} = \ell_{\text{ОТКР}} + 0,5 \cdot \ell_{\text{ЗАКР}}. \quad (4.26)$$

В длину внешнего контура дренирования необходимо, в некоторых случаях, включать и зону влияния осушительных систем.

Длины контуров озерной системы зависят от типа озера и находятся по формулам

$$\ell_{\cap} = \ell_2 \cdot H \quad \text{и} \quad \ell_{\cup} = \ell_1 \cdot H, \quad (4.27)$$

где H - средняя глубина озера.

Интенсивность внутреннего (озерного) водообмена на единицу площади акватории озера можно определить по зависимости

$$\bar{p}_{\text{ОЗ}} = \bar{p}_0 - \bar{p}_{\text{И}}^{\text{ОЗ}} \pm \bar{p}_{\text{ГР}}^{\text{ОЗ}}, \quad (4.28)$$

где \bar{p}_0 и $\bar{p}_И^{O3}$ - соответственно, средние интенсивности осадков и испарения с поверхности озера ; $\bar{p}_{ГР}^{O3}$ - средняя интенсивность вертикального водообмена через поверхность дна озера.

Интенсивность испарения с поверхности озера определяется по формуле

$$\bar{p}_И^{O3} = \bar{p}_B \cdot K_{100-p}, \quad (4.29)$$

где \bar{p}_B - среднее многолетнее значение испарения с водоема, мм; K_{100-p} - коэффициент поправки на обеспеченность, изменяющийся в пределах 1,35...0,65;

$$\bar{p}_B = p_{20} \cdot K_И \cdot K_3 \cdot K_\Omega, \quad (4.30)$$

где p_{20} - норма испарения с водной поверхности; $K_И$ - поправочный коэффициент на глубину (1,0...0,92); K_3 - поправочный коэффициент на защищенность водоема, зависящий от длины разгона воздушного потока (0,96...0,51); K_Ω - поправочный коэффициент на площадь водоема (1,0...1,26).

Интенсивность грунтового питания озера определяют по зависимости

$$\bar{p}_{ГР}^{O3} = \frac{\bar{g} \cdot (\ell_2 - \ell_1)}{\omega} + \bar{p}_И - \bar{p}_0^{O3}. \quad (4.31)$$

В расчеты граничных значений критерия устойчивости системы необходимо вводить минимальное значение проточности, равное 1 л/с км для сухих микроландшафтов, и максимальное - 15 л/с км, для самых обводненных микроландшафтов. Микроландшафтам со значениями проточности, выходящими за эти пределы, характерен распад и деградация растительных сообществ от переосушки или переобводнения деятельного слоя и торфяной залежи.

Можно определить диапазон возможных изменений морфологического коэффициента дренирования $\left(\frac{\ell_0 - \ell_n}{\omega} \right)$ болотно-озерных систем, в пределах которого эти изменения не вызовут нарушения устойчивости и распада системы.

Например, при морфологическом коэффициенте, равном 1,25 (максимальное значение 2,05), возможно дополнительное внутреннее дренирование на величину 0,8, с помощью устройства осушительных систем без риска распада их от переосушки.

Не менее существенным является и определение степени участия объекта в стоке ручьев и рек, так как болота, и, особенно, верховые, являются источником образования и поддержания водности мелкой речной системы.

Проверочным является условие -

$$Q_{СТ} \leq 0.3 \cdot Q_P^C, \quad (4.32)$$

где $Q_{СТ}$ - сток с болотного массива, м³/с; Q_P^C - сток речной системы, м³/с.

В качестве расчетного периода необходимо принимать летне-осеннюю межень. Сток с болотного массива определяется по зависимости

$$Q_{\text{ст}} = \frac{2 \cdot \bar{g} \cdot \omega}{\sqrt{\omega / \pi}}, \quad (4.33)$$

где \bar{g} - значение средней проточности массива, л/с·км; определяется по зависимости

$$\bar{g} = \frac{100 \cdot \varepsilon \cdot \mu_z \cdot i}{n}, \quad (4.34)$$

в которой ε - интенсивность вертикального водообмена, мм; μ_z - модуль проточности фрагмента, см²/с; i - уклон фрагмента по линии стекания; n - число фрагментов.

Отсюда следует, что для каждого физико - географического региона существует определенный экологический предел мелиоративных воздействий, который обеспечивает сохранение сбалансированного экологического состояния природы. Ведь существующие экологические системы достаточно устойчивы, и только необходимость расширения “агропромышленной Среды” требует перевода природного ландшафта в новое устойчивое состояние, замедляя естественные и сохраняя биогеоценозостические процессы, привлекая, при этом, агропромышленные выгоды. При этом, объективная оценка экологических изменений и достоверное технико-экономическое обоснование мелиоративных мероприятий возможны только тогда, когда установлены: природные характеристики (ресурсы); режимные изменения (локальные, зональные, глобальные); характер режимных изменений (положительные, отрицательные); влияние изменений на окружающую Среду; прогноз изменений природной Среды.

С целью унификации, все сооружения и мероприятия, направленные на сохранение природной Среды, улучшение и обогащение естественных природных ресурсов, можно разделить следующим образом: комплексные системы, объединяющие в единой схеме основные элементы мелиоративных систем, и природоохранные сооружения различного назначения; системы водохозяйственного преобразования ландшафтов речного водосбора; сооружения / мероприятия локального характера, выполняющие защитную, очистную и природоохранную роль.

В группу основных природоохранных мероприятий можно включить: достоверную разработку водохозяйственного баланса, не допускающего истощения водных ресурсов; создание стокорегулирующих и аккумулирующих колодцев - накопителей, водоемов и водохранилищ; создание достаточного количества водорегулирующих сооружений, обеспечивающих оптимальный водный режим не только на объекте, но и на смежной территории; строгое соблюдение запроектированного режима эксплуатации объекта; создание системы оградительных каналов (дрен, подземных плотин); обеспечение двустороннего регулирования водного режима; создание осушительно-увлажнительных систем на базе вертикального или комбинированного дренажа, обеспечивающих гибкое управление режимом подземных вод; усиление инфильтрационного питания грунтовых

вод на смежных территориях; устройство водоохраных зон и лесозащитных полос; строительство локальных очистных сооружений в совокупности с комплексом мероприятий по сокращению образования и поступления биогенных элементов, ядохимикатов и других загрязнителей; создание водооборотных систем; создание микрорезерватов и зон рекреации; ликвидация мелководья и зон подтопления; аэрация дренажных вод механическими или биологическими средствами; организация полевого водооборота; перераспределение подземных и поверхностных водных ресурсов.

На практике, в природоохранном отношении большим преимуществом пользуются системы [a₁] со скважинами вертикального дренажа, которые позволяют без больших материальных затрат, одновременно, и дренировать территорию, и использовать глубокие незагрязненные воды. При этом, управляемое изменение уровней воды имеет положительный экологический эффект, а автоматизация работы системы - не требует больших материальных затрат.

Как показывают исследования, в условиях Беларуси вертикальный дренаж в режиме осушения работает не более 10...15 суток, весной, а в режиме орошения - 30...40 суток, летом. Запасы подземных вод, используемые на орошение, восстанавливаются за осенне-зимний и весенний период. Поэтому, истощение запасов вод ни в годичном, ни в многолетнем циклах не происходит.

Особую группу мелиоративных систем составляют польдерные системы с затопляемыми или незатопляемыми устьями [a₂]. Такие системы позволяют сохранить ландшафт в состоянии, близком к естественному, однако, при сбросе избыточной воды в водоприемники, необходимо проведение мероприятий по снижению концентрации в ней химических веществ.

Наиболее типичны для сегодняшнего дня дренажные осушительно - увлажнительные системы [a₃], включающие сооружения, позволяющие использовать сток с водосбора для активного регулирования влажности почвы на объекте. Однако, выпуск дренажных вод в открытые водотоки-водоприемники делает эти системы технически несовершенными в экологическом отношении - для снижения или недопущения выноса растворенных ядохимикатов, неиспользованных удобрений и радионуклидов в открытые водотоки.

Зимне-весеннее снижение УГВ на 1,2...1,4 м, при необеспечении оптимального водного режима в вегетационный период, наблюдаемое на некоторых системах, обуславливает снижение продуктивности с.-х. культур до 30% на супесчаных и до 50% - на песчаных почвах.

В последнее время, начато проектирование и строительство водооборотных осушительно-увлажнительные системы [a₄], для которых характерна значительная насыщенность энергопотребляющими установками, обеспечивающими уменьшение объемов сброса дренажных вод в водотоки.

При этом, дренажные воды могут как резервироваться в нижерасположенном

пруду, так и перекачиваться в вышерасположенный пруд, с организацией водооборота в пределах поля.

Исследования Минаева И.В. [31] и др. [3, 19, 48, 50] показывают, что обеспечение оптимального водного режима минеральных почв, в условиях Белорусского Полесья, обычно связано со сбросом до 1100...1500 м³ и дополнительной подачей воды до 2500...3000 м³ в расчете на гектар. А это требует строительства водооборотных систем с водохранилищами, площадь зеркала которых должна быть не менее 5...10 % от мелиорируемой площади.

Следовательно, перспективными с технико-экономической и экологической точек зрения являются емкости - накопители в виде грунтовых водохранилищ.

Экономические проблемы республики в последние годы обусловили возврат адаптивных мелиоративных систем (a_3), площадь которых не более 300 га, особенностью которых является полная приспособляемость к конкретным почвенным, рельефным, водным и другим природным условиям. Все увлажнительные мероприятия на них осуществляются по принципу водооборота, для чего могут создаваться, при необходимости, локальные водосборы.

Отсутствие глубоких каналов является одной из специфических особенностей этих систем. Второй их особенностью является простота регулирующих сооружений. Об их экономичности говорит тот факт, что при недопущении резкого весеннего снижения УГВ, их сработка до 1,3 м к концу вегетации не приводит к снижению урожайности с-х культур более чем на 8...15 %.

Некоторую практическую проверку прошли комбинированные и комплексные автоматизированные мелиоративные системы [a_6], которые в наибольшей мере позволяют оптимизировать основные критерии подсистемы МСО: капвложения ($K_{\text{опт}}$); эксплуатационные издержки ($\text{ЭИ}_{\text{опт}}$); сельскохозяйственные издержки ($\text{СХИ}_{\text{опт}}$); срок службы ($T_{\text{опт}}$); плодородие почвы ($\text{УПП}_{\text{опт}}$); урожайность и качество продукции ($\text{ВС}_{\text{опт}}$); воздействия на природную Среду ($\text{ОП}_{\text{опт}}$).

Сегодня мелиорации подвержено много малопродуктивных земель, отсутствуют материальные ресурсы, необходимые для создания на них оптимальных агробиосистем, т.е. для достижения высокой культуры земледелия, поэтому, имеет смысл вывести эти земли из сельхозиспользования и воссоздать на их месте естественные экосистемы, сведя к минимуму негативные последствия мелиораций.

Однако, нужно иметь в виду, что оптимальный вариант может быть:

- вариантом приемлемым с наивысшей полезностью;
- вариантом многоцелевых компромиссов;
- вариантом, предпочтительным с наибольшим значением меры согласованности .

При этом, должна соблюдаться последовательность учета комплекса факторов в технической модели (решении) совершенных мелиоративно-ландшафтных систем и оптимального природопользования (рис.4.9).

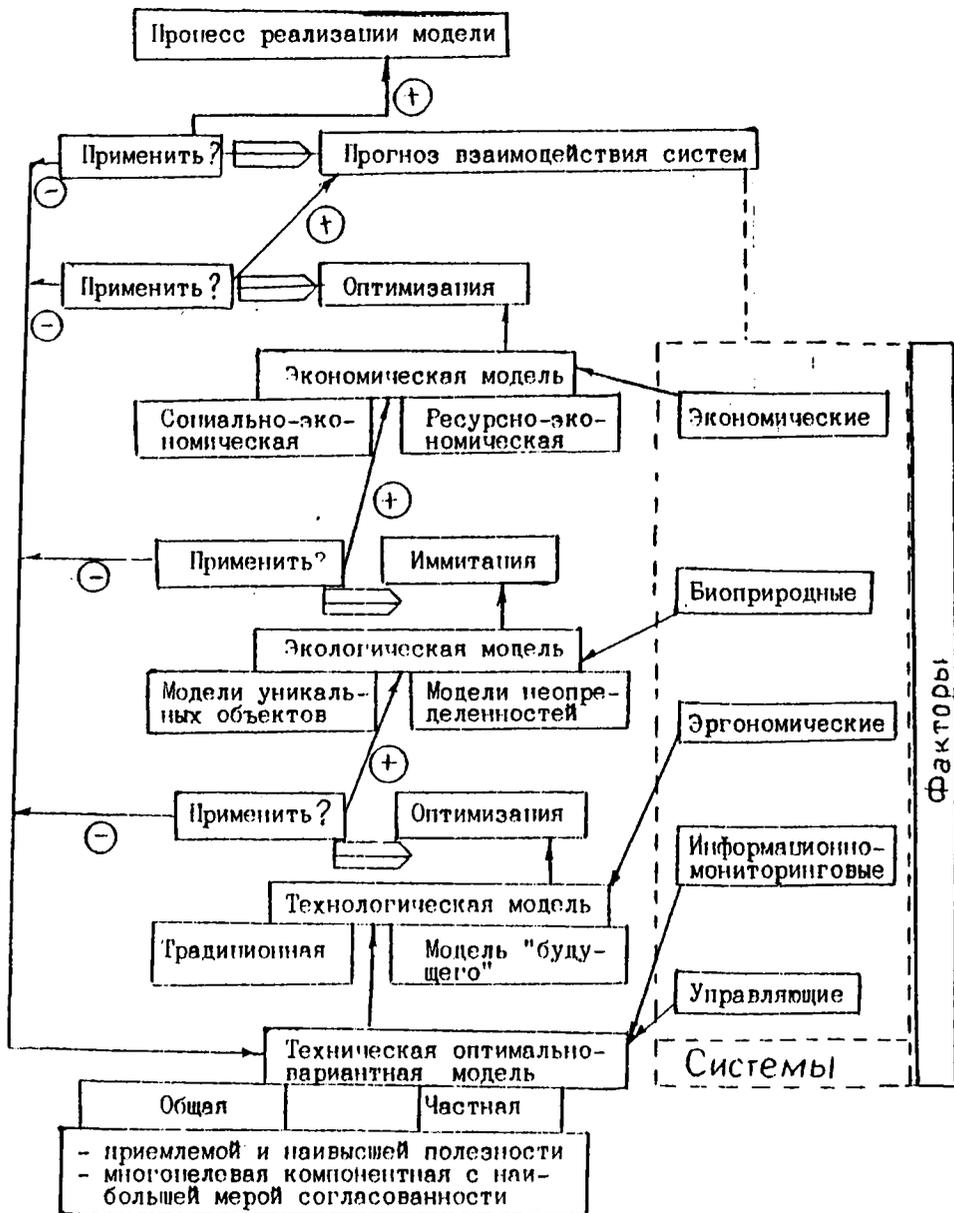


Рис.4.9 Последовательность учета комплекса факторов в технической модели использования природных ресурсов.

Выбор оптимального технико-технологического решения возможен при условии реализации группы частных задач, основные из которых:

- разработка способа представления анализируемых вариантов решений для полного их перебора из исходного множества;
- разработка относительно полного набора показателей эффективности и процедуры оценок;
- построение формальных процедур, позволяющих из исходного множества выделить подмножество предпочтительных вариантов;
- разработка формальной процедуры для построения ряда предпочтительности альтернатив из подмножества предпочтительных вариантов.

Логическая модель реализации этих задач приведена на рис.4.10.

По результатам анализа можно заключить, что выбор оптимального решения наиболее целесообразно осуществлять, используя: группу критериев эффективности R_{ij} и предпочтительности U_{ij} (экономической, экологической, социально-природной, технологической - конструктивной и т.д.), а также многоцелевой выбор из множества целей; оптимизацию на множестве объектов; оптимизацию из множества целей; оптимизацию в динамике или на множестве условий; оптимизацию на множестве вариантов; многовекторную оптимизацию.

Следует отметить, что многоцелевой выбор требует четкого определения области и схемы компромисса решений, нормализации и учета приоритетности анализируемых решений. При реализации любых технических задач, всегда можно отыскать область возможных решений, в которой показатели эффективности (ПЭ) непротиворечивы, т.е. они согласуются, и, поэтому, оптимальное решение целесообразно искать только в области компромисса. Область компромисса, с практической точки зрения, определяется как подмножество решений, для которых невозможно улучшение без уменьшения уровня хотя бы одного показателя эффективности.

Выбор области компромисса целесообразно осуществлять путем исключения области согласия из области компромисса на основе ее собственных свойств.

Следует отметить, что в природопользовании, и, особенно, использовании водно-земельных ресурсов, определение области компромиссных решений является только промежуточной задачей, конечной целью является анализ всех конкурентноспособных вариантов с целью выбора единственного оптимального проектного решения. При этом, выбор технических решений и сравнение их качества в области компромисса должен отвечать схеме-принципу оптимальности. Выбор схемы можно осуществлять на аналитическом или аналитико - эвристическом уровне. Наиболее широкую известность получил принцип минимакса, позволяющий найти единственное рациональное решение, реализуемое в следующей эквивалентной форме

$$\text{opt}X \equiv \min_{X \in X_0} \cdot \sum_{j=1}^n X_j^S, \quad (4.35)$$

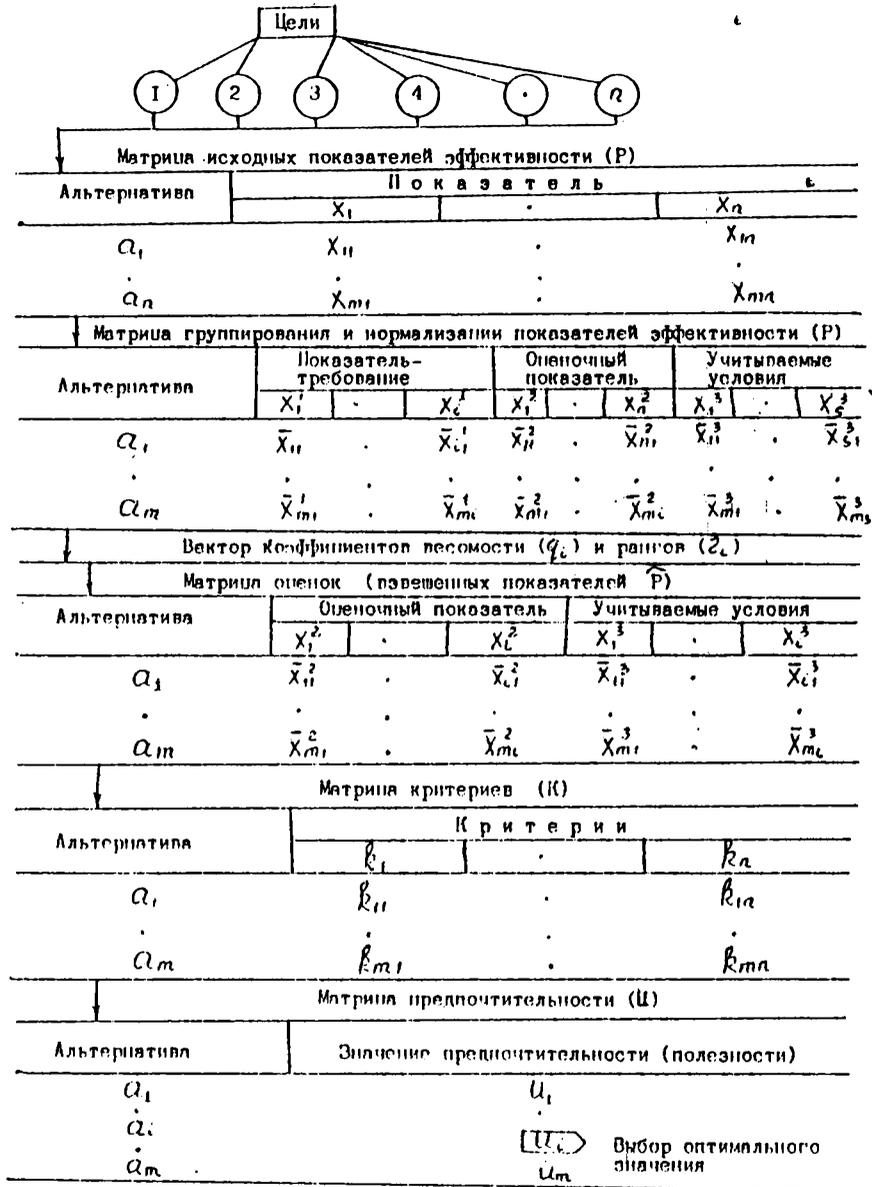


Рис. 4.10 Логическая модель реализации задачи по выбору оптимального решения.

где X_0 - область компромисса;

$$S \in (S^0, \infty); \quad S^0 = \frac{\lg n}{\lg(1+\epsilon)}; \quad (4.36)$$

ϵ - относительная точность показателя эффективности; j - количество возможных для реализации технических решений.

В настоящее время, в практике, реализуется принцип "справедливого" компромисса, основанного на абсолютной или относительной уступках, когда суммарный уровень снижения одного или нескольких показателей эффективности не должен превышать суммарного уровня прироста других показателей эффективности.

Если известна приоритетность показателя эффективности, то лучше реализуется оптимизационная модель типа

$$\text{opt} X \equiv \max_{X \in X^1} X, \quad (4.37)$$

где $X^1 = \{X / X_j \geq X_j^{\exists}\}, \quad j \in (1, 2, \dots, n)$.

Так как зачастую показатели эффективности имеют различные масштабы измерения, то их нормализация обязательна и ее можно выполнять по множеству принципов. Однако, наиболее справедливым и не ограничивающим значимости ни одного из показателей эффективности является "принцип идеального качества", когда в виде нормализующих компонент принимаются максимально возможные их отклонения для условий решаемой задачи

$$X = \frac{X_j}{\max_{X \in X_j} x_j - \min_{X \in X_j} x_j}. \quad (4.38)$$

В качестве параметров предпочтительности наиболее целесообразно оперировать рядом предпочтительности X , а также векторами приоритетов λ_i и значимости q_i , определяемыми методом последовательной оптимизации.

Однако, следует отметить, что если минимакс целесообразен при расчетах на самое плохое, что может произойти, то критерий Сэвиджа позволяет минимизировать убытки, а критерий Гурвица (риска) обеспечивает реализацию высшего выигрыша (рис.4.11).

Наиболее достоверным критерием успеха является критерий Бернулли

$$K_i^j = \left\{ \frac{a_i}{\max \dots \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \bar{X}_{ij}} \right\}; \quad i = 1, \bar{m}; \quad j = 1, \bar{n}, \quad (4.39)$$

где \bar{X}_{ij} - значение j -го показателя для i -го варианта, по которому реализуется принцип справедливой абсолютной уступки.

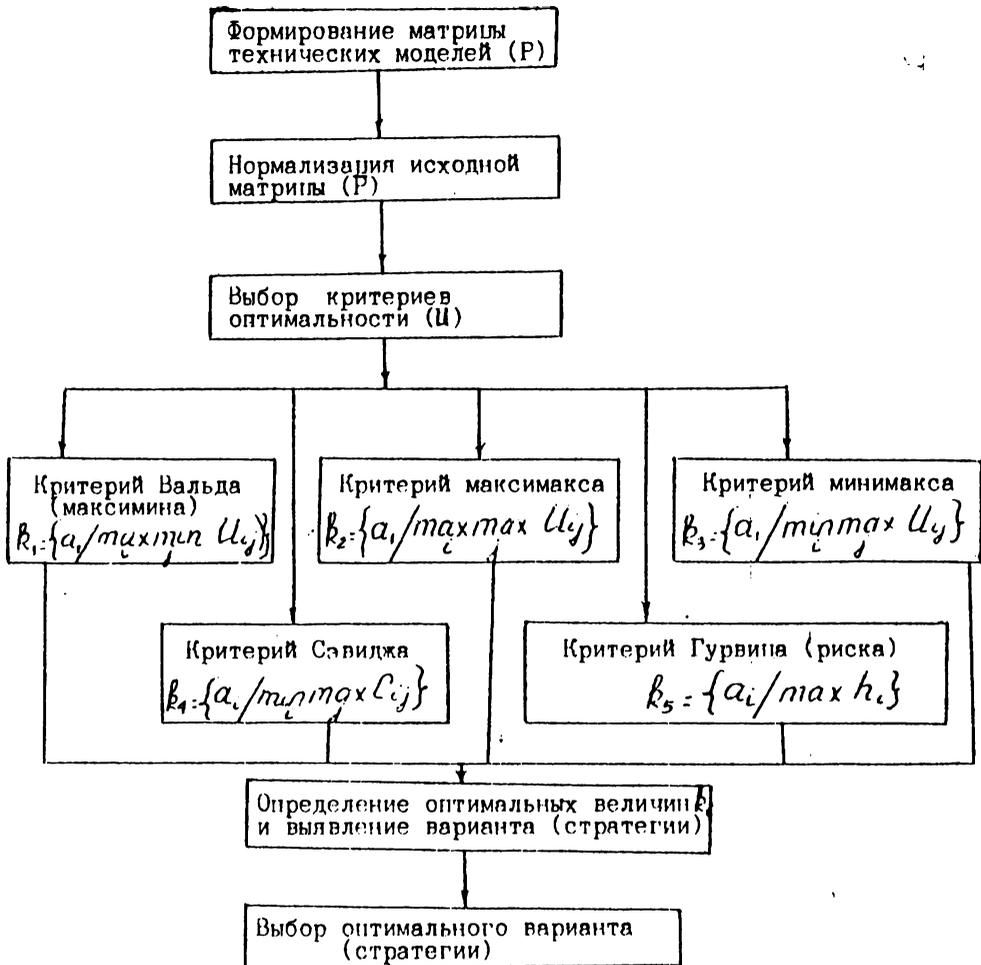


Рис.4.11 Блок-схема выбора оптимального варианта (стратегии) технической модели природопользования в условиях неопределенности.

Выбор из множества вариантов технических решений недоминируемого подмножества, т.е. вариантов со значимыми показателями эффективности, поэтапный:

- определяется исходная матрица решений с последующей ее нормализацией (P)P);

- составляется матрица эффективности (F) с использованием величин значимости показателей эффективности (g_i);

- определяются множества согласия и несогласия по каждой паре вариантов (H_{kc});
- определяются индексы согласия (C_{kc}) и несогласия (d_{kc}), отражающие взаимную предпочтительность;
- составляется агрегированная матрица доминирования (D_a);
- отбраковываются менее предпочтительные варианты как по критерию согласия, так и несогласия.

Исходная матрица принятия технического решения, с точки зрения оптимального природопользования и с учетом современных научно-технических достижений в области комплексного использования земельно-водных ресурсов, имеет вид:

		Удельные капвложения, тыс. \$/га	Эксплуатационные издержки на получение дополнительной с-х. продукции, тыс. \$/га	Эксплуатационные издержки на обеспечение функционирования природоохранных мероприятий,	Комплексный показатель эффективности, балл	Репродукционная способность по биологической продуктивности почвенно-растительного покрова	Степень антропоустойчивости основных элементов природной Среды
		X_1	X_2	тыс. \$/га	X_4	X_5	X_6
Системы вертикального дренажа	a_1	2,98	0,56	0,29	65	0,92	0,89
Польдерные системы	a_2	3,24	0,62	0,31	54	0,90	0,90
Альтернативные (адаптивные) системы	a_3	2,05	0,27	0,19	47	0,87	0,78
Водооборотные системы	a_4	2,79	0,53	0,32	49	0,89	0,84
Осушительно-увлажнительные системы	a_5	2,36	0,45	0,22	34	0,86	0,81
Комплексные автоматизированные системы	a_6	5,91	0,46	0,38	70	0,98	0,95

Значимость показателей, в соответствии с проведенным анализом, соответственно, равна - $q_1=0,302$, $q_2=0,166$, $q_3=0,144$, $q_4=0,184$, $q_5=0,122$, $q_6=0,077$.

Используя зависимость

$$\bar{x}_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}; \quad j = 1, \bar{n}; \quad i = 1, \bar{m}, \quad (4.40)$$

нормализуем исходную матрицу и, соответственно, имеем

$$\bar{p} = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 \\ 0,635 & 0,586 & 0,452 & 0,402 & 0,310 & 0,375 \\ 0,678 & 0,506 & 0,463 & 0,306 & 0,284 & 0,412 \\ 0,694 & 0,603 & 0,371 & 0,342 & 0,291 & 0,389 \\ 0,573 & 0,609 & 0,486 & 0,332 & 0,266 & 0,401 \\ 0,492 & 0,624 & 0,512 & 0,349 & 0,243 & 0,496 \\ 0,712 & 0,412 & 0,376 & 0,426 & 0,329 & 0,219 \end{bmatrix}. \quad (4.41)$$

Соответственно, матрица эффективности ($F = \bar{p} \cdot q$) будет иметь вид

$$F = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 \\ 0,191 & 0,097 & 0,065 & 0,074 & 0,038 & 0,029 \\ 0,205 & 0,091 & 0,067 & 0,065 & 0,034 & 0,032 \\ 0,217 & 0,099 & 0,053 & 0,069 & 0,036 & 0,031 \\ 0,178 & 0,101 & 0,044 & 0,068 & 0,031 & 0,032 \\ 0,169 & 0,112 & 0,071 & 0,069 & 0,027 & 0,038 \\ 0,231 & 0,078 & 0,051 & 0,079 & 0,039 & 0,022 \end{bmatrix}. \quad (4.42)$$

Определяя все множества согласия и несогласия, имеем ввиду, что множество согласий (C_{ke}) состоит из индексов тех показателей, по которым k -ый вариант не хуже, чем e -ый, а множество несогласий (H_{ke}) - из индексов тех показателей, по которым e -ый вариант превосходит k -ый, с соответствующим переходом на элементы матрицы по зави-

симостям $C_{ke} = \frac{\sum_{j \in C_{ke}} q_j}{\sum_{j=1}^n q_j}$ и при

$$\sum_{j=1}^n q_j = 1 - C_{ke} = \sum_{j \in H_{ke}} q_j \text{ и } d_{ke} = \left\{ \max_{j \in H_{ke}} / \max_{j=1, n} |f_{kj} - f_{ej}| \right\}, \text{ матрицы согласия (C) и несогласия}$$

(O) представляются в видах:

$$C = \begin{bmatrix} - & 0,509 & 0,019 & 0 & 0 & 0 \\ 0,208 & - & 0,509 & 0,583 & 0 & 0 \\ 0,819 & 0,983 & - & 0,509 & 0 & 0,583 \\ 0,983 & 0,983 & 0,983 & - & 0,509 & 0,208 \\ 0,983 & 0,908 & 0,716 & 0,983 & - & 0,509 \\ 0,716 & 0,716 & 0,983 & 0,716 & 0,716 & - \end{bmatrix}; \quad (4.43)$$

$$O = \begin{bmatrix} - & 0,254 & 1 & 1 & 0 & 0,524 \\ 1 & - & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0,153 & 1 & - & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0,429 & - & 1 & 0,429 \\ 1 & 0 & 0 & 0,1 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & - \end{bmatrix}. \quad (4.44)$$

Используя средний индекс согласия

$$C = \left(\sum_{\substack{k \neq e \\ k=1 \\ c=1}}^m \sum_{e \neq k}^m C_{ek} \right) / [m \cdot (m-1)] = 0,483, \text{ и, соответственно, средний индекс несогласия } \bar{\alpha} = 0,538, \text{ строим доминирующие матрицы:}$$

строим доминирующие матрицы:

$$D_C = \begin{bmatrix} - & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & - & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & - & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & - & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & - & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & - \end{bmatrix} \text{ и } D_H = \begin{bmatrix} - & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & - & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & - & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & - & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & - & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & - \end{bmatrix}. \quad (4.45)$$

Тогда, анализ агрегированной матрицы доминирования ($D_D = (D_C \times D_H)$), имеющей вид

$$D_D = \begin{bmatrix} - & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & - & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & - & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & - & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & - & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & - \end{bmatrix}, \quad (4.46)$$

позволяет отметить, что недоминируемых вариантов, среди анализируемых, нет вообще, а слабо детерминируемыми являются -1,2,3,4 и 6 варианты.

Однако, не менее существенной является проблема расположения (упорядочения) вариантов по предпочтительности.

Так как, нам необходимо "наилучшим" образом согласовать предлагаемые варианты с системой ценностей и когда в упорядочении вариантов присутствует частичный порядок - $a_k > a_e$, тогда факт $x_{kj} \geq x_{ej}$ оценивается при помощи q_j , а факт $x_{kn} < x_{en}$ - при помощи q_n .

Отсюда, оценка упорядочения вариантов β_q ($q=1,2,\dots,m!$) должна определяться по зависимости

$$\beta_q = \sum_{k,e=1}^m \sum_{j \in N_{ke}} q_j, \quad q_j = 1, 2, \dots, m!, \quad (4.47)$$

$$\left. \begin{aligned} C_{ke} &= \{j / x_{kj} > x_{ej}\}, & k, e = 1, \bar{m}; k \neq e; \\ N_{ke} &= \{j / x_{kj} < x_{ej}\}, & k, e = 1, \bar{m}; k \neq e; \end{aligned} \right\},$$

а наиболее согласованным (наилучшим) упорядоченным будет являться m_0 , для которого величина β_q - наибольшая. При этом, надо иметь в виду, что наиболее согласованное упорядочение тождественно ряду предпочтительности вариантов.

Упорядочение вариантов по предпочтительности осуществляется следующим образом:

- составляется исходная матрица (P);
- преобразуется исходная матрица в расчетную (\bar{P});
- определяются величины значимости показателя эффективности (q_j);
- строятся множества всевозможных перестановок (n);
- строятся множества согласующегося и несогласующегося частичного порядков;
- оценивается упорядочение вариантов перестановок (β_q);
- строится ряд предпочтительности по ординальным и кардинальным показателям.

В табл.4.1 дана система кардинальных ($x_1...x_6$) и ординальных ($x_7...x_{29}$) показателей, при этом, ординальные показатели I,II и III для условий и уровней характеризуют, соответственно, "высокие-средние-низкие", а для потребителей - "малые-средние-большие".

Таблица 4.1 Система ординальных и кардинальных показателей для выбора предпочтительности технических вариантов проектов

Показатель	Индекс показателя	Вариант			Значимость показателя
		Системы вертикального дренажа (b_1)	Альтернативные (адаптивные) системы (b_2)	Комплексные автоматизированные системы (b_3)	
1	2	3	4	5	6
Удельные капитальные вложения, тыс. \$/га	X_1	2,98	2,05	5,91	0,263
Эксплуатационные и сельскохозяйственные издержки, тыс. \$/га	X_2	0,56	0,27	0,46	0,134
Эксплуатационные издержки на обеспечение функционирования природоохранных мероприятий, тыс. \$/га	X_3	0,29	0,19	0,38	0,059
Эксплуатационные издержки на обеспечение функционирования природовосстановительных мероприятий, тыс. \$/га	X_4	0,32	0,47	0,28	0,051

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
Репродукционная способность по биологической продуктивности почвенно-растительного покрова	X ₅	0,92	0,87	0,98	0,123
Комплексный показатель эффективности, балл	X ₆	65	47	70	0,061
Степень антропоустойчивости основных элементов Среды	X ₇	II	III	I	0,014
Степень антропоактивности основных элементов Среды	X ₈	II	I	III	0,013
Демографическая емкость по рекреационным ресурсам	X ₉	II	III	I	0,013
Уровень критического воздействия на основные элементы ландшафта	X ₁₀	II	III	I	0,013
Интенсивность развития основных негативных процессов природной Среды	X ₁₁	II	I	III	0,013
Степень пригодности и качество выполнения ландшафтно-мелиоративным комплексом социально-экономических функций	X ₁₂	II	III	I	0,014
Вероятность достижения пространственно-временного социального эффекта	X ₁₃	II	III	I	0,014
Степень взаимодействия природных и производственных процессов	X ₁₄	II	I	III	0,013
Степень обратимости антропогенных процессов	X ₁₅	II	III	I	0,014
Уровень реакции ландшафта на систему мероприятий по защите от негативных процессов	X ₁₆	II	III	I	0,013
Уровень реакции ландшафта на систему мероприятий по устранению негативных последствий	X ₁₇	II	III	I	0,013
Репродукционная способность по основным компонентам биосферы	X ₁₈	II	III	I	0,014
Демографическая емкость по водно-земельным ресурсам	X ₁₉	II	III	I	0,014
Степень использования климатических, биосферных и минерально-сырьевых ресурсов	X ₂₀	II	III	I	0,013
Степень изъятия биосферных и минерально-сырьевых ресурсов	X ₂₁	II	I	III	0,013
Степень обеспечения оптимального уровня комфорта жизни сельского населения	X ₂₂	II	III	I	0,013
Уровень структурного коэффициента демографической динамики и миграции	X ₂₃	II	III	I	0,013
Уровень генетического груза человеческой популяции	X ₂₄	II	I	III	0,013
Медико-биологический и социальный уровень	X ₂₅	II	III	I	0,013

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
Геохимическая локально-региональная активность территории	X ₂₆	II	III	I	0,014
Степень экологической надежности при начальном "резервировании"	X ₂₇	II	III	I	0,013
Уровень экологически допустимого диапазона колебаний минимальной надежности экосистемы	X ₂₈	II	III	I	0,013
Экологическая емкость биогеоценозов	X ₂₉	II	III	I	0,014

Следует отметить, что приведенные нами характеристики относительны, т.к. они определяют только взаимосоотношения рассматриваемых вариантов. Проанализируем предпочтительность вариантов по кардинальным показателям на основе энтропии. Преобразуя исходную матрицу (P_{ij}) в расчетную (\bar{P}) и используя зависимость

$$\bar{P}_{ij} = x_{ij} \cdot \left(\sum_{i=1}^m x_{ij} \right), \quad (4.48)$$

определяем уровень энтропии (E_j), уровень изменчивости показателя (α_j) и абсолютную весомость показателя по зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} E_j &= k \cdot \sum_{i=1}^m P_{ij} \cdot \ln P_{ij}; & j &= 1, \bar{n}; \\ d_j &= 1 - E_j; & j &= 1, \bar{n}; \\ q_j &= d_j \cdot \left(\sum_{j=1}^n d_j \right); & j &= 1, \bar{n} \end{aligned} \right\}, \quad (4.49)$$

и имеем, соответственно, -

$$\begin{aligned} E_1 &= 0,962; & E_2 &= 0,951; & E_3 &= 0,984; & E_4 &= 0,963; & E_5 &= 0,957; & E_6 &= 0,976; \\ d_1 &= 0,032; & d_2 &= 0,027; & d_3 &= 0,036; & d_4 &= 0,032; & d_5 &= 0,028; & d_6 &= 0,034; \\ q_1 &= 0,121; & q_2 &= 0,130; & q_3 &= 0,129; & q_4 &= 0,144; & q_5 &= 0,106; & q_6 &= 0,128, \end{aligned}$$

Тогда расположение вариантов по предпочтительности, согласно критерию средневзвешенного успеха (СУ) ($k_{i,i+1} = |\bar{p}_i| \times |q_i|$), имеет вид - $V_3 > V_1 > V_2$, т.е. V_1 не хуже, чем V_3 и т.д.

С учетом весомости показателя расположения вариантов по предпочтительности,

согласно критерию СУ $\left(k_{i,i+1} = \frac{q_j \cdot \bar{q}_j}{\sum_{j=1}^n q_j \cdot \bar{q}_j} \right)$, имеет вид - $V_1 > V_3 > V_2$.

Рассмотрим расположение вариантов по предпочтительности, с учетом ординальных показателей. Для этого используем метод перестановок, где информация представляется в виде исходной матрицы баллов, лучшей из которых является - 1, худшей - 3.

Исходная нормированная матрица представляется в виде

$$\begin{aligned}
 P = & \begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{matrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 & x_8 & x_9 & x_{10} \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 3 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \\
 & \times \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} & x_{16} & x_{17} & x_{18} & x_{19} & x_{20} \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 2 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 3 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \\
 & \times \begin{bmatrix} x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} & x_{26} & x_{27} & x_{28} & x_{29} \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4.50)
 \end{aligned}$$

Рассмотрев шесть возможных перестановок типа $B_1B_2B_3$, $B_1B_3B_2$, $B_2B_1B_3$, $B_2B_3B_1$, $B_3B_1B_2$, $B_3B_2B_1$ и определив для них множества согласия (C_{ij}) и несогласия (H_{ij}), а также оценки упорядочения, имеем $\beta_1=1,115$; $\beta_2=1,143$; $\beta_3=0,809$; $\beta_4=0,916$; $\beta_5=1,396$; $\beta_6=1,246$.

Согласно максимальному значению оценки упорядочения, предпочтительность вариантов устанавливается согласно - $B_3 > B_1 > B_2$.

Не менее существенна и проблема направленного улучшения конкурентноспособных вариантов, которая решается на базе общей функции полезности, учитывающей как независимость по предпочтительности (НПР), так и независимость по полезности (НПО). Блок-схема общей функции полезности описывается следующим образом:

- определение взвешенной нормированной матрицы (P_n);
- определение идеального и негативно-идеального вариантов (a_n, a_n);
- определение меры раздельности (L_i) между i -ым и идеальным и негативно-идеальными вариантами;
- определение относительной близости (K_i) i -ых вариантов к идеальному;
- проверка выполнения свойств НПР и НПО;
- определение возможной формы общей функции полезности (U_x);

- расчеты локальных значений общей функции полезности (аддитивности / мультипликативной) по вариантам (B_i);
- реализация процедуры улучшения конкурентноспособности выбранного варианта.

Рассматривая только эколого-социальные аспекты, следует отметить, что общая функция полезности должна иметь мультипликативную форму вида

$$\bar{U}(x_i) = \frac{1}{k} \cdot \prod_{i=1}^n [1 + k_1 \cdot k_2 \cdot U_i(x_i)] - 1, \quad \sum_{i=1}^n k_i \neq 1. \quad (4.51)$$

В качестве показателей, можно принимать, в данном случае, как объективные, так и экспертные, субъективные. С нашей точки зрения, наиболее целесообразен ввод в общую функцию полезности следующих показателей: эксплуатационных издержек на обеспечение функционирования природоохранных и природовосстановительных мероприятий (X_1); удельных капвложений (X_2); вероятности достижения пространственно-временного эколого - социального эффекта (X_3); степени удовлетворения общественных потребностей в качестве природной Среды (X_4); степени взаимодействия природных и производственных процессов (X_5).

Проведя проверку выполнения НПР и НПО для всех пар переменных типа (X_i, X_j), можно получить соответствующие эквивалентные пары многомерных альтернатив, позволяющие графическим методом определять расчетные коэффициенты и вид общей функции полезности, т.е.

$$\begin{aligned} \bar{U}(x_i) = & 0,56 \cdot [1 + (0,34 \cdot x_1^2 + 0,73 \cdot x_1 - 0,19)] \times \\ & \times [1 + (0,07 \cdot x_2^2 - 0,89 \cdot x_2 + 0,13)] * [1 + (-0,29 \cdot x_3^2 + 0,14 \cdot x_3 + 1,02)] \times \\ & \times [1 + (-0,89 \cdot x_4 + 1,2)] * [1 + (0,13 \cdot x_5^2 - 0,96 \cdot x_5 - 0,27)] + 0,42. \quad (4.52) \end{aligned}$$

Локальные значения общей функции полезности по рассматриваемым вариантам определяют следующий ряд - $U_1=0,804$, $U_2=0,743$, $U_3=0,792$, $U_4=0,764$, $U_5=0,631$, $U_1=0,829$, что и характеризует первый, третий и шестой варианты, как лучшие эколого-социальные варианты.

Используя общую функцию полезности, легко выбрать направление улучшения вариантов с эколого - социальной точки зрения.

Например, даже при значительном повышении удельных капвложений (X_2) в пятый вариант, значение общей функции полезности возрастает до $\bar{U}_5 = 0,799$, но еще не позволяет ему быть конкурентноспособным с первым и шестым вариантами. Для повышения конкурентноспособности, очевидно, необходимо еще изменить и такие показатели, как X_5 и X_1 .

В заключение рассмотрим некоторые экологические аспекты эксплуатации мелиоративных систем, тесно связанные с технологией управления ими.

Как показано выше, с экологической точки зрения наиболее существенны истощение и загрязнение подземных, поверхностных вод и загрязнение почвы как минеральными, так и радиоактивными веществами.

Загрязнение водных источников в период эксплуатации мелиоративных систем происходит, в основном, за счет химических и радиоактивных элементов, содержащихся в дренажном и поверхностном стоке. Отметим также, что концентрация основных питательных элементов (NPK) и их вынос с единицы площади находятся в тесной зависимости с количеством и сроками внесения удобрений. В табл.4.2 приведены объемы загрязнений водоприемников в зависимости от количества вносимых удобрений. Хотя в последние годы количество вносимых удобрений уменьшилось в несколько раз, вынос химических элементов уменьшается не в прямой с ними зависимости, что говорит лишь о частичном самоочищении почвенных горизонтов.

Таблица 4.2 Объемы загрязнения водоприемников

Наименование систем	польдерных	Сброс в водоприемники вместе с водой химических элементов за год, кг/га					
		P ₂ O ₅	CaO	N-NO ₃	K ₂ O	∑N	N-NO ₂
1987 год							
Выгоноши		7,4	290	1,3	5,1	12,5	3,2
Месятичи-Морозовичи		0,8	84	1,0	0,8	2,2	2,2
Ракитно		6,0	269	3,3	3,2	7,4	3,0
1988 год							
Выгоноши		8,4	330	2,4	6,9	15,4	3,4
Месятичи-Морозовичи		1,8	87	0,2	1,2	2,8	0,3
Ракитно		5,7	213	2,5	3,7	8,6	2,0
1995 год							
Выгоноши		3,5	149	0,5	1,9	6,3	1,2
Месятичи-Морозовичи		0,9	76	0,92	0,82	2,4	3,1
Ракитно		2,8	168	1,6	1,54	5,2	1,0

Даже при небольшой концентрации NPK в сбросных водах, равной 1...5мг/л, за год с одного гектара, вместе с водой, можно удалить с поля 1...8 кг калия, 1...3 кг фосфора и 3...10 кг азотных соединений. Наряду с зависимостью от доз вносимых удобрений, объем выноса химических элементов связан с объемом стока воды с мелиорированных земель. На тех системах, где наблюдается сброс воды в течение всего года, даже при меньшей концентрации растворенных веществ, объем их выноса с единицы площади выше.

По данным наблюдений, выполненных для нескольких польдерных систем, в дренажном стоке отмечается наибольшее содержание солей кальция и магния, меньшее - фосфора. Суммарная концентрация их в дренажном стоке обычно в 1,2...1,5 раза выше, чем в водоприемнике.

По данным Лебедевой Л.В. (Полесский комплексный отдел БелНИИМиЛ) [21,24], на водооборотной польдерной системе "XXIV съезд КПСС" в течение трех лет суммарное содержание кальция, железа, азотистых соединений и углекислого газа в дренажном

стоке значительно превышало этот показатель в водах реки (табл.4.3).

В качестве мероприятий по защите естественных водоемов от прямого загрязнения сбросными водами, целесообразно дренажную сеть снабжать колонками-поглотителями, устанавливаемыми в пониженных местах (рис.4.12^а), а сопряжение магистрального канала с водоприемником осуществлять через водохранилище-накопитель с водосливом и отводом воды по мелководью. При этом, происходит как механическая очистка воды от взвесей, так и биохимическая - за счет аэрирования ее при сбросе и биоочистки на мелководьях (рис.4.12^б). Кроме недопущения загрязнения водоприемников, здесь более рационально используются и земельные ресурсы в зоне мелководий.

Не менее существенной является проблема гидравлического транспорта твердых и взвешенных наносов, могущих содержать и содержащих радиоактивную пыль. Для выяснения данного вопроса на польдере "XXIV съезд КПСС" исследованы три открытых коллектора (0-3, 0-5, 0-5, 0-7), протяженностью 2,8 км каждый. На этих коллекторах закреплено два створа по контролю за деформацией каналов во времени. Дно верхней части каналов закреплено фашиной, нижняя часть - не закреплена. Створы на каналах выбраны с расстоянием 300 м друг от друга с тем расчетом, чтобы было меньше различий в почвогрунтах. Первый створ проходит на участках без крепления дна, второй - с креплением дна. Откосы на всем протяжении трассы закреплены посевом трав.

После сдачи каналов в эксплуатацию были выполнены замеры, с привязкой к постоянной условной отметке. Спустя пять лет, проведены контрольные замеры и осуществлена визуальная оценка состояния откосов. Результаты замеров приведены на рис.4.13, откуда видно, что за три года слой заиления составил в канале 0-3 - 19...24 см без крепления дна и 10...15 см - с креплением; по каналу 0-5, соответственно, - 12...20 см и 13...20 см; по каналу 0-7 - 16...17 см и 12...24 см. В целом, можно сделать вывод о том, что за пять лет существования открытых коллекторов они заилились слоем от 10 до 24 см. Интенсивность заиления - 3...5 см в год.

Заиление дна каналов происходит особенно интенсивно в первые два года эксплуатации за счет деформации откосов. Сущность деформации заключалась в следующем: в результате действия дождевых потоков воды происходил размыв откосов от бровки до их подножия. Воронки размыва в отдельных случаях достигают глубины 0, 5...0, 65 м, шириной 0, 5...1, 0 м по всему откосу. Такие разрушения носят локальный характер, особенно в тех местах, где вода скапливается на пониженных местах бермы, а затем по откосу стекает в канал. Во второй год, таких разрушений уже было меньше, а в четвертый и пятый год деформации отсутствовали, т.к. откосы покрылись травой.

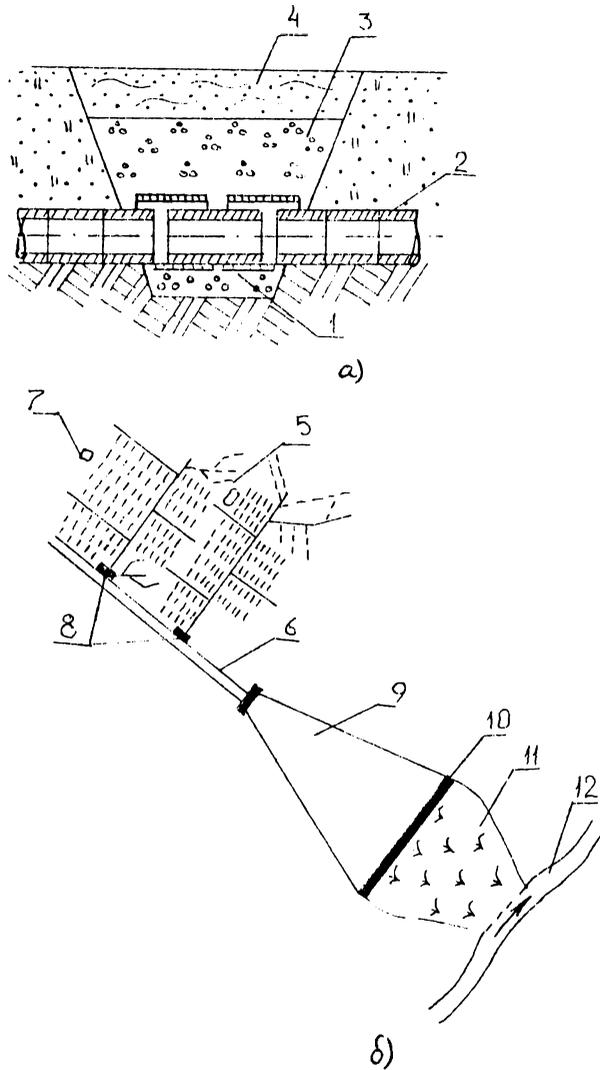


Рис.4.12 Принципиальные схемы водоохраных мероприятий: а) колонка-поглотитель; б) система с биомеханической естественной очисткой; 1 - керамическая трубка; 2 - коллектор (дрена); 3 - засыпка шламом или керамзитом; 4 - грунтовая засыпка; 5 - коллекторно-дренажная сеть; 6 - магистральный канал; 7 - колонки-поглотители; 8 - регулирующие сооружения; 9 - водохранилище-накопитель; 10 - водослив; 11 - сбросная мелководная зона; 12 - водоприемник.