

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИЙ

*Прималенный А. А., канд. геогр. наук, доцент ТНУ им. В. И. Вернадского,
председатель Севастопольского отделения УкрЮНЕПКОМ*

*Тимченко И. Е., д-р физ.-мат. наук, профессор,
заведующий отделом Морского гидрофизического института НАН Украины*

В основе формирования генерального плана административной территории населенного пункта изначально лежит выбор ее функционального использования для оптимального размещения производительных сил.

В данном планировочном аспекте территория представляет собой выделенную часть природной среды, которая обладает определенными присущими ей свойствами, имеющими значение для жизни и хозяйственной деятельности населяющих ее людей. Условимся считать, что локальные участки территории объединяются в составе региона – более крупной территории, которая административно подчиняет себе локальные участки. В свою очередь, регионы составляют в совокупности еще более крупное территориальное образование, под которым обычно подразумевают территорию отдельного государства.

Ресурсами территории являются те ее свойства, которые служат (или потенциально могут служить) предметами конкурентного спроса со стороны технологий производства, применяемых в экономике государства. Участвуя в конкуренции за обладание природными ресурсами, субъекты рыночной экономики преследуют свои экономические интересы, которые зачастую расходятся с интересами всего общества.

Общество вынуждено контролировать наблюдаемые свойства окружающей среды и регулировать потребление природных ресурсов с тем, чтобы исключить негативное влияние на них хозяйственной деятельности. Поэтому рациональное потребление ресурсов должно учитывать как экономические интересы общества, так и его стремление сохранить экологически чистую природную среду. Подобный баланс служит одной из главных концепций устойчивого эколого-экономического развития природно-хозяйственных систем (Прималенный, 1994).

В ряде исследований были предложены информационные технологии управления общественно-экономическими системами, дающие возможность оценивать путем модельных экспериментов допустимые пределы потребления природных ресурсов (Прималенный, 1996, 2001; Тимченко, 1999, 2000). Ввиду сложности и многообразия экологических и экономических процессов, которые необходимо контролировать, решая проблемы устойчивого развития, в упомянутых информационных технологиях были использованы интегрированные оценки экономической выгоды и экологической «полезности» потребления природных ресурсов. В частности, была построена технология, прогнозирующая сценарии получения прибыли с учетом экологических ограничений, которая получила название «ABC AGENT» (Тимченко, 2000; Прималенный, 2001). В настоящем докладе мы рассмотрим системные основы создания подобных технологий и обсудим основные этапы их построения.

Информационные технологии управления устойчивым развитием призваны оказывать поддержку тем решениям, которые администрация территории принимает в процессе использования ресурсов развития. Управляющий орган должен располагать прогностическими сценариями развития для целого комплекса социальных, экологических и экономических задач. Поэтому основой любой технологии управления должна стать динамическая модель социальной эколого-экономической системы (СЭЭС) территории. Этим объясняется особая роль методов создания динамических моделей СЭЭС для управления устойчивым развитием.

Мы рассматриваем метод адаптивного баланса влияний (ABC метод (Тимченко, 1999)) в качестве наиболее перспективного подхода к построению моделей СЭЭС территорий. Не вдаваясь в подробности обоснования этого метода, мы приводим пример его использования при построении динамической модели природно-хозяйственного комплекса «море-суша».

Внешними условиями функционирования подобных комплексов являются эколого-экономические системы регионов, управляемые экономическими процессами страны. Поэтому рассматриваемый пример служит хорошей иллюстрацией той иерархической связи, которая существует между процессами развития, имеющими различную пространственно-временную изменчивость.

Имитация управления процессами в СЭЭС «море-суша» демонстрирует возможность установить рациональный баланс между экономической выгодой и экологической целесообразностью потребления природных ресурсов территорий и акваторий. Это подтверждает перспективность предлагаемых нами системных методов построения информационных технологий управления устойчивым развитием территорий.

1. Системный анализ проблемы устойчивого развития

Базирующаяся на ряде концепций системная методология не имеет альтернативы при изучении проблем устойчивого развития территорий (Прималенный, 1994, 1996; Тимченко, 1999, 2000). Общество формулирует целевые установки развития, исходя из естественного стремления населения к улучшению условий жизни в общественно-экономической формации территории.

Эти установки определяют ожидаемые результаты развития, которые служат эталоном для оценки текущего состояния общественно-экономической системы. Параметры, характеризующие изменения этого состояния, т.е. рассматриваемые как функции времени, мы будем называть сценариями развития.

Под устойчивым развитием следует понимать последовательное движение общества к поставленным целям. При устойчивом развитии текущее состояние неуклонно приближается к ожидаемому, что приносит удовлетворение обществу и стимулирует дальнейшие действия, направленные на усиление прогрессивной тенденции развития. Действия, ускоряющие движение общества к поставленным целям, являются управлением устойчивым развитием.

Управление социальной эколого-экономической системой территории означает последовательное принятие правильных решений по использованию ее ресурсов. Управление природными, экономическими и трудовыми ресурсами территорий предполагает получение текущих сценариев развития и выбор наилучшего из них. Вместе с тем определенные интеллектуальные и финансовые ресурсы должны быть направлены на выбор и обоснование рациональных целевых установок развития.

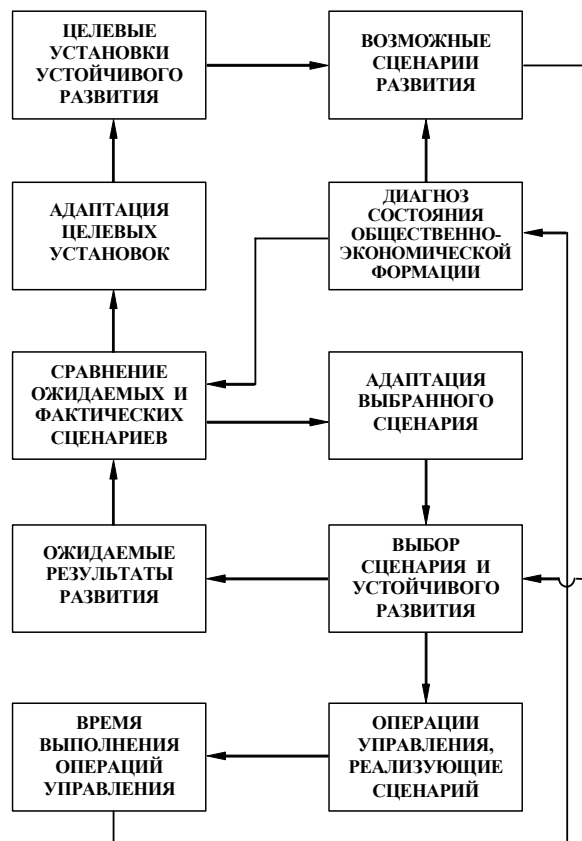


Рис. 1. Общая диаграмма управления устойчивым развитием

Управление устойчивым развитием включает в себе несколько этапов. Наиболее важными среди них следует считать диагноз текущего состояния эколого-экономической системы,

прогноз возможных сценариев ее развития, принятие решения о выборе одного из возможных сценариев и выполнение операций, необходимых для осуществления выбранного сценария.

Выбор сценария производится исходя из целевых установок развития, на основе некоторых критериев отбора. Диагноз текущих состояний дает возможность следить за отклонениями фактического сценария развития от выбранного (планируемого).

Сравнение этих двух сценариев дает важную информацию для управления устойчивым развитием. Информация о том, насколько планируемый сценарий развития отличается от фактического, позволяет не только вводить поправки в систему управления, но и пересматривать установленные ранее цели развития с точки зрения их практической реализуемости.

Таким образом, системный анализ проблемы устойчивого развития ведет к созданию информационной технологии управления развитием, которая включает в себя ряд основных операций сбора, обработки, систематизации и хранения информации о состоянии общественно-экономической формации и о достижимых целях ее развития. Она обеспечивает нахождение целевых установок и возможных сценариев развития, разработку критериев отбора наиболее рациональных из них, а также осуществление последовательности операций управления, ведущих к достижению целей и допускающих корректировку сценариев в процессе развития.

На рис. 1 приведена диаграмма устойчивого развития, которая содержит в качестве отдельных блоков составные элементы информационной технологии системного анализа (Тимченко, 1999).

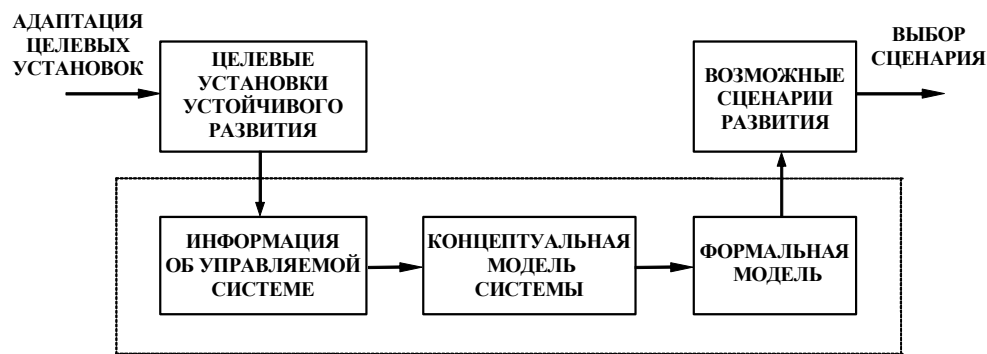
Стрелки указывают последовательность выполнения операций. Они могут быть интерпретированы как потоки информации между блоками или как причинно-следственные связи, образующие замкнутые цепи положительных и отрицательных обратных связей. С их помощью осуществляется динамический баланс процессов развития в социальной эколого-экономической системе территории.

Главные из них обеспечивают непрерывную корректировку операций управления и корректировку целевых установок развития, приближая фактические сценарии развития к ожидаемым сценариям.

Концепции системного анализа (Тимченко, 1999; Прималенный, 2001) позволяют внести ряд существенных дополнений в общую диаграмму управления устойчивым развитием, изображенную на рис. 1. Прежде всего, в ней должна появиться управляемая система, которая представляет общественно-экономическую формацию в процессе ее развития.

Заметим, что для краткости изложения в дальнейшем мы будем говорить о «развитии системы», понимая под этим развитие процессов, дающих сценарии движения к целевым установкам вектора состояния системы.

Управляемая система должна быть расположена между блоками «целевые установки устойчивого развития» и «возможные сценарии развития», как показано на рис. 2.



ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ

Рис. 2. Динамическая модель управляемой системы в общей диаграмме управления устойчивым развитием

Остановимся на том, как должна быть описана управляемая система. Наиболее распространены три способа описания систем: словесный (вербальный), концептуальный (графический, в виде диаграммы) и формальный (в виде системы уравнений и формул). Каждое из этих описаний дает соответствующую модель системы. Возможные сценарии развития способна обеспечить только формальная модель при условии, что входящие в нее динамические уравнения могут быть решены для любого произвольного момента времени. Однако, как станет ясно в дальней-

шем, созданию формализованной динамической модели управляемой системы предшествует построение ее концептуальной модели. Сама же концептуальная модель разрабатывается на основе вербального описания проблемы устойчивого развития и целевых установок, к которым должна быть приведена управляемая система в конце планируемого этапа развития. Поэтому процесс получения возможных сценариев развития состоит из последовательного использования всех трех форм описания управляемой системы.

Это и отражает рис. 2, на котором блок «информация об управляемой системе» подразумевает ее словесное описание. Отметим важность динамической модели для управления развитием. Она позволяет имитировать различные сценарии развития, что обеспечивает возможность выбора одного из них и проведение операций управления. Поэтому большое значение имеет адекватность динамической модели реальным процессам, происходящим в системе.

Для проверки адекватности необходимо производить сравнение полученных по модели прогностических сценариев развития с данными наблюдений о фактических сценариях. Кроме того, данные наблюдений необходимо усваивать в модели, используя их (там, где возможно) в качестве текущих начальных условий для прогнозов.

Операции адаптации динамической модели и усвоения в ней данных наблюдений представлены на рис. 3. Предполагается, что управление развитием общественно-экономической системы сопровождается постоянным сбором и обработкой информации о состоянии системы. Эти операции осуществляются в блоке «мониторинг состояния».

Данные наблюдений поступают в блок «усвоение данных», куда с задержкой на время, отделяющее модельный прогноз от момента поступления наблюдений, подаются возможные сценарии развития.

Усвоение данных наблюдений позволяет использовать концепцию информационного единства для получения наиболее реалистичного диагноза состояния системы. Он представляет собой взвешенное среднее значение из модельного прогноза состояния и непосредственных наблюдений параметров состояния системы.

Оценка точности модельных сценариев по данным наблюдений дает возможность варьировать коэффициенты динамической модели таким образом, чтобы минимизировать ошибки прогнозов. Таким образом, осуществляется адаптация к реальным процессам развития как прогнозируемых сценариев, так и структуры управляемой динамической системы.

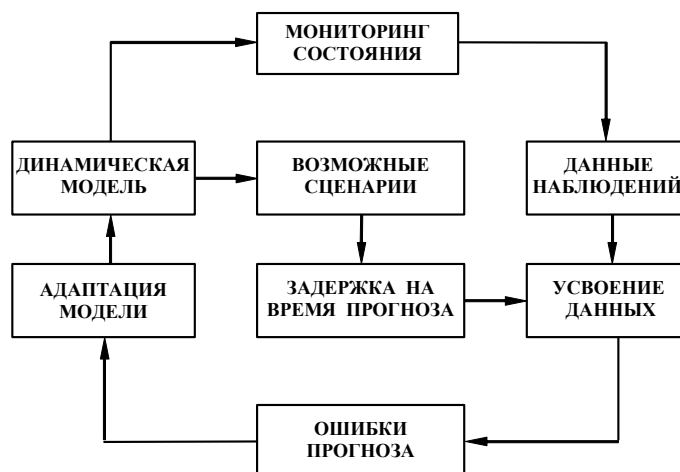


Рис. 3. Адаптация динамической модели управляемой системы

Кроме мониторинга состояний общественно-экономической системы для управления требуется информация об имеющихся ресурсах территории, о тенденциях изменения их состава и объемов, а также анализ того, какие ресурсы необходимы для осуществления выбранного сценария развития. Речь, таким образом, идет о создании и использовании модели динамики ресурсов в общей схеме системной методологии управляемого развития. Модель динамики ресурсов может быть реализована в виде справочной экспертно-аналитической системы, данные в которую поставляет специально организованная служба мониторинга ресурсов.

Орган управления устойчивым развитием должен принимать текущие решения о распределении ограниченных ресурсов развития между краткосрочными (S) и долговременными (L) целевыми установками развития. Концептуальная модель мониторинга и распределения ресурсов приведена на рис. 4.

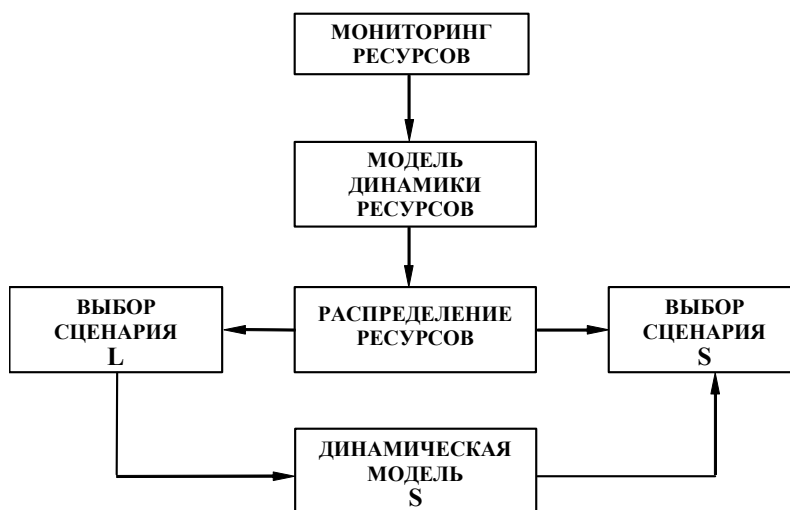


Рис. 4. Распределение ресурсов в иерархии систем, состоящей из долговременной (L) и краткосрочной (S) систем общественно-экономического развития

Долговременная программа развития должна быть основана на L-сценарии, который обеспечивает система управления, занимающая верхнее положение в иерархии двух систем L и S. Примером L-системы может служить СЭЭС государства, в то время как S-система будет соответствовать СЭЭС региона.

2. Иерархия систем управления ресурсами территории

Наряду с рассмотрением долговременных и краткосрочных сценариев развития управление развитием территории предполагает разделение пространственных масштабов изменчивости ее ресурсных свойств. Это означает, что каждый локальный участок территории находится под управляющим воздействием процессов развития того региона, составной частью которого он является.

В свою очередь, развитие региона подчинено внешним влияниям со стороны более крупномасштабных процессов, к которым относятся общегосударственные сценарии развития, распространяющие свое влияние на данный регион.

Рассмотрим в качестве примера иерархию социальных эколого-экономических систем, представляющих процессы развития на территории государства (национальная СЭЭС), отдельных регионов (региональные СЭЭС), а также в пределах отдельных локальных участков территорий регионов (СЭЭС локальных участков).

На верхнем уровне иерархической системы управления развитием находятся модели и информационные технологии принятия решений, которые обслуживают государственные органы управления. Они формируют внешние влияния для моделей информационных технологий, прогнозирующих L-сценарии развития для регионов.

Развитие каждого региона сопровождается естественной и антропогенной эволюцией природных процессов и человеческого общества, потребляющего ресурсы территории. Целевые установки развития для региона обычно определяют характер и уровень потребления ресурсов.

Социальные цели развития регионов согласуются с общегосударственными программами повышения уровня жизни, увеличения занятости и социального обеспечения нетрудоспособной части населения.

Экономические цели развития состоят в рентабельном использовании всех видов ресурсов территории, включая природные, трудовые, инфраструктурные и другие для обеспечения максимального роста производства и получения прибыли.

Экологические целевые установки устойчивого развития заключаются в сохранении биоразнообразия живых организмов, восстановлении запасов промысловых и культивируемых биообъектов, а также в обеспечении адекватной ассимиляционной емкости природной среды по отношению к поступающим в нее отходам хозяйственной деятельности.

На нижнем уровне в диаграмме на рис. 5 расположены модели и технологии управления локальными динамическими процессами (S-сценарии) в социально-экономических и эколого-экономических системах локальных участков территории региона. Они находятся под воздействием региональных L-сценариев развития. Таким путем реализуется системный принцип иерархической подчиненности процессов в сложных системах (Тимченко, 1999; Прималенный, 2001).

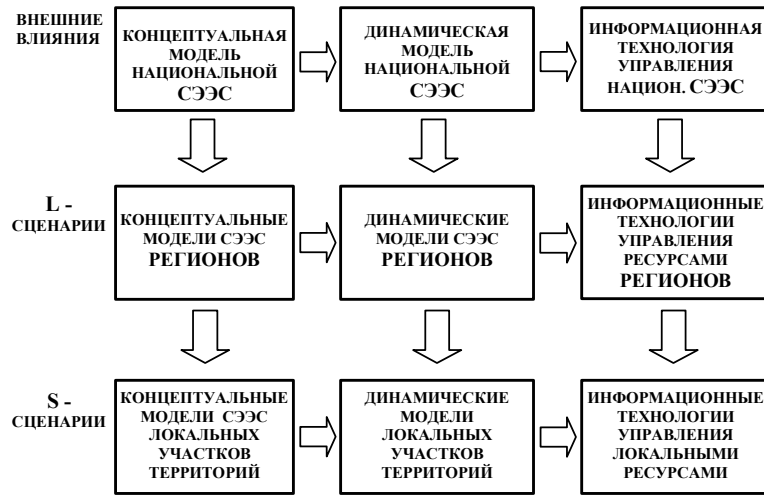


Рис. 5. Иерархия моделей и информационных технологий управления социальными эколого-экономическими системами (СЭЭС) территорий

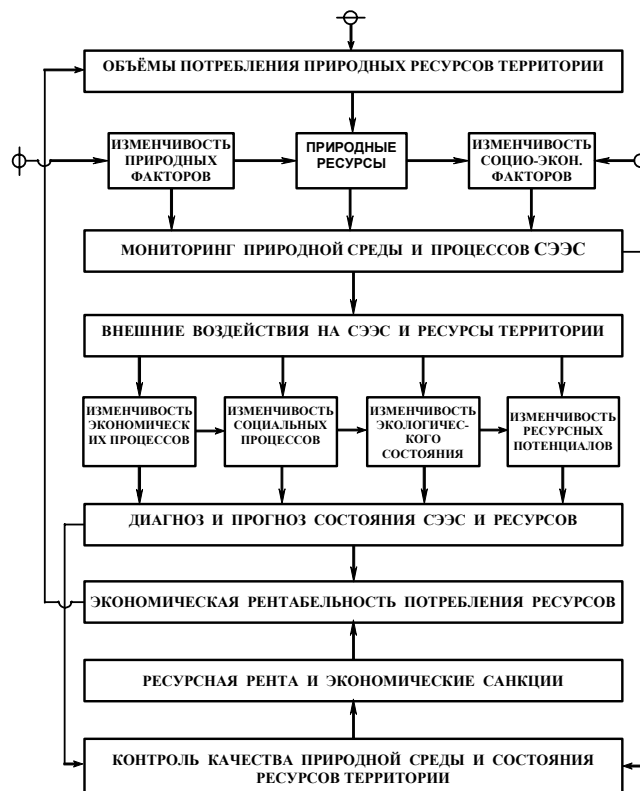


Рис. 6. Общая структура информационной технологии управления ресурсами территории

Стрелки, направленные слева направо, изображают переход от концептуальных моделей к соответствующим информационным технологиям управления. Концептуальные модели означают ментальные формулировки концепции развития систем данного уровня. Они строятся путем сбора и изучения экспертных сведений об имеющихся ресурсах территории, о возможностях и перспективах их использования.

Концептуальные модели должны быть формализованы и введены в компьютер, с помощью которого можно многократно увеличить эффективность построения схем управления развитием. Этой стадии движения слева направо на диаграмме на рис. 5 соответствует этап построения динамических моделей. Крайний справа столбец блоков диаграммы представляет основные инструменты управления развитием территорий – информационные технологии различных уровней.

Системный анализ проблемы позволяет определить основные блоки подобных технологий управления (Тимченко, 2004). Общая структура информационной технологии управления изображена на рис. 6. Технология призвана прогнозировать и контролировать показатели качества развития для каждой территории, управлять объемами потребления всех видов имеющихся видов ресурсов.

Объемы потребляемых ресурсов зависят от экономической рентабельности производства, которая регулируется путем применения ресурсной ренты и экологических санкций за ущерб, наносимый окружающей среде.

Мониторинг природной среды и процессов развития СЭЭС дает возможность сравнивать прогнозируемые состояния СЭЭС с ее фактическими состояниями. Модели изменчивости социальных, экономических и экологических процессов должны обеспечивать прогностические сценарии развития, являющиеся ответными реакциями на различные варианты внешних влияний, идущих со стороны систем, расположенных на более высоком уровне в иерархии систем.

3. Формализация моделей СЭЭС и построение информационных технологий управления развитием

Для получения прогностических сценариев развития территорий необходимы компьютерные модели СЭЭС для всех уровней иерархического подчинения систем. Формализация концептуальных моделей СЭЭС является сложной проблемой на пути практической реализации компьютерной поддержки принимаемых решений при управлении развитием.

Наиболее распространенный в мировой практике метод формализации моделей связан с работами Д. Форрестера (Моисеев, 1981, 1985) и его последователей (Forrester, 1973; Тимченко, 1988, 2004). Это метод системной динамики, получивший широкую известность после создания моделей мирового социально-экономического развития (Моисеев, 1981; Тимченко, 1988).

Однако, как показывают исследования (Тимченко, 1999; Прималенный, 2001), метод системной динамики нельзя считать объективным методом, поскольку его применение зависит от субъективных оценок причинно-следственных связей, предлагаемых экспертами. От этого недостатка свободен метод адаптивного баланса влияний (АВС-метод), разработанный в последние годы (Тимченко, 1999; Прималенный, 2001). Вкратце суть АВС-метода состоит в следующем.

Пусть имеются n переменных: x_1, x_2, \dots, x_n , которые характеризуют сценарии в социальной эколого-экономической системе территории. Обозначим через $a_{ij}x_j$ то влияние, которое оказывает процесс x_j на процесс x_i . Примем, что положительным влияние будет тогда, когда тенденции изменения x_j и x_i совпадают по знакам. Динамические уравнения АВС-модели, выражающие собой адаптивный баланс влияний внутри системы, имеют вид

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - x_i; \quad (i, j=1, 2, \dots, n), \quad (i \neq j). \quad (1)$$

Причинно-следственные отношения между процессами предполагают наличие корреляционных связей между ними. Обозначим R_{ij} матрицу коэффициентов взаимной корреляции процессов. АВС-метод моделирования позволяет построить эволюционные уравнения для определения коэффициентов влияния a_{ij} через элементы корреляционной матрицы

$$\frac{da_{ij}}{dt} = R_{ij} - \sum_{k=1}^n a_{ik}R_{ik} - a_{ij}; \quad (i, j, k=1, 2, \dots, n), \quad (i \neq j \neq k). \quad (2)$$

При динамико-стохастическом подходе к моделированию природных процессов для корректировки ошибок прогнозов используются непосредственные наблюдения процессов. Будем обозначать их z_{ij} , понимая под этим символом измерение процесса x_i в момент времени t_j . Сравнение прогноза с соответствующим наблюдением в момент времени t_j дает ошибку или

“невязку” прогноза $z_{ij} - x_{ij}$. Обозначим коэффициенты корреляции невязок прогнозов $P_{ij} = E\{[z_i - x_i][z_j - x_j]\}$. Тогда можно построить следующую систему эволюционных уравнений для коэффициентов взаимной корреляции невязок прогнозов:

$$\frac{dP_{ij}}{dt} = \sum_{l=1}^n a_{il}P_{jl} + \sum_{k=1}^n a_{jk}P_{ik} - 2P_{ij}; \quad (i, j, k, l=1, 2, \dots, n), \quad (i; k \neq j). \quad (3)$$

Решения системы уравнений (3) дают возможность находить оптимальные (по среднеквадратичному критерию) весовые коэффициенты g_{ij} для получения поправок к прогнозам процессов в последующие моменты времени

$$\frac{dg_{ij}}{dt} = P_{ij} - \sum_{k=1}^n g_{ik}P_{ik} - g_{ij}; \quad (i, j, k=1, 2, \dots, n), \quad (i \neq j; k).$$

Теперь оптимальные прогностические оценки процессов хорти могут быть представлены в виде следующей АВС-модели (Прималенный, 2001):

$$\frac{dx_i^{opt}}{dt} = x_i + \sum_{j=1}^n g_{ij}[z_{ij} - x_{ij}] - x_i^{opt}. \quad (5)$$

Переменные, стоящие в квадратных скобках, должны быть получены в результате прогнозов на моменты времени поступления измерений процессов. Таким образом, уравнения (1)-(5) представляют собой замкнутый алгоритм динамико-стохастической АВС-модели (Колмогоров, 1941; Forrester, 1973) системы взаимосвязанных эколого-экономических процессов развития. Алгоритм лежит в основе информационной технологии управления этими процессами, так как он обеспечивает адаптацию к наблюдениям прогностических сценариев развития.

4. Динамические модели межотраслевого баланса

Экономическая полезность ресурсов территории определяется технологиями производства товаров и услуг, обеспечивающих ту социальную эколого-экономическую систему, которой принадлежит данный участок природной среды. Располагая динамической АВС-моделью СЭЭС данного участка территории, мы имеем возможность прогнозировать необходимые для управления S-сценарии развития.

Однако в соответствии с общей иерархией подчиненности процессов развития (см. рис. 5) при этом должны быть использованы L-сценарии процессов развития в системе того региона, к которому принадлежит данный участок. К числу основных технологий производства этой системы мы отнесем технологии отраслей экономики, входящих в уравнения межотраслевого баланса экономической системы региона (Еремеев, 2004).

Для построения модели межотраслевого баланса представим объемы производства отраслей V_i в приведенном виде, используя метод адаптивного баланса влияний (АВС-метод). Объем производства V_i отрасли T_i выразим безразмерной величиной v_i , меняющейся в пределах интервала значений $[0,1]$. Ту часть объема производства отрасли T_i , которая направляется в отрасль T_j для удовлетворения ее технологических потребностей, будем считать величиной, характеризующей степень влияния отрасли T_j на объем производства V_i .

Тогда безразмерный объем производства v_i можно представить как совместный результат влияний на отрасль T_i со стороны всех остальных отраслей экономики (технологический спрос), а также потребительского спроса A_i на продукцию отрасли со стороны общественно-экономической системы (конечное потребление).

$$v_i = A_i + \sum_j a_{ij} v_j. \quad (i, j = 1, 2, \dots, n), \quad i \neq j. \quad (6)$$

В этом выражении коэффициенты a_{ij} устанавливают степени влияния отраслей экономики друг на друга.

Аналогичные соотношения связывают между собой цены на продукцию различных отраслей. Все технологические расходы, связанные с изготовлением единицы продукции, представляют собой сумму влияний цен на продукцию в других отраслях экономики. Если обозначить степени этих влияний b_{ij} , а добавленную стоимость отрасли T_i как Q_i , то для цен получим следующее выражение:

$$p_i = Q_i + \sum_j b_{ij} p_j. \quad (i, j = 1, 2, \dots, n), \quad i \neq j. \quad (7)$$

С учетом формул (6) и (7) метод адаптивного баланса влияний дает следующие динамические уравнения межотраслевого баланса (Прималенный, 1994):

$$\begin{aligned}
\frac{dv_i}{dt} &= v_i \left[1 - 2 \left(v_i - A_i - \sum_j a_{ij} v_j \right) \right], \\
\frac{dp_i}{dt} &= p_i \left[1 - \left(p_i - Q_i - \sum b_{ij} p_j \right) \right], \\
\frac{dA_i}{dt} &= A_i \left[1 - 2(A_i + a_{A_i} p_i) \right], \\
\frac{dQ_i}{dt} &= Q_i \left[1 - 2(Q_i - a_{Q_i} v_i) \right]
\end{aligned} \tag{8}$$

Приведенные уравнения представляют одну из возможных АВС-моделей социальной общественно-экономической системы региона, изображенной на диаграмме рис. 5. Они выражают собой состояние динамического баланса этой системы, управляемой внешними факторами, в качестве которых выступает переменный потребительский спрос на продукцию всех отраслей экономики A_i и добавленная стоимость Q_i .

Основными составляющими себестоимости единицы продукции отрасли являются технологические затраты (стоимость труда, энергии, транспорта и др.), расходы на природоохранные действия (ресурсная рента, экологические штрафы и др.) и затраты на приобретение природных ресурсов (стоимость добычи, доставки, обработки, хранения и др.), а также налоговые отчисления.

Пусть в единице производимой продукции содержится y_1 единиц первого вида затрат, y_2 – второго вида и т.д. до y_m вида включительно. Тогда для себестоимости производства по технологии T_i имеем следующее выражение:

$$q_i = qT_i + qie + \sum_{l=1}^m r_l y_l, \tag{9}$$

в котором qT_i - технологические затраты (включая налоги); qie - стоимость природоохранных действий; r_l - цены на соответствующие природные ресурсы.

Заметим, что под ценой единицы природного ресурса следует понимать те суммарные расходы, которые производство вынуждено произвести для того, чтобы иметь эту единицу ресурса на своем складе в состоянии готовности к использованию.

Рыночная стоимость каждого вида ресурса может служить критерием эффективности разработки этого вида на конкретном участке территории. Иными словами, предприятие может либо закупить недостающее ему количество данного природного ресурса, либо самостоятельно вести его разработку на тех участках, где это возможно и целесообразно.

Решение вопроса требует определенной информационной поддержки. Этой цели может служить информационная технология АВС AGENT, которая учитывает основные экономические процессы, происходящие в типовой технологии производства товаров и услуг.

5. Динамические модели отраслей производства

В работе А. А. Прималенного (2001) было показано, что любая экономическая система содержит в своей основе типовую схему получения и расходования оборотных средств, которая моделируется с использованием логических операций управления, осуществляемых агентами.

Была предложена технология управления производством, получившая название АВС AGENT.

На рис. 7 представлена концептуальная модель производства. На ней представлены основные процессы, характеризующие производство и причинно-следственные зависимости между ними.

Оборотные средства, поступающие от реализации продукта производства, пополняются в случае необходимости кредитами, которые могут накапливаться и в случае неблагоприятной конъюнктуры получения прибыли образуют накопленный долг.

Предположим, что в себестоимости производимого продукта содержится y_1 необходимых экономических затрат на приобретение соответствующих видов ресурсов, y_2 затрат социального назначения (налоги и другие отчисления) и y_3 затрат экологического назначения, по-

крывающих ущерб природной среде от хозяйственной деятельности (уменьшение ассимиляционной емкости природной среды при попадании в нее отходов производства и загрязнений).

Будем рассматривать y_1 , y_2 и y_3 как соответствующие количества ресурсов трех основных видов, необходимые для производства единицы продукции.

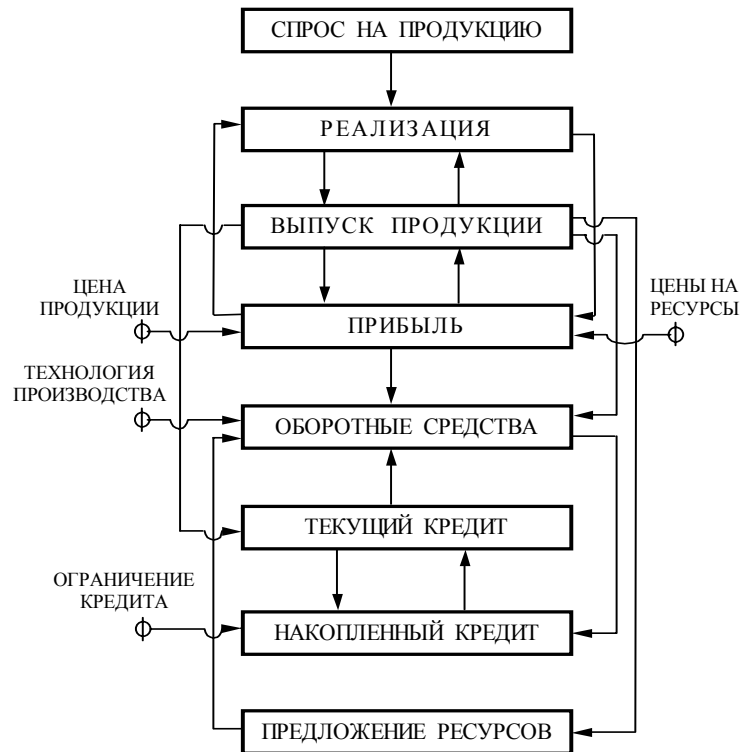


Рис. 7. Структура экономической модели производства

Применим уравнения динамического баланса, которые отражают поступление и расходование готовой продукции H , ресурсов производства $H1_i$ ($i = 1, 2, 3$), финансовых ресурсов (оборотных средств) $H2$ и накопленного долга за потребление ресурсов $H3$. Тогда для количественной оценки объема произведенного продукта имеем

$$H_k = H_j + V_k - S_k, \quad (10)$$

где H_k – количество продукции в текущий момент времени k ; H_j - ее количество в предыдущий момент времени j ; V_k - поступление; S_k - расходование продукции за период времени от момента j до момента k . Обозначим цену продукта (товара) x_2 , его себестоимость x_4 и норму прибыли $N_k = x_2 - x_4$. Реализация товара становится невыгодной, когда $N_k < 0$. Поэтому уравнения реализации должны иметь вид

$$S_k = IF [N_k < 0; 0; R],$$

$$R_k = IF [D_k < H_j; D_k; H_j],$$

где D_k - текущий спрос на товар.

Очевидно, что выпуск товара будет ограничен тем видом ресурсов, поставки которого оказываются минимальными. Если обозначить M_j – минимальный объем ресурсов, имеющийся у производства, то объем выпуска продукции будет определен следующими логическими уравнениями:

$$V_k = IF [D_k < H_j; 0; M1k],$$

$$M1k = IF [D_k - H_j < M_j; D_k - H_j; M_j],$$

$$M_j = \min (m1j1; m1j2; m1j3),$$

$$m1ji = H1ij / y_i \quad i = 1, 2, 3.$$

Для прибыли I_{0k} , доходов P_k и расходов E_k тогда имеем

$$\begin{aligned} I_k &= IF [(P_k - E_k) < 0; 0; P_k - E_k], \\ P_k &= x_{2k} S_k, \\ E_k &= x_{4k} V_k. \end{aligned}$$

Операции ресурсного обеспечения в экономической модели отрасли производства представлены на рис.8. Будем считать, что имеющиеся у отрасли оборотные средства H_2 распределяются на приобретение ресурсов в той же пропорции, в которой каждый из трех видов ресурсов участвует в производстве продукта. Обозначим p_i цены на ресурсы и введем коэффициенты пропорциональности

$$p_i k = p_{ik} y_i [p_{1k} y_1 + p_{2k} y_2 + p_{3k} y_3]^{-1}, \quad (i = 1, 2, 3). \quad (11)$$

Тогда на приобретение i – того ресурса отрасль располагает $p_{ik} H_{2k}$ частью своих оборотных средств. Если этой суммы недостаточно, отрасль имеет возможность взять ресурсы в кредит при том условии, что его долги H_{3k} (накопленный к текущему времени кредит) не превышают некоторой установленной заранее нормы H_{3k}^* . Таким образом, динамика оборотных средств отрасли определяется следующим пассивным балансом:

$$H_{2k} = H_{2j} + I_{0k} - S_{3k},$$

в котором функция S_{3k} имеет смысл расходов на погашение накопленного кредита. Если установить процент погашения θ , то уравнение для S_{3k} принимает форму

$$S_{3k} = IF [H_{3j} \theta < H_{2j}; H_{3j} \theta; H_{2j}].$$

Обозначим объемы приобретаемых в кредит ресурсов V_{11k} , V_{12k} и V_{13k} . Тогда общая стоимость текущего кредита составит

$$V_{3k} = p_{1k} V_{11k} + p_{2k} V_{12k} + p_{3k} V_{13k}.$$

Величина накопленного кредита будет выражена балансовым соотношением

$$H_{3k} = H_{3j} + V_{3k} - S_{3k}.$$

Представим запасы ресурсов, которыми располагает производство, балансовыми соотношениями

$$H_{1ik} = H_{1ij} + V_{1ik} - S_{1ik} \quad (i = 1, 2, 3).$$

Расходование каждого вида ресурсов пропорционально объему выпуска продукции

$$S_{1ik} = V_k y_{i1}.$$

В том случае, когда запас ресурса достаточен для выпуска требуемого объема продукции, закупка ресурса не производится. В противном случае закупается некоторое количество ресурса F_{1ik} :

$$V_{1ik} = IF [(D_k - H_j) y_i < H_{1ij}; 0; F_{1ik}].$$

Функция F_{1ik} ограничивает приобретение ресурсов теми объемами оборотных средств, которыми располагает отрасль экономики. Уравнение для этой функции имеет вид (Прималенный, 2001)

$$F_{1ik} = IF [p'_{ij} (y_i D_k - H_{1ij}) < p_i H_{2j}; y_i D_k - H_{1ij}; R_{1ik}]. \quad (12)$$

В последнее выражение введена функция R_{1ik} , которая призвана контролировать ситуацию с долгом, уже накопленным предприятием к моменту времени k . Эта функция ограничивает приобретение ресурса по мере того, как величина накопленного кредита приближается к заранее установленной норме $p_i H_{3k}^*$.

Таким образом, баланс ресурсов становится адаптивным, поскольку устанавливается обратная связь, стабилизирующая расходы на приобретение ресурсов.

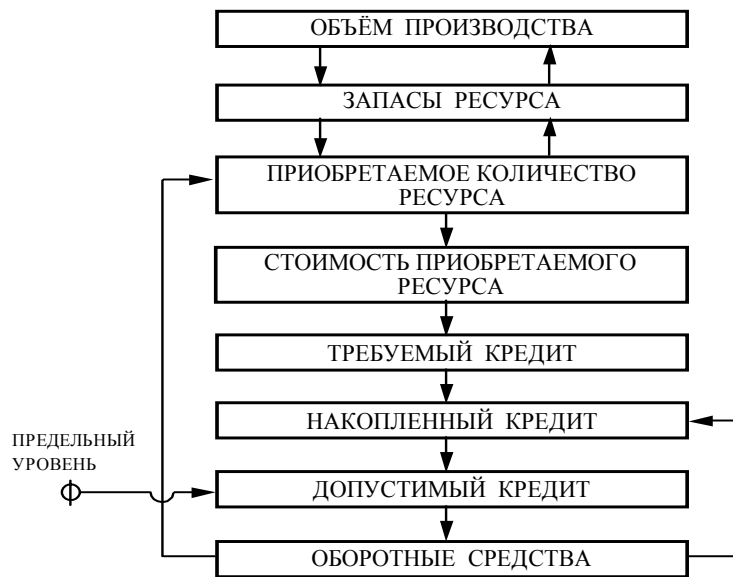


Рис. 8. Операции ресурсного обеспечения в экономической модели отрасли производства

Основными переменными рынка продукта отрасли должны быть спрос на товар z_1 , стоимость товара z_2 , его качество z_3 и себестоимость производства z_4 . В уже использованной выше функции спроса D_k было учтено ограничение спроса z_1 по качеству товара z_3 : спрос на товар прекращается, когда его качество становится ниже некоторого предела z_{30} :

$$D_k = IF [z_{3k} > z_{30} ; z_{1k} ; 0].$$

АВС-уравнения модели рынка продукта представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} z_{1k} &= 2 z_{1j} \{1 - c_1 (z_{1j} + a_{12} z_{2j} - a_3 [1 - \exp \alpha_3 z_{3j}])\}, \\ z_{2k} &= 2 z_{2j} \{1 - c_2 (z_{2j} - a_{24} z_{4j} - a_{23} z_{3j})\}, \\ z_{3k} &= 2 z_{3j} \{1 - c_3 (z_{3j} - a_{3\mu} \mu_j)\}, \\ z_{4k} &= 2 z_{4j} \{1 - c_4 (z_{4j} - a_{4\eta} \eta_j)\}. \end{aligned} \quad (13)$$

В этих уравнениях использованы главные причинно-следственные зависимости между параметрами, характеризующими ситуацию на рынке. В уравнение для спроса введена нелинейная зависимость от качества товара, на которое влияет интегральный параметр μ_0 качества ресурсов q_i :

$$\mu_{0j} = \rho_1 q_{1j} + \rho_2 q_{2j} + \rho_3 q_{3j}.$$

Аналогичным образом себестоимость производства зависит от интегрального параметра стоимости ресурсов. В приведенной форме этот параметр может быть выражен следующим соотношением:

$$\eta_j = \rho_1 y_1 + \rho_2 y_2 + \rho_3 y_3.$$

Таким образом, интегрированное управление экономическими системами отраслей производства может осуществляться путем регулирования допустимой величины их долгов за пользование всеми видами ресурсов производства H_3^* , накопленного за некоторое время. Поскольку социальные и экологические ресурсы присутствуют в модели отрасли на равных правах с экономическими ресурсами, появляется возможность управления отраслью с учетом социальных и экологических целевых установок развития территории.

6. Пример построения концептуальной модели интегрированного управления природно-хозяйственным комплексом «море-суша»

Рассмотрим приведенные выше системные методы построения информационных технологий управления процессами развития на примере природно-хозяйственного комплекса «море-суша» (Тимченко, 2000; Прималенный, 2001). В соответствии с назначением системы в ее

структуру в качестве основных блоков должны быть включены динамические модели морской экосистемы и отрасли, производящей некоторый морепродукт, блок имитационного моделирования внешних условий (заменяющий в данном исследовании модели динамики природной среды и экономики региона), и блок интегрированного управления. Общая диаграмма модели управления показана на рис. 9.

Приведенные на диаграмме блоки отражают основные идеи системного подхода к созданию информационных технологий управления устойчивым развитием, рассмотренные выше. Эта диаграмма является концептуальной моделью интегрированного управления, с помощью которой устанавливается и поддерживается динамический баланс экономической выгоды и социально-экологической целесообразности потребления ресурсов природной среды.

Управление основано на имитационном моделировании сценариев экономических процессов на рынках товаров и услуг и возможных сценариев внешних природных факторов (сезонная изменчивость климата, вынос загрязнений в море со стороны суши и др.)

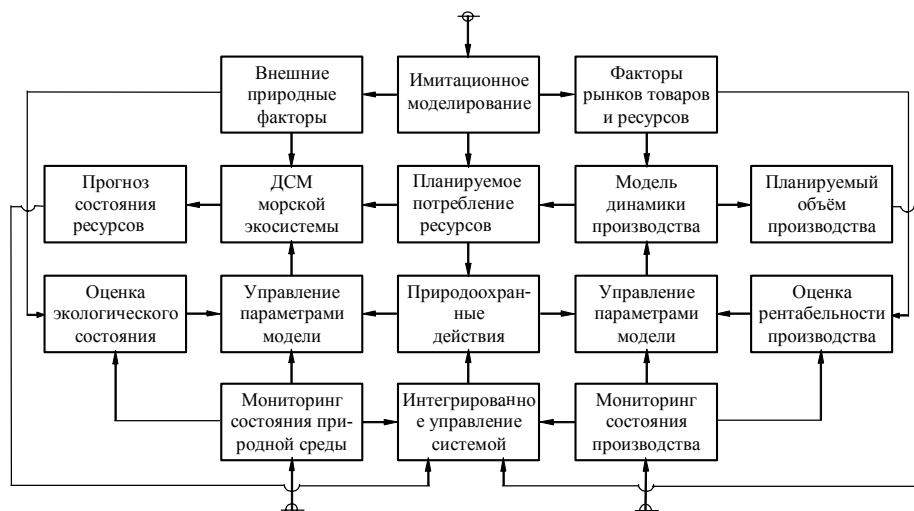


Рис. 9. Концептуальная модель интегрированного управления природно-хозяйственным комплексом «море-суша»

Динамико-стохастические модели (ДСМ) морских экосистем и модели динамики производства дают прогнозы экологического состояния морских ресурсов (биологических и экологических), а также оценки возможной в этих условиях рентабельности производства.

Прогнозируемые сценарии развития непрерывно сопоставляются с фактически наблюдаемыми процессами в море и в экономической системе суши, для чего в модели управления предусмотрен мониторинг как природной среды, так и состояния производства. Эти данные обеспечивают текущие диагностические оценки процессов, протекающих в системе, и позволяют сравнивать ее текущие состояния с ожидаемыми по прогнозам состояниями.

Информация об отклонениях наблюдаемых процессов от прогнозируемых сценариев развития служит основой для интегрированного управления всей системой, а также дает возможность подстраивать параметры динамических моделей. В качестве экономических рычагов регулирования объемов потребления морских ресурсов и уровня загрязнения морской среды отходами производства могут быть использованы следующие компенсационные платежи, взимаемые с экономической системы суши:

- ресурсная рента – стоимость единицы потребляемых морских биоресурсов, умноженная на текущий объем потребления (например, в течение суток);
- природоохранный налог за потребление минеральных ресурсов морской среды, исчисляемый по аналогии с ресурсной рентой;
- экологический штраф – стоимость единицы потребляемых «экологических» ресурсов морской среды, умноженная на текущий объем потребления.

Под экологическими ресурсами здесь понимаются взвешенные разности (отклонения) наиболее важных с точки зрения биоразнообразия биогеохимических параметров морской среды от их естественных (природных) значений. Предполагается, что всякая хозяйственная деятельность в море уменьшает значения экологических ресурсов, приближая их к критическим нулевым отметкам. Поэтому экономическая система суши должна оплачивать природо-

охранные действия, способные восстанавливать естественные природные значения экологических ресурсов. Если же эти значения становятся отрицательными, всякая хозяйственная деятельность в море должна быть прекращена.

В структуре модели интегрированного управления системой «море-суша» должен быть предусмотрен механизм слежения за текущими компенсационными платежами экономической системы суши. Обычно эти операции выполняют интеллектуальные агенты управления (Тимченко, 1999, 2000; Прималенный, 2001). Задержка платежей, вызванная финансовыми обстоятельствами производства, приводит к появлению и накоплению долга конкретного производства по отношению к обществу, которому де-юре принадлежат ресурсы морской среды.

Существует предельное значение накопленного долга, при котором общество вынуждено отказываться производству в дальнейшем потреблении морских ресурсов.

Построение концептуальной модели управления развитием, изображенной на рис. 9, представляет собой первый шаг на пути создания компьютерной технологии поддержки принимаемых решений. Ниже мы рассмотрим использование ABC-метода и динамической модели производства для построения формальных моделей управления.

7. Пример построения формальной динамической модели морской экосистемы

Назначением этой модели является слежение за динамикой тех биогеохимических процессов в морской среде, которые признаны наиболее важными с точки зрения интегрированного управления конкретной системой «море-суша». В соответствии с принципами динамико-стохастического моделирования (Колмогоров, 1941; Ашманов, 1980; Forrester, 1991; Бахвалов, 1997) прогностические сценарии процессов должны быть адаптированы к наблюдаемым значениям этих же или статистически связанных с ними процессов. В качестве примера мы используем динамические уравнения морской экосистемы, предложенной в работе А. А. Прималенного (2001). Ее концептуальная модель, показанная на рис. 10, была основана на следующих допущениях.

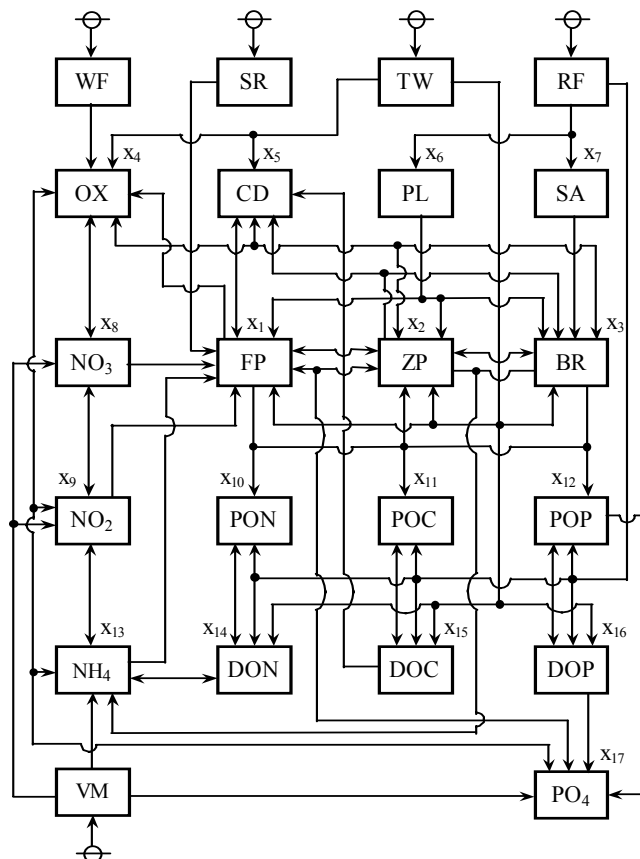


Рис. 10. Концептуальная модель морской экосистемы

Все живые организмы, населяющие морскую среду, характеризуются тремя общими классами: фитопланктон FP, зоопланктон ZP и биоресурс BR. В качестве процесса FP, представляющего фитопланктон, будем рассматривать изменения его биомассы в единице объема, а в качестве процесса ZP – изменения биомассы зоопланктона. Что касается биоресурса BR, то его значения будут представлять биомассу всех остальных живых организмов, включая рыб и других промысловых объектов, чем и объясняется название «биоресурс».

Среди процессов, которые обеспечивают существование перечисленных классов живых объектов, будут солнечная радиация SR, изменения концентраций биогенных элементов – неорганических азота (NO_2 , NO_3 , NH_4) и фосфора PO_4 , углекислый газ CO_2 . Учитывая условия агрегирования компонент модели, будем рассматривать в ней только классическую трофическую цепь: фитопланктон → зоопланктон → биоресурс. Примем также традиционную схему трансформации органического вещества, при которой отмирающие живые организмы являются источниками взвешенного органического азота PON, углерода POC и фосфора PON. Взвешенная фаза частично переходит в растворенную, образуя концентрации растворенных органических азота DON, углерода DOC и фосфора DOP. Затем на завершающей стадии трансформации органического вещества образуются минеральные (неорганические) формы азота NH_4 , NO_2 , NO_3 и фосфора PO_4 .

В качестве внешних природных факторов, влияющих на экосистему, будем учитывать приводный ветер WF, температуру морской воды TW, вертикальные перемещения водных масс VM и пресноводный сток RF, который выносит в море органические вещества и биогенные элементы NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 . Одновременно в море выносятся загрязняющие вещества, которые влияют на концентрацию PL в морской среде и на соленость морской воды SA.

Построенная с учетом взаимных влияний концептуальная модель экосистемы (рис. 10) была формализована методом адаптивного баланса влияний (ABC-методом) (Тимченко, 1999, 2000; Прималенный, 2001).

$$\begin{aligned}
 \frac{dx_1}{dt} &= c_1 x_1(t) \{x_1^* - AD_{15} - AD_{18} - AD_{19} - AD_{1/13} - AD_{1/17} - AD_{1/SR} - [x_1(t) - AP(x_5, \\
 &x_8, x_9, x_{13}, x_{17}, SR, \alpha_{FP}) + a_{12} x_2(t) + a_{16} x_6 - a_{1/TW} (TW(t))\}; \\
 \frac{dx_2}{dt} &= c_2 x_2(t) \{x_2^* - AD_{21} - AD_{24} - [x_2(t) - AP(x_1, x_4, \alpha_{ZP}) + a_{23} x_3(t) - a_{2/TW} (TW(t)) + \\
 &+ a_{26} x_6(t)\}; \\
 \frac{dx_3}{dt} &= c_3 x_3(t) \{x_3^* - AD_{32} - AD_{34} - [x_2(t) - AP(x_2, x_4, \alpha_{BR}) + a_{37} x_7(t) - a_{3/TW} (TW(t)) + \\
 &+ a_{36} x_6\}; \\
 \frac{dx_4}{dt} &= c_4 x_4(t) \{x_4^* - AD_{4/TW} - [x_4(t) - a_{41} x_1(t) + a_{42} x_2(t) + a_{43} x_3(t) + a_{48} x_8(t) + \\
 &+ a_{49} x_9(t) + a_{45} x_5 + a_{4/13} x_{13} + a_{4/17} x_{17} - a_{4/WF} (WF(t)) + a_{4/TW} (TW(t))\}; \\
 \frac{dx_5}{dt} &= c_5 x_5(t) \{x_5^* - [x_5(t) - AP(x_4, x_{15}) + a_{51} x_1(t) - a_{52} x_2(t) - a_{53} x_3(t) - a_{5/TW} (TW(t))\}; \\
 \frac{dx_6}{dt} &= c_6 x_6(t) \{x_6^* - [x_6(t) - a_{6/RF} (RF(t))\}; \\
 \frac{dx_7}{dt} &= c_7 x_7(t) \{x_7^* - [x_7(t) - a_{7/RF} (RF(t))\}; \\
 \frac{dx_8}{dt} &= c_8 x_8(t) \{x_8^* - [x_8(t) - AP(x_4, x_9) + a_{81} x_1(t) - a_{8/VM} (VM(t))\}; \\
 \frac{dx_9}{dt} &= c_9 x_9(t) \{x_9^* - [x_9(t) - AP(x_4, x_{13}) + a_{91} x_1(t) - a_{9/VM} (VM(t))\}; \\
 \frac{dx_{10}}{dt} &= c_{10} x_{10}(t) \{x_{10}^* - [x_{10}(t) - a_{10/1} x_1(t) - a_{10/2} x_2(t) - a_{10/3} x_3(t) + a_{10/14} x_{14}(t) \\
 &- a_{10/RF} (RF(t))\};
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

$$\begin{aligned} \frac{dx_{11}}{dt} &= c_{11} x_{11}(t) \{x_{11}^* - [x_{11}(t) - a_{11/1} x_1(t) - a_{11/2} x_2(t) - a_{11/3} x_3(t) + a_{11/15} x_{15}(t) - \\ &- a_{11/RF} (RF(t))]\}; \\ \frac{dx_{12}}{dt} &= c_{12} x_{12}(t) \{x_{12}^* - [x_{12}(t) - a_{12/1} x_1(t) - a_{12/2} x_2(t) - a_{12/3} x_3(t) + a_{12/16} x_{16}(t) - \\ &- a_{12/RF} (RF(t))]\}; \\ \frac{dx_{13}}{dt} &= c_{13} x_{13}(t) \{x_{13}^* - [x_{13}(t) - AP(x_4, x_{14}) + a_{13/1} x_1(t) - a_{13/2} x_2 - a_{13/3} x_3 - \\ &- a_{13/VM} (VM(t))]\}; \\ \frac{dx_{14}}{dt} &= c_{14} x_{14}(t) \{x_{14}^* - [x_{14}(t) - a_{14/10} x_{10}(t) - a_{14/RF} (RF(t)) - a_{14/TW} (TW(t))]\}; \\ \frac{dx_{15}}{dt} &= c_{15} x_{15}(t) \{x_{15}^* - [x_{15}(t) - a_{15/11} x_{11}(t) - a_{15/RF} (RF(t)) - a_{15/TW} (TW(t))]\}; \\ \frac{dx_{16}}{dt} &= c_{16} x_{16}(t) \{x_{16}^* - [x_{16}(t) - a_{16/12} x_{12}(t) - a_{16/RF} (RF(t)) - a_{16/TW} (TW(t))]\}; \\ \frac{dx_{17}}{dt} &= c_{17} x_{17}(t) \{x_{17}^* - [x_{17}(t) - AP(x_4, x_{16}) - AP(x_4, x_{17}) - a_{17/VM} (VM(t))]\}. \end{aligned}$$

В этих уравнениях для компонент вектора состояния экосистемы были использованы следующие обозначения: $x_1(t)$ – концентрация фитопланктона FP; $x_2(t)$ – концентрация зоопланктона ZP; $x_3(t)$ – концентрация биоресурса BR; $x_4(t)$ – содержание растворенного кислорода OX; $x_5(t)$ – содержание углекислого газа CD; $x_6(t)$ – концентрация загрязняющих веществ PL; $x_7(t)$ – соленость морской воды SA; $x_8(t)$ – содержание неорганического азота в форме NO_3 ; $x_9(t)$ – содержание неорганического азота в форме NO_2 ; $x_{10}(t)$ – содержание взвешенного органического азота PON; $x_{11}(t)$ – содержание взвешенного органического углерода POC; $x_{12}(t)$ – содержание взвешенного органического фосфора POP; $x_{13}(t)$ – содержание аммонийного азота NH_4 ; $x_{14}(t)$ – концентрация растворенного органического азота DON; $x_{15}(t)$ – концентрация растворенного органического углерода DOC; $x_{16}(t)$ – концентрация растворенного органического фосфора DOP; $x_{17}(t)$ – содержание неорганического фосфора в форме PO_4 ; x_{17}^* – средние значения процессов.

Присутствующие в правых частях уравнений (14) слагаемые вида AD представляют собой первую группу интеллектуальных агентов управления. Они имеют следующие выражения:

$$\begin{aligned} AD_{15} &= IF \{x_5(t) > x_{50}; 0; x_1^*[1 - \exp(-\alpha_{15}t)]\}; \\ AD_{18} &= IF \{x_8(t) > x_{80}; 0; x_1^*[1 - \exp(-\alpha_{18}t)]\}; \\ AD_{19} &= IF \{x_9(t) > x_{90}; 0; -x_1^*[1 - \exp(-\alpha_{19}t)]\}; \\ AD_{1/13} &= IF \{x_{13}(t) > x_{130}; 0; x_1^*[1 - \exp(-\alpha_{1/13}t)]\}; \\ AD_{1/17} &= IF \{x_{17}(t) > x_{170}; 0; x_1^*[1 - \exp(-\alpha_{1/17}t)]\}; \\ AD_{1/SR} &= IF \{SR(t) > SR_0; 0; x_1^*[1 - \exp(-\alpha_{1/SR}t)]\}; \\ AD_{21} &= IF \{x_1(t) > x_{10}; 0; x_2^*[1 - \exp(-\alpha_{21}t)]\}; \\ AD_{24} &= IF \{x_4(t) > x_{40}; 0; x_2^*[1 - \exp(-\alpha_{24}t)]\}; \\ AD_{32} &= IF \{x_2(t) > x_{20}; 0; x_3^*[1 - \exp(-\alpha_{32}t)]\}; \\ AD_{34} &= IF \{x_4(t) > x_{40}; 0; x_3^*[1 - \exp(-\alpha_{34}t)]\}; \\ AD_{4/TW} &= IF \{TW(t) < TW_0; 0; x_4^*[1 - \exp(-\alpha_{4/TW}t)]\}; \end{aligned} \tag{15}$$

Интеллектуальные агенты (15) контролируют поведение экосистемы вблизи границ ее гомеостаза: когда концентрации жизненно важных веществ достигают своих предельно допустимых значений, начинаются процессы деградации экосистемы, которые сопровождаются быстрым уменьшением биомасс FP, ZP и BR.

В условиях (15) границы гомеостаза экосистемы определены допустимыми значениями фитопланктона x_{10} , зоопланктона x_{20} , кислорода x_{40} , форм азота: x_{80} , x_{90} и x_{130} , а также солнечной радиации SR_0 . Аналогичные условия легко могут быть установлены по углероду и фосфору. Скорости деградации экосистемы регулируются выбором параметров α_{ij} .

Вторая группа интеллектуальных агентов, имеющая в модели (14) обозначения вида AP, контролирует зависимости биомасс FP, ZP и BR от наличия необходимых им видов ресурсов. Они учитывают лимитирующие факторы роста соответствующих биомасс:

$$\begin{aligned}
 AP(a54 x4, a5/15 x15) &= \min \{x4, x15\} [a54 \text{ or } a5/15]; \\
 AP(a84 x4, a8/15 x9) &= \min \{x4, x9\} [a84 \text{ or } a8/15]; \\
 AP(a94 x4, a9/13 x13) &= \min \{x4, x13\} [a94 \text{ or } a9/13]; \\
 AP(a13/4 x4, a13/14 x14) &= \min \{x4, x14\} [a13/4 \text{ or } a13/14]; \\
 AP(a17/4 x4, a17/16 x16) &= \min \{x4, x16\} [a17/4 \text{ or } a17/16]; \\
 AP(a17/4 x4, a17/12 x12) &= \min \{x4, x12\} [a17/4 \text{ or } a17/12];
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Третья группа агентов не только отслеживает лимитирующие факторы роста, но также учитывает инерционность процессов роста биомассы FP, ZP и BR с соответствующими постоянными времени α_{FP} , α_{ZP} и α_{BR} :

$$\begin{aligned}
 AP(x5, x8, x9, x13, x17, SR, \alpha_{FP}) &= IF \{M(t) - M(t - \tau) < 0; a1M xM; \\
 a1M [M(t) + [M(t - \tau) - M(t)] \exp(-\alpha_{FP}t)]\}, \\
 \text{где } M(t) &= \min \{x5(t), x8(t), x9(t), x13(t), x17(t), SR(t)\}; \\
 AP(x1, x4, \alpha_{ZP}) &= IF \{M(t) - M(t - \tau) < 0; a2M xM; \\
 a2M [M(t) + [M(t - \tau) - M(t)] \exp(-\alpha_{ZP}t)]\}, \\
 \text{где } M(t) &= \min \{x1(t), x4(t)\};
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

$$\begin{aligned}
 AP(x2, x4, \alpha_{BR}) &= IF \{M(t) - M(t - \tau) < 0; a3M xM; \\
 a3M [M(t) + [M(t - \tau) - M(t)] \exp(-\alpha_{BR}t)]\}, \\
 \text{где } M(t) &= \min \{x2(t), x4(t)\}.
 \end{aligned}$$

Построенная динамическая модель экосистемы позволяет получить прогностические сценарии развития процессов в море при условии, что входящие в нее параметры каким-либо образом заданы. Общим способом оценки коэффициентов ABC-моделей сложных систем является преобразование их в динамико-стохастические модели (DSM ABC) (Колмогоров, 1941; Forrester, 1991; Прималенный, 2001). Статистический анализ корреляционных зависимостей между моделируемыми процессами дает возможность усваивать в модели (14) информацию об изменчивости реальных процессов за некоторый интервал времени, предшествующий моменту усвоения данных.

Предположим, что существует архив данных наблюдений за процессами x_v , представленными в системе уравнений (14), и за внешними воздействиями на нее WF, SR, TW, RF и VM. Будем считать, что этих данных достаточно для оценки по ним матрицы D - коэффициентов авто и взаимной корреляции процессов x_v . (Ашманов, 1980; Бахвалов, 1997). Обозначим через $D_{ps} = M\{x_p x_s\} / (D_{pp} D_{ss})^{1/2}$ элементы этой корреляционной матрицы

$$\begin{pmatrix}
 1 & D_{12} & D_{13} & \dots & D_{1n} \\
 D_{21} & 1 & D_{23} & \dots & D_{2n} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 D_{n1} & D_{n3} & D_{n4} & \dots & 1.
 \end{pmatrix}$$

Тогда уравнения ABC модели коэффициентов влияний a_{ps} принимают следующий вид (Прималенный, 2001):

$$\begin{aligned}
 \frac{da_{ps}}{dt} + a_{ps} &= D_{ps} - a_{p1} D_{s1} - a_{p2} D_{s2} - \dots - a_{pn} D_{sn}; \\
 (p, s &= 1, 2, \dots, n; \quad p \neq s).
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Система (18) содержит $n(n-1)$ дифференциальных уравнений. Она дает возможность определить все неизвестные коэффициенты влияний в динамической модели (14).

Заметим, что ABC-модель (18) обеспечивает текущую идентификацию (пересчет) коэффициентов путем реанализа наблюдаемых процессов и внешних воздействий, что превращает

ее в динамико-стохастическую модель (ДСМ) (Колмогоров, 1941; Forrester, 1991). Она обеспечивает управление параметрами интегральной модели управления, которое предусмотрено в соответствующих блоках диаграммы на рис. 9.

8. Имитационные эксперименты по управлению процессами в эколого-экономической системе «море-суша»

В качестве индустриального объекта суши, потребляющего морские ресурсы, будем рассматривать отрасль экономики, производящую условный морепродукт. Для описания экономических процессов в отрасли мы будем использовать рассмотренные выше уравнения динамической модели производства. Построение информационной технологии управления для подобной эколого-экономической системы было выполнено в работах И. Е. Тимченко (2000) и А. А. Прималенного (2001). Рассмотрим некоторые примеры имитационного моделирования процессов развития, полученные в этих работах.

В ходе проведенных вычислительных экспериментов проверялась способность информационной технологии (10)-(18) прогнозировать сценарии развития экологических и экономических процессов в зависимости от имитируемых внешних воздействий – природных и экономических факторов.

В качестве внешних влияний на морскую экосистему были имитированы годовые циклы солнечной радиации SR и температуры TW . Кроме того, были заданы специальные сценарии пресноводного стока со стороны суши RF , выноса в море концентрации вредных для морской экосистемы загрязнений PL и вертикального подъема глубинных вод VM , вызванного динамическими факторами взаимодействия моря и атмосферы.

Все эти процессы были приведены к безразмерному виду путем линейного преобразования переменных, а их изменчивость рассматривалась в масштабе единой шкалы $[0,10]$. Имитированные внешние воздействия изображены на рис. 11.

Шаг вычислений по времени равнялся суткам и был принят за единицу времени. Расчеты проводились на 370 безразмерных шагов по времени.

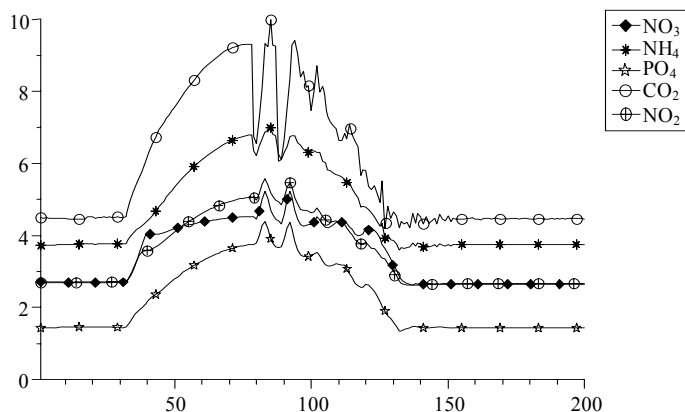


Рис. 11. Имитированный вынос биогенов с речным стоком: NO₃ – нитраты, NH₄ – аммиак, PO₄ – фосфаты, CO₂ – углекислый газ, NO₂ – нитриты

Реакция химических компонент вектора состояния экосистемы приведена на рис. 12. Практически все они отреагировали на поступление с пресноводным стоком загрязнений (химических соединений и органики) ростом своих концентраций.

Аналогичная реакция приурочена ко времени подъема глубинных вод. Вместе с тем на графиках химических соединений заметны небольшие колебания, которые объясняются нелинейными процессами приспособления живых организмов к новым условиям существования.

Повышенное содержание органики привело к резкому увеличению расхода кислорода на окисление. Поэтому изменение концентрации зоопланктона оказалось под действием двух противоположных факторов: роста концентрации фитопланктона и падения содержания кислорода. В результате динамика развития зоопланктона определялась одним из двух лимитирующих факторов, которые, чередуясь между собой, привели к колебаниям концентраций ZP. Эти колебания особенно заметны на графике ZP, изображенном на рис. 12. В свою очередь, колебания зоопланктона отразились на сценариях развития биоресурса BR и всех других связанных с ним сценариях.

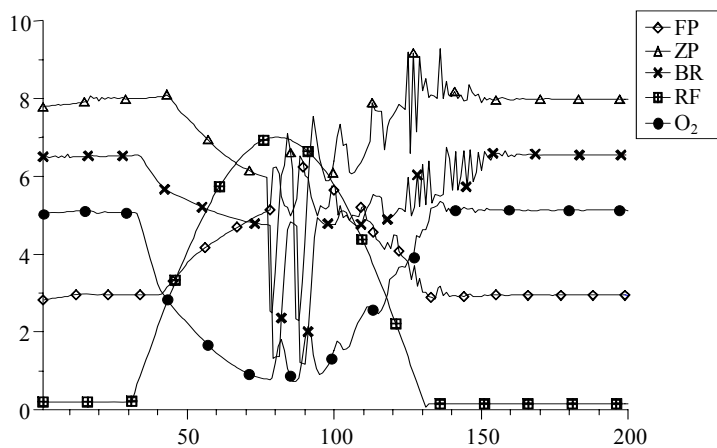


Рис. 12. Реакция экосистемы на вынос биогенов с речным стоком (FP – фитопланктон, ZP – зоопланктон, BR – биоресурс, RF – речной сток, O₂ – кислород)

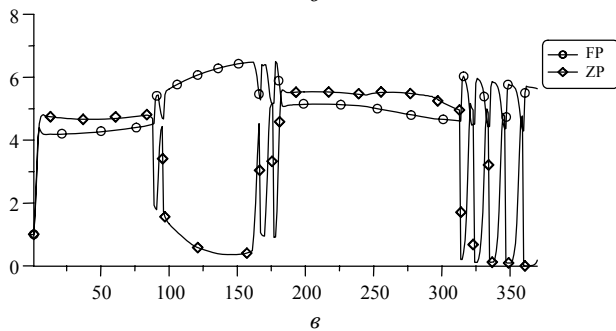
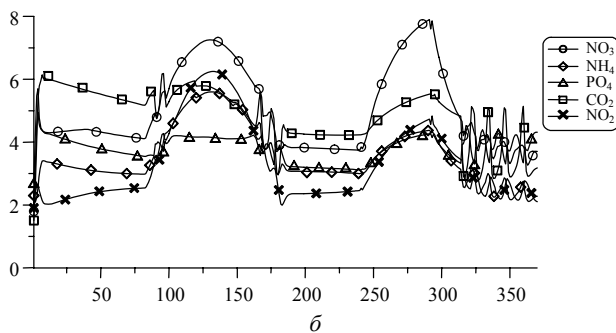
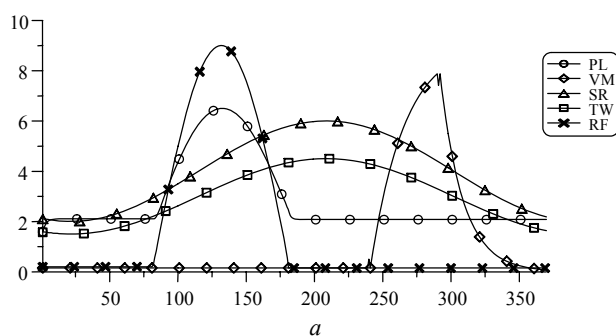


Рис. 13. Реакция морской экосистемы на имитированное внешнее воздействие. Поступление биогенов с речным стоком (с 80-го по 160-ый шаг) и за счет подъема глубинных вод (с 240-го по 330-й шаг вычислений)

Таким образом, имитационные эксперименты подтвердили сложный характер возможных сценариев развития биохимических процессов в море, обусловленных внешними воздействиями. Для проведения эксперимента по управлению экономической системой отрасли были имитированы изменения внешних условий морской экосистемы, вызванные поступлением биогенов с речным стоком (с 80-го по 160-ый шаг), а также происходящие за счет подъема глубинных вод (с 240-го по 330-й шаг вычислений). Графики внешних влияний на экосистему показаны на рис. 13, а. Сценарии развития биохимических процессов в морской экосистеме приведены на рис. 13, б, в.

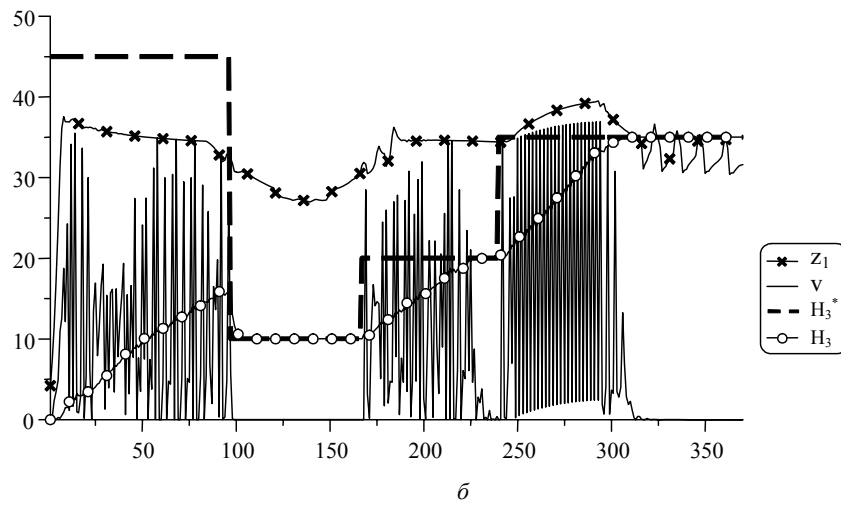
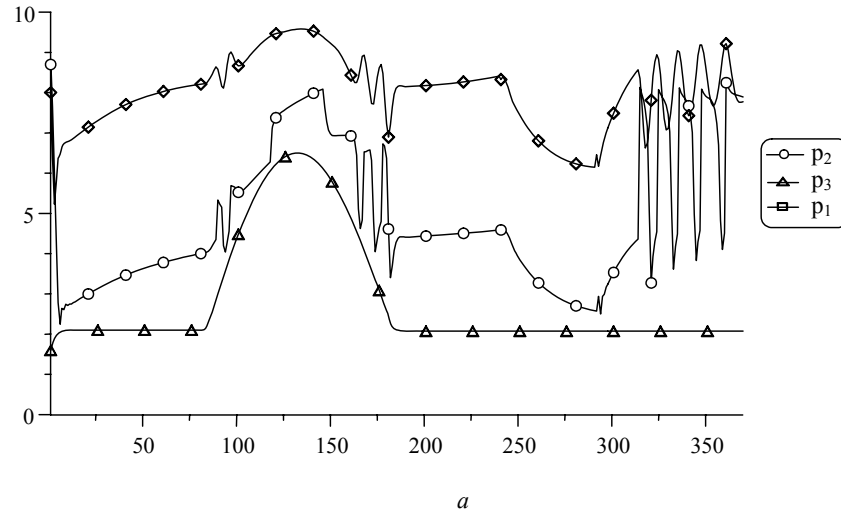


Рис. 14. **Интегрированное управление потреблением ресурсов ПЗМ:**
 а – динамика стоимости потребляемых ресурсов морской среды:
 p1 – биоресурсы, p2 – минеральные, p3 – экологические;
 б – управление выпуском продукции путем изменения допустимого объема
 накопленного долга H_3^* . v – суточные объемы производства морепродуктов

Временная изменчивость состояния морской экосистемы была связана с динамикой стоимости морских ресурсов, которая вызвала определенную реакцию экономической системы суши. В целях упрощения расчетов в качестве сценария стоимости биоресурса была принята зависимость, противоположная его концентрации в море, т.е. величина $p_1 = 10 - x_3$, а в качестве стоимости минеральных ресурсов – аналогичная величина $p_2 = 10 - x_4$, связанная с концентрацией кислорода. Стоимость экологического ресурса была принята пропорциональной концентрации загрязняющих веществ в море $p_3 = x_6$. Сценарии стоимости морских ресурсов

приведены на рис. 14, а. Как следует из рисунка, вынос органики и загрязняющих веществ со стоком с суши существенно повысил стоимости всех трех видов ресурсов в период между 70-ми и 170-ми сутками вычислений. В то же время вертикальный подъем вод понизил стоимости биологических и минеральных ресурсов в период между 240-ми и 290-ми сутками.

Как и следовало ожидать, динамика стоимости ресурсов отразилась на кривой спроса на морепродукт, изображенной на рис. 14, б. Повышение стоимости ресурсов сопровождалось ростом себестоимости производства и, как следствие, увеличением цены морепродукта, определяющей спрос. В свою очередь, понижение спроса привело к уменьшению доходов предприятия и к сокращению его возможностей своевременно рассчитываться за потребляемые им морские ресурсы.

На рис. 14, б частыми вертикальными линиями обозначена динамика выпуска морепродукта за каждые сутки. В начальный период эксперимента выпуск продукции, как правило, не достигал величины спроса, поскольку производство не имело достаточно средств для приобретения ресурсов в нужном ему объеме. Оно было вынуждено вести потребление ресурсов в кредит, что сопровождалось ростом накопленного долга НЗ.

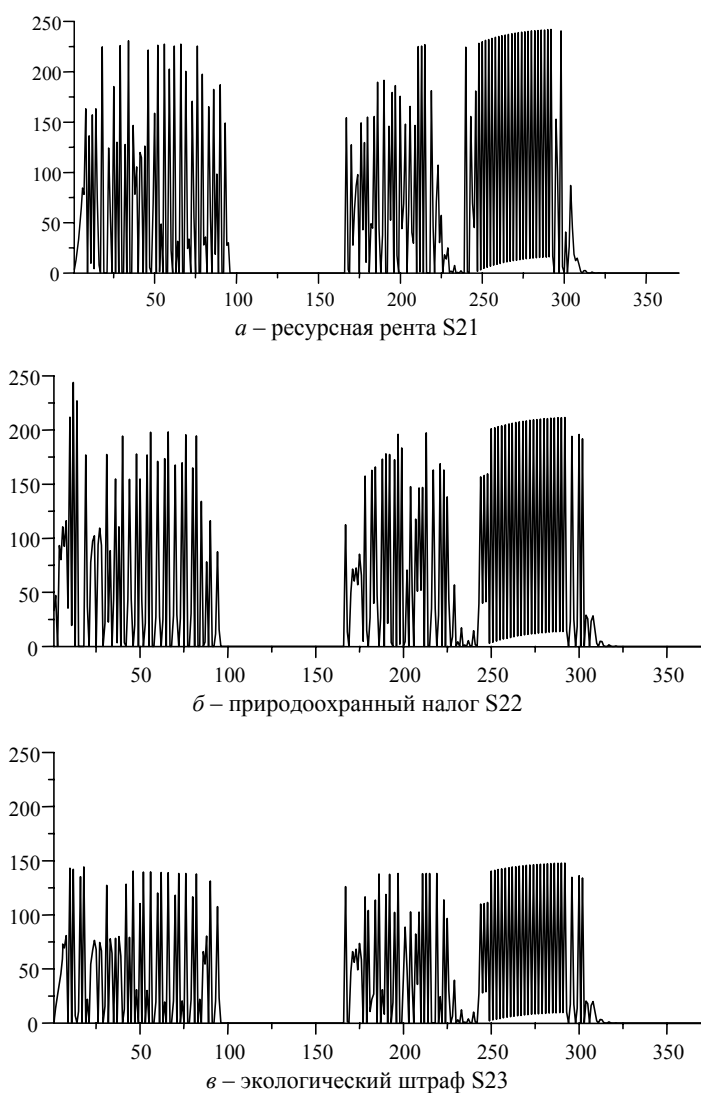


Рис. 15. Реальные объемы экономической компенсации производства за пользование ресурсами морской среды

Управление процессами развития в системе «море-суша» осуществлялось следующим образом. Орган интегрированного управления, ориентируясь на информацию об экологическом состоянии морской среды, установил в начальный период времени (1-е – 100-е сутки) предельно допустимую величину накопленного производством долга в размере $N3^* = 45$ безразмерных единиц (б. е.). В этих условиях отрасль экономики имела возможность продолжать накапливать долги за потребление ресурсов. Однако в период времени с 70-х по 170-е сутки произошло ухудшения экологической ситуации в море, вызвавшее падение концентраций зоопланктона и промысловых биоресурсов (см. рис. 14, в). С целью сохранить запасы биоресурса допустимая величина накопленного отраслью долга была снижена до 10 б. е. Это лишило ее возможности потреблять биоресурсы в кредит и производство было остановлено на период времени с 100-го до 170-го шага (см. рис. 14, б).

После 170-х суток вычислений концентрация биоресурса восстановилась до нормального уровня, как это следует из рис. 14, а. Поэтому отрасль снова получила возможность потребления биоресурса: потолок допустимой величины накопленного долга был повышен: до 20 б. е.

Производство было возобновлено за счет дальнейшего потребления ресурсов в долг. Однако накопленный долг снова достигал предельных значений и производство прекращалось в период с 235-х по 250-е сутки, а также после 310-х суток.

Следует заметить, что накопление долгов за потребление ресурсов не означает, что предприятие никак не оплачивало их стоимость. В соответствии с распределением оборотных средств на приобретение ресурсов (см. формулу (7)) в периоды выпуска продукции происходили ежедневные компенсационные отчисления ресурсной ренты, природоохранного налога и экологического штрафа, как показано на рис. 15, а-в.

Однако динамика расчетов за ресурсы отставала от объемов их потребления в силу недостаточной рентабельности производства. Рассмотренный пример демонстрирует широкие возможности исследования процессов в сложных эколого-экономических системах методами имитационного моделирования. Информационная технология управления процессами развития позволяет найти путем имитационных экспериментов наилучшие варианты использования ресурсов территории для достижения целевых установок развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка систем поддержки решений, принимаемых в процессе управления развитием территорий, включает в себя три основных этапа:

1. Построение концептуальных моделей управления.
2. Формализацию концептуальных моделей.
3. Создание информационных технологий управления.

Современная методология построения концептуальных моделей опирается на принципы системного анализа (Тимченко, 1999; Прималенный, 2001). Она основана на отборе наиболее важных процессов в иерархии социальных эколого-экономических систем территории с точки зрения целевых установок развития. Анализ причинно-следственных зависимостей между отобранными процессами и учет внешних влияний, поступающих с более высоких уровней иерархической подчиненности, завершает этап концептуального моделирования.

На этапе формализации концептуальных моделей необходим достаточно простой и надежный в реализации метод написания систем динамических уравнений, способных давать прогностические сценарии развития.

Использованный нами метод адаптивного баланса влияний (Тимченко, 1999) решает задачи формализации моделей. Он выгодно отличается от известного метода системной динамики (Моисеев, 1985) тем, что позволяет объективно оценивать причинно-следственные связи между процессами путем статистического анализа наблюдаемых сценариев развития.

Располагая динамическими моделями процессов развития, необходимо объединить их в общую информационную технологию управления. Эта задача, решаемая на третьем этапе, требует использования логических операторов управления и даже управляющих подпрограмм (агентов). Примененная нами технология ABC AGENT (Прималенный, 2001) позволяет объединить формальные модели социальных эколого-экономических систем с алгоритмами локальных решений, осуществляемых агентами в процессе управления развитием.

Третий этап нацелен на активное использование данных текущих наблюдений над процессами развития в управлении этими процессами. Необходима текущая адаптация прогностических моделей к реально происходящим переменам в СЭЭС территорий. В технологии ABC AGENT предусмотрена текущая адаптация коэффициентов моделей и непосредственное усвоение в них наблюдений прогнозируемых процессов. Эти операции продиктованы системным принципом информационного единства теории и эксперимента, лежащим в основе управления развитием (Meadows, 1974; Моисеев, 1981).

Рассмотренный пример построения информационной технологии управления для системы «море-суша» демонстрирует достаточно сложные сценарии эколого-экономических процессов. Принятие решений по рациональному использованию ресурсов территорий и акваторий в подобных условиях невозможно без компьютерной поддержки, которая обеспечивает прогнозирование последствий этих решений как для экономики и социальной сферы, так и для экологического состояния природной среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Ашманов С. А.** Математические модели и методы в экономике. – М: МГУ, 1980. – 230 с.
- Бахвалов Л. А.** Моделирование динамики России на основе модели Форрестера // Приборы и системы управления. – 1997. – № 8. – С. 65 -68.
- Брайсон А., Хо-Ю-Ши.** Прикладная теория оптимального управления. – М.: Мир, 1972. – 544 с.
- Еремеев В. Н., Игумнова Е. М., Тимченко И. Е.** Моделирование эколого-экономических систем. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. – 320 с.
- Игумнова Е. М., Тимченко И. Е.** Моделирование процессов адаптации в экосистемах // Морской гидрофизический журнал. – 2003. – № 1. – С. 46 - 57.
- Колмогоров А. Н.** Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей // Изв. АН СССР. Серия матем. – 1941. – № 5. – С. 3-13.
- Моисеев Н. Н.** Математические задачи системного анализа. - М.: Наука, 1981. – 487 с.
- Моисеев Н. Н., Александров В. В., Тарко А. М.** Человек и биосфера. – М.: Наука, 1985. – 275 с.
- Прималенный А. А.** Идеология программируемого управления развитием общественных отношений в республике Крым. – Симферополь: Анаюрт, 1994. – 70 с.
- Прималенный А. А.** О принципах научной организации генерального плана развития Севастополя (шифр «Экополис»): Монография. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2001. – 121 с.
- Прималенный А. А., Кудрявцев В. Б., Тимченко И. Е.** Управление развитием территорий и природно-хозяйственных комплексов на примере Крыма. – Симферополь: Тарпан, 1996. – 320 с.
- Тимченко И. Е.** Системные методы в гидрофизике океана. – К.: Наук. думка, 1988. – 180 с.
- Тимченко И. Е., Игумнова Е. М., Прималенный А. А.** Управление эколого-экономическими системами. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1999. – 180 с.
- Тимченко И. Е., Игумнова Е. М., Тимченко И. И.** Системный менеджмент и ABC-технологии устойчивого развития. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. – 225 с.
- Тимченко И. И., Игумнова Е. М., Тимченко И. Е.** Образование и устойчивое развитие. Системная методология. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. – 520 с.
- Forrester, J. W.** World Dynamics. (2 ed.), Cambridge MA, Productivity Press. 1973.
- Forrester, J. W.** System Dynamics and the Lessons of 35 Years.// A chapter for “The Systemic Basis of Policy Making in the 1990s” edited by Kenyon B. De Greene. MIT Press. 1991
- Meadows, Dennis L., et al.** Dynamics of Growth in a Finite World. Waltham, MA:Pegasus Communications, 1974. - 637 p.
- Sterman, J. D.** Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, Irwin/McGraw-Hill. 1999.
- Timchenko I. E.** Stochastic Modeling of Ocean Dynamics // Harwood Acad. Publ. Chur- London-Paris-New-York, 1984. – 320 p.