

Анализ результатов наблюдений и методы расчета гидрофизических полей океана

УДК 551.46.001.57

Е.М. Игумнова, И.Е. Тимченко

Имитационное моделирование условных ресурсных потенциалов природной среды

Эколого-экономические свойства локальных участков природной среды (территорий и акваторий) предложено характеризовать ресурсными потенциалами, условными по отношению к технологиям их использования. Разработана информационная модель для прогноза сценариев условных ресурсных потенциалов, позволяющая оценивать рентабельность потребления ресурсов. Модель основана на слежении за величиной долга за пользование ресурсами, который накапливает отрасль экономики (предприятие) при неблагоприятной экономической конъюнктуре или при ухудшении экологических условий природной среды. Приведены примеры имитационного моделирования процессов потребления природных ресурсов с целью управления устойчивым развитием эколого-экономических систем.

В последнее время актуальной становится проблема оценки рентабельности экономического использования природных ресурсов с учетом растущих требований к условиям охраны окружающей среды. Природные ресурсы служат основой производства товаров и услуг, приносящих прибыль экономической системе общества. С экономической точки зрения к ресурсам природной среды относятся такие ее свойства, которые являются предметом конкурентного спроса. Участвуя в конкуренции за обладание природными ресурсами, субъекты рыночной экономики преследуют свои экономические интересы, которые часто расходятся с интересами всего общества. Общество вынуждено постоянно контролировать наблюдаемые свойства окружающей среды и регулировать потребление природных ресурсов с тем, чтобы исключить негативное влияние на эти свойства. 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 [1].

В ряде исследований были предложены информационные технологии управления общественно-экономическими системами, дающие возможность оценивать путем модельных экспериментов допустимые пределы потребления природных ресурсов [2,3]. 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* [2].

Целью настоящей статьи является построение имитационной модели, основанной на упомянутой информационной технологии и предназначенной для оценки эколого-экономических свойств локальных участков природной

среды по отношению к различным технологиям производства. Мы рассматриваем имитационную модель в качестве одного из возможных инструментов планирования разработки природных ресурсов, так как она позволяет прогнозировать рентабельность их использования. Вместе с тем, сравнивая между собой уровни рентабельности применения различных технологий производства на данном локальном участке, можно выполнять районирование природной среды (территорий или акваторий) по степени эффективности природопользования в условиях данной эколого-экономической системы.

Условные ресурсные потенциалы природной среды

Каждый локальный участок природной среды обладает рядом свойств, которые могут быть использованы в различных технологиях производства товаров и услуг (далее – продуктов). Примем, что в данной экономической системе имеется n технологий производства продуктов T_i ($i = 1, 2, \dots, n$), а данный участок природной среды обладает m полезными природными свойствами, которые могут рассматриваться как его экономические ресурсы c_j , ($j = 1, 2, \dots, m$). Производство продуктов на данном участке по различным технологиям будет иметь различные экономические эффекты. Для того чтобы оценить перспективность использования ресурсов данного участка по отношению к любой из возможных технологий, будем рассматривать средние значения показателей производства за некоторый интервал времени (например сутки, квартал или год). Введем в рассмотрение условный фактор экономической эффективности участка по отношению к технологии T_i :

$$\Phi_i = p_i S_i [U_i + (U_i^0 - U_i) \exp(-\alpha_{1i} \tau)]^{-1}, \quad U_i = q_i V_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (1)$$

В этой формуле использованы следующие обозначения: p_i – цена единицы продукта, произведенного по технологии T_i ; S_i – объем реализации продукции, произведенной по технологии T_i ; q_i – себестоимость производства; V_i – объем произведенной продукции; α_{1i} – параметр, устанавливающий скорость погашения первоначальных капиталовложений (кредита), использованных для создания и ввода в эксплуатацию основных фондов производства; U_i^0 – размер первоначальных капиталовложений, связанных с организацией производства на данном участке по технологии T_i ; U_i – текущие расходы, связанные с потреблением природных ресурсов и производством продукции; τ – время. Числитель в формуле (1) представляет собой текущую прибыль предприятия, потребляющего природные ресурсы, производящего и реализующего свою продукцию. Чем больше эта прибыль, тем выше экономическая эффективность данной технологии производства на рассматриваемом участке. Вместе с тем имеют значение и те инвестиции, которые необходимы для освоения предприятием ресурсов данного участка природной среды. Текущая прибыль соотносится с текущими затратами, которые выражает знаменатель формулы. Их составляют начальные капиталовложения предприятия и расходы, связанные с производством продукции и амортизацией основных фондов.

Следует считать, что экономическая эффективность тем выше, чем больше величина Φ . Затраты на создание необходимых основных фондов предприятия U_i^0 с течением времени окупаются за счет постоянных отчислений из прибыли, и текущие расходы принимают значение U_i , которое опре-

деляется объемом выпуска продукции V_i и себестоимостью производства. Таким образом, фактор экономической эффективности участка природной среды по отношению к технологии T_i представляет собой переменную функцию времени (сценарий).

Наряду с экономической полезностью каждый участок окружающей среды имеет экологические и социально значимые свойства. В качестве характеристик экологического состояния природной среды прежде всего используются значения предельно допустимых концентраций тех химических веществ, которые способны оказывать вредное влияние на живые организмы, обитающие на данном участке. Кроме того, общим критерием экологического состояния природной среды является уровень биологического разнообразия рассматриваемого участка.

Термин «биологическое разнообразие» определяет в интегральном виде количество различных форм живой материи, их общую концентрацию в единичном объеме природной среды, а также ее изменчивость в пространстве и времени. Столь общее определение делает невозможным измерение величины биоразнообразия. Речь может идти лишь о некоторых весьма приближенных оценках этой величины.

В научной литературе обычно используют три иерархически связанных уровня организации живой материи: генный, видовой и экосистемный [4]. Каждому из уровней присущи особые свойства, которые могут быть использованы для оценки величины биоразнообразия.

На генном уровне основную роль играет объем популяции организмов. Адаптация организмов к меняющимся условиям окружающей среды происходит путем естественного отбора наиболее жизнеспособных особей, которые имеют преимущества перед остальными представителями сообщества и закрепляют эти преимущества в процессе передачи наследуемых признаков. Поэтому даже временное сокращение объема популяции ведет к невосполнимой потере генного разнообразия.

На видовом уровне заметную роль играет широтное распределение форм живой материи: с понижением широты разнообразие видовых форм жизни, как правило, возрастает. Одновременно возрастает и сложность трофических уровней, к которым относятся различные живые организмы. Тесная взаимная зависимость пищевых цепей еще более усложняется циклами биогенных элементов: углерода, кислорода, азота, фосфора и других жизненно важных веществ.

Что же касается экосистемного уровня, то здесь разнообразие может быть представлено тремя видами характеристик [4]:

- функциональное разнообразие, или относительное обилие функционально различных видов организмов;
- разнообразие сообществ, или «пятнистость» пространственного распределения организмов сообщества, а также распределения их по размерам внутри сообщества;
- ландшафтное разнообразие, или разнообразие масштабов «пятнистости».

В настоящее время идентифицировано и описано около 1,4 миллиона живых организмов, в то время как их общее количество по некоторым оцен-

кам превышает 30 миллионов единиц. Недостаточность современных знаний о существующих на Земле формах жизни не позволяет связывать оценку биоразнообразия конкретной природной среды с прямыми измерениями количеств населяющих ее организмов. Более перспективным представляется метод экспертизы биоразнообразия, основанный на установлении общих тенденций к деградации или восстановлению разнообразия: не имея возможности оценить количество организмов, можно сравнивать между собой наблюдения за ними в различные моменты времени. Сопоставление данных наблюдений позволит оценить тенденции процессов, протекающих в экосистеме.

К социально значимым свойствам природной среды естественно отнести такие ее характеристики, которые способствуют укреплению здоровья людей, их самочувствия и настроения. Чистота морских акваторий, включая прибрежные рекреационные зоны, может служить примером подобных свойств. В дальнейшем мы не будем рассматривать социальные факторы использования природных ресурсов. Хотя их учет при моделировании процессов общественно-экономического развития весьма важен, он, как показывают исследования, не вызывает принципиальных затруднений [5,6].

Хозяйственная деятельность людей, связанная с экономическим использованием природных ресурсов, приводит к ухудшению состояния окружающей среды. Для того чтобы количественно оценить это изменение, введем фактор ухудшения экологического состояния участка природной среды Ψ_i , обусловленного потреблением ее ресурсов по технологии производства T_i . Этот фактор представим следующей формулой:

$$\Psi_i = \sum_l^h \frac{\Delta c_{il}}{c_{il}}. \quad (2)$$

Формула (2) учитывает сумму относительных отклонений концентраций вредных химических веществ c_{il} в составе природной среды от их предельно допустимых значений, которые являются последствиями использования ресурсов среды по технологии T_i . В целях компенсации ущерба экологическому состоянию среды следует предусмотреть предъявление штрафных санкций предприятию. Они могут быть введены путем изъятия части прибыли, пропорциональной величине Ψ_i , что приведет к увеличению текущих расходов предприятия на величину $U_i^e = \gamma_i \Psi_i$.

Кроме штрафных санкций предприятие должно платить природную ренту за пользование ресурсами. Величину ренты естественно также связать с экологическим состоянием природной среды, имея в виду ее возобновляемые живые ресурсы. Предполагая, что потребление ресурсов по технологии T_i уменьшает начальные значения концентраций B_{ik}^0 и что последние постепенно восстанавливаются до уровней B_{ik} , суммарное относительное изменение концентраций живых организмов (т.е. их количества в единице объема среды) можно оценить по формуле

$$\rho_i = \sum_k^e [B_{ik} + (B_{ik}^0 - B_{ik})\exp(-\beta_{ik}\tau)] [B_{ik}^{-1}]. \quad (3)$$

Восстановление концентраций до уровней B_{ik} происходит со скоростями, которые определяются параметрами β_{ik} . Заметим, что естественное самоочи-

шение природной среды от антропогенных загрязнений, т.е. постепенное уменьшение величин Δc_{ii} в формуле (2), также можно было бы учесть, представив его выражением, аналогичным формуле (3). Таким образом, ресурсная рента увеличивает себестоимость производства на величину $q_i^e = \delta_i \rho_i$.

Рациональное природопользование означает нахождение и сохранение динамического баланса между экономической выгодой от потребления природных ресурсов и поддержанием экологического состояния окружающей среды в допустимых пределах. Введенные выше факторы Φ_i , Ψ_i и ρ_i позволяют характеризовать эколого-экономический потенциал данного участка природной среды при помощи прогнозируемого сценария рентабельности использования его ресурсов по технологии T_i .

Назовем условным по отношению к технологии T_i ресурсным потенциалом локального участка природной среды следующее выражение:

$$\varphi_i = \ln \Phi_i = \ln p_i S_i - \ln[U_i - (U_i^0 - U_i) \exp(-\alpha_i \tau)] \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (4)$$

где $U_i = (q_i + q_i^e) V_i + U_i^e$. Условные ресурсные потенциалы зависят от большого количества экономических, экологических и (в общем случае) социальных факторов, которые отображают сценарии общественно-экономического развития. Положительные значения φ_i соответствуют экономически рентабельному производству, основанному на потреблении ресурсов локального участка природной среды. Отрицательные значения в течение всего времени предполагаемой эксплуатации локального участка среды указывают на превышение расходов над доходами в силу неблагоприятной экономической и (или) экологической ситуации.

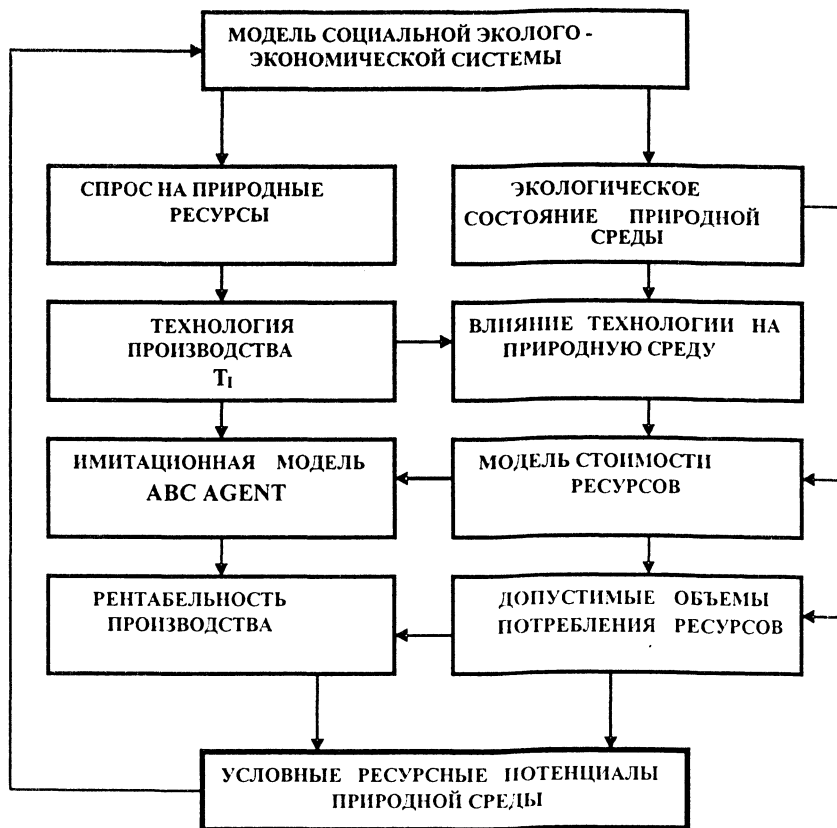
Потенциально рентабельные по отношению к данной технологии производства участки природной среды должны сохранять положительные значения сценариев φ_i , начиная с некоторого времени τ_i^* , при котором текущие доходы от реализации продукции сравниваются по величине с текущими расходами (с учетом не возвращенной к этому времени части первоначального кредита U_i^0). Это характерное для данной технологии производства «время возврата инвестиций» можно оценить по формуле

$$\tau_i^* = \alpha_i^{-1} [\ln(U_i^0 - U_i) - \ln(U_i - p_i S_i)]. \quad (5)$$

Доходы от реализации производимой продукции, которые представляет первое слагаемое в формуле (4), зависят от цены p_i , влияющей на объем реализации S_i . В свою очередь, цена определяется себестоимостью производства q_i , на которую влияет размер ресурсной ренты q_i^e . Кроме того, штрафные санкции за загрязнение природной среды U_i^e могут существенно влиять на второе слагаемое формулы (4). Поэтому условные ресурсные потенциалы локальных участков среды представляют собой сложные функции времени от всех трех факторов: Φ_i , Ψ_i и ρ_i . В масштабах некоторой акватории (или территории) они характеризуются пространственно-временными полями значений φ_i , определяющими перспективы применения технологии T_i в данном регионе.

Динамическая модель оценки локальных ресурсных потенциалов

Для построения сценариев локальных ресурсных потенциалов необходима количественная модель, связывающая переменные величины формул (1) – (4) с процессами развития в социальной эколого-экономической системе, потребляющей природные ресурсы. В соответствии с концепциями системного подхода такая модель может быть основана на экспертном анализе причинно-следственных связей между процессами развития [1,6]. На рис. 1 показаны основные блоки концептуальной модели формирования условных ресурсных потенциалов.



Р и с. 1. Условные ресурсные потенциалы в общей системе природопользования

Экономическая полезность природных ресурсов акватории определяется технологиями производства товаров и услуг, обеспечивающих ту социальную эколого-экономическую систему, которой принадлежит данный участок природной среды. К числу основных технологий производства этой системы отнесем технологии отраслей экономики, входящих в уравнения межотраслевого баланса экономической системы соответствующего региона. Для построения модели межотраслевого баланса представим объемы производства отраслей V_i в приведенном виде, используя метод адаптивного баланса влияний (ABC-метод) [1].

В соответствии с этим методом 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 как 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 [1]:

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

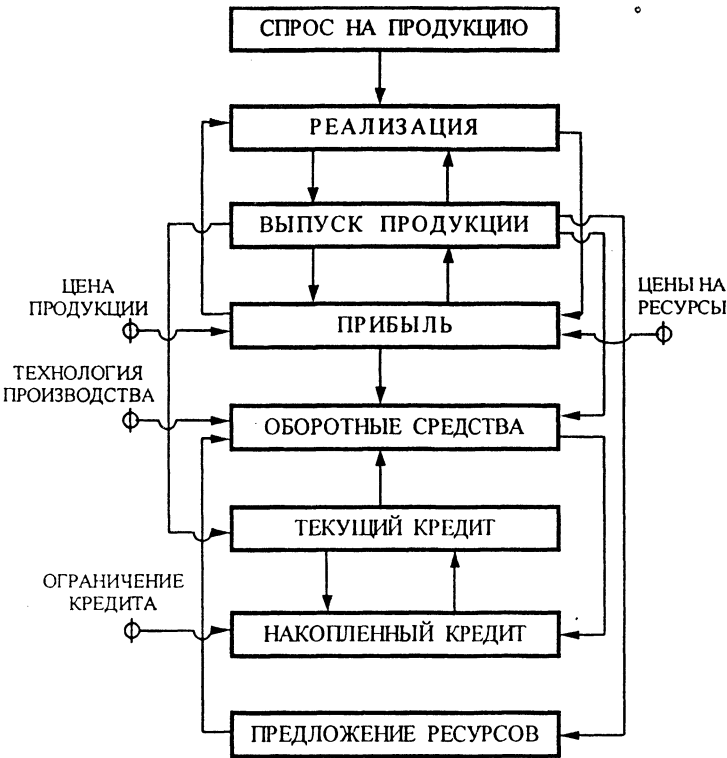
Приведенные уравнения представляют собой одну из возможных *ABC*-моделей социальной общественно-экономической системы, изображенной на диаграмме рис. 1. Они выражают состояние динамического баланса этой системы, управляемой внешними факторами, в качестве которых выступает переменный потребительский спрос 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.). Пусть в единице производимой продукции содержится y_1 единиц первого вида природного ресурса, y_2 – второго вида и т.д. до y_m вида включительно. Тогда для себестоимости производства по технологии T_i имеем следующее выражение:

$$q_i = q_{Ti} + q_i^e + \sum_{l=1}^m r_l y_l, \tag{9}$$

в котором q_{Ti} – технологические затраты, q_i^e – стоимость природоохранных действий, а r_l – цены на соответствующие природные ресурсы.



Р и с. 2. Экономические процессы, происходящие в типовой технологии производства

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 природной среды. 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 этого вопроса требует определенной информационной поддержки.

Этой цели может служить информационная технология *ABC AGENT*, которая учитывает основные экономические процессы, происходящие в типо-

вой технологии производства товаров и услуг. На рис. 2 показана диаграмма процессов, обеспечивающих доходы экономической системы. Спрос на продукцию отрасли, формируемый в системе межотраслевого баланса (8), удовлетворяется путем реализации готовой продукции, накапливаемой на складе, а также дополнительно выпускаемой производством. Обозначим через H_i количество готовой к реализации продукции по технологии T_i . Для случая непрерывной реализации приведенные значения функций H_i можно представить следующими уравнениями ABC-модели:

$$\frac{dH_i}{dT} = H_i[1 - 2(H_i - V_i + S_i)]. \quad (10)$$

Норма прибыли N_i , получаемая от реализации единицы продукции, будет определена разностью ее цены и себестоимости: $N_i = p_i - q_i$. Реализация продукции становится невыгодной, когда $N_i < 0$. Поэтому в технологии ABC AGENT в каждые два последовательных момента времени t_j и t_k эти операции контролируются «агентами реализации продукции»:

$$S_{ik} = \text{IF} (N_{ik} < 0; 0; R_i), \quad R_i = \text{IF} (D_{ik} < H_{ij}; D_{ik}; H_{ij}),$$

где D_{ik} – текущий спрос на продукцию.

Выпуск продукции не должен производиться, когда количество ее на складе превышает спрос. Если же ее не хватает, производство недостающего количества продукции зависит от наличия необходимых ресурсов. Очевидно, что объемы производства V_i будут ограничены теми видами ресурсов, запасы которых оказываются минимальными. Если обозначить через M_j минимальный объем ресурсов, имеющийся у производства по технологии T_i , то объемы выпуска продукции будут определены следующими логическими операциями, которые выполняют агенты, управляющие выпуском:

$$\begin{aligned} V_{ik} &= \text{IF} (D_{ik} < H_{ij}; 0; M_{ik}), \\ M_{ik} &= \text{IF} (D_{ik} - H_{ij} < M_{ij}^1; D_{ik} - H_{ij}; M_{ij}), \\ M_{ij} &= \min (m_{ij}^1; m_{ij}^2; \dots; m_{ij}^l), \end{aligned}$$

где через m_{ij}^k обозначены те количества ресурсов, которыми располагает производство:

$$m_{ij}^k = H_{ij}^k / y_{ik}, \quad k = 1, 2, \dots, l.$$

Для того чтобы увеличить выпуск продукции до объемов, определяемых текущим спросом на нее, отрасль T_i может закупить недостающие ресурсы, используя имеющиеся у нее оборотные средства. Обозначим текущие объемы оборотных средств отраслей как H_{2i} . Их динамика определяется размерами текущих прибылей I_i , кредитов H_{3i} и расходами на приобретение ресурсов S_{2i} :

$$\frac{dH_{2i}}{dT} = H_{2i}[1 - 2(H_{2i} - I_i - H_{3i} + S_{2i})]. \quad (11)$$

Будем считать, что имеющиеся оборотные средства H_{2i} распределяются на приобретение ресурсов в той же пропорции, в которой каждый из видов ресурсов участвует в производстве продукции. Введем коэффициенты пропорциональности

$$\rho_{ik} = r_{ik} y_{ik} [r_{i1} y_{i1} + r_{i2} y_{i2} + \dots + r_{il} y_{il}]^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots, l.$$

Тогда на приобретение k -го ресурса производство располагает $\rho_{ik} H_{2i}$ частью своих оборотных средств. Если этой суммы недостаточно, отрасль имеет возможность приобрести ресурсы в кредит при том условии, что ее долги H_{3i} (накопленный к текущему времени кредит) не превышают некоторой установленной заранее нормы H_{3i}^* . В этом случае в круглых скобках уравнений (11) появляются дополнительные слагаемые S_{3i} , которые имеют смысл расходов на погашение кредита, накопленного отраслью. С учетом процентов погашения кредита θ_i логические условия для S_{3i} принимают форму

$$S_{3i}^k = \text{IF} (H_{3i}^j \theta < H_{2i}^j; H_{3i}^j \theta_i; H_{2i}^j).$$

В последнем выражении верхние индексы по-прежнему обозначают два последовательных момента времени.

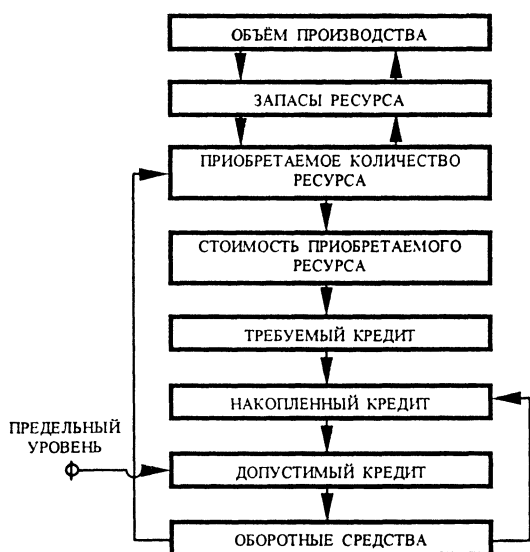
Обозначим объемы приобретаемых в кредит ресурсов через $V_{1i}^1, V_{1i}^2, \dots, V_{1i}^l$. Тогда общая стоимость текущего кредита составит

$$V_{3i} = r_{1i} V_{1i}^1 + r_{2i} V_{1i}^2 + \dots + r_{li} V_{1i}^l.$$

Текущая величина накопленного кредита будет выражена балансовым уравнением

$$\frac{dH_{3i}}{dt} = H_{3i} [1 - 2(H_{3i} - V_{3i} + S_{3i})]. \quad (12)$$

Таким образом, балансовые уравнения ABC -модели (9) – (12) представляют процессы производства, показанные на диаграмме рис. 2.



Р и с. 3. Процессы расходования средств на приобретение ресурсов

Обратимся теперь к процессам расходования средств на приобретение ресурсов. Они изображены на диаграмме рис. 3. Эта диаграмма показывает причинно-следственные связи между объемами производства отраслей, необходимыми для этой цели ресурсами и заимствованием финансовых средств для их приобретения.

Рассмотрим те количества ресурсов, которыми располагает производство по технологии T_i на своих складах. Введем для них обозначение H_{ij}^k , понимая под этим количество j -го

ресурса в момент времени k на складе отрасли T_i . В режиме непрерывного производства эти количества выражаются балансовыми соотношениями

$$\frac{dH_{ij}}{dt} = H_{ij} \left[1 - 2(H_{ij} - V_{ij} + S_{ij}) \right].$$

В этих уравнениях расходование каждого вида ресурсов пропорционально объему выпуска продукции $S_{ij} = V_{ij}$. В том случае, когда запас ресурса достаточен для выпуска требуемого объема продукции, закупка ресурса не производится. В противном случае закупается некоторое количество ресурса F_{ij} :

$$V_{ij} = \text{IF} ((D_i - H_i) y_{ij} < H_{ij}; 0; F_{ij}).$$

Функция F_{ij} ограничивает приобретение ресурсов теми объемами оборотных средств, которыми располагает данная отрасль экономики. Если количество свободных оборотных средств, выделяемых на приобретение i -го вида ресурса, составляет $\rho_{ij} H_{2ij}$, а стоимость недостающего количества j -го ресурса равна $p_{ij} (y_{ij} D_i - H_{1ij})$, то логическое условие для этой функции принимает вид

$$F_{ij} = \text{IF} (r_{ij} (y_{ij} D_i - H_{1ij}) < \rho_{ij} H_{2ij}; y_{ij} D_i - H_{1ij}; R_{ij}).$$

В последнем выражении функция R_{ij} ограничивает приобретение ресурса по мере того, как величина кредита, накопленного отраслью при приобретении ресурсов, приближается к заранее установленному значению H_{3i}^* . Ее устанавливает организация, финансирующая отрасль, или административный орган, регулирующий потребление природных ресурсов в долг.

В работах [2,5] была предложена схема интегрированного управления потреблением ресурсов прибрежной зоны моря, основанная на управлении выпуском продукции путем регулирования величины H_{3i}^* . Эта функция имеет смысл предельно допустимого объема платежей за пользование теми ресурсами, которые отрасль уже изъясла из природной среды, чтобы произвести запасы ресурсов на складах своего производства. Понижая значение H_{3i}^* , общество ограничивает потребление природных ресурсов в целях охраны окружающей среды. Ниже будем использовать эту схему для оценки условных ресурсных потенциалов локальных участков природной среды.

ABC-модели рынков ресурсов и ресурсные потенциалы локальных участков природной среды

В качестве основных переменных, характеризующих состояние рынка ресурсов, выберем цену ресурса r_j , качество ресурса u_j , спрос на ресурс d_j и объем его предложения c_j ($j = 1, 2, \dots, n$). С учетом известных причинно-следственных зависимостей между введенными переменными величинами динамические уравнения ABC-модели рынка ресурсов принимают вид [6]

$$\begin{aligned} \frac{dr_j}{dt} &= r_j \left[1 - 2(r_j + b_{rcj} c_j - b_{rdj} d_j - b_{ruj} u_j) \right], & \frac{dc_j}{dt} &= c_j \left[1 - 2(c_j - b_{crj} r_j - b_{cdj} d_j + b_{cu_j} u_j) \right], \\ \frac{dd_j}{dt} &= d_j \left[1 - 2(d_j - b_{duj} u_j + b_{drj} r_j) \right], & \frac{du_j}{dt} &= u_j \left[1 - 2(u_j - b_{urj} r_j + b_{udj} d_j) \right]. \end{aligned}$$

Заметим, что величина спроса на данный вид ресурса положительно зависит от его качества. Поэтому для функции влияния $b_{duj} u_j$ может быть использовано следующее выражение:

$$b_{duj} u_j = b_{duj} [1 - \exp(-\alpha_{dui} u_j)].$$

Кроме того, качество ресурса зависит от технологии его использования. Поэтому следует учесть ограничение по качеству ресурса: спрос на данный вид ресурса прекращается, когда его качество опускается ниже некоторого предела u_{ij}^0 :

$$d_j = \text{IF} (u_{ij} > u_{ij}^0; u_j; 0).$$

Потребление ресурсов локального участка природной среды приводит к появлению локальных цен на ресурсы и локальных функций предложения ресурсов. До начала использования данного вида ресурсов на локальном участке его стоимость равна рыночной стоимости p_j . По мере начала разработки и потребления ресурса его цена, как правило, понижается до значения r_j , которое следует считать локальной ценой ресурса:

$$r_j = [p_j - (r_j - p_j) \exp(-\delta_{ij} t)]. \quad (13)$$

Значительное удешевление локальных ресурсов по сравнению с приобретаемыми на рынке служит основным стимулом их разработки и потребления. Коэффициент δ_{ij} устанавливает скорость этого процесса. Масштабные разработки ресурсов с целью удовлетворения потребностей не одной, а всех отраслей экономики, могут существенно повлиять и на функцию предложения данного вида ресурсов на рынке. Если обозначить через c_j^l локальную функцию предложения, т.е. объем локально добываемого j -го вида ресурса, то в последнем случае имеет место зависимость

$$c_j = [c_j^l + (c_j - c_j^l) \exp(-\gamma_{ij} t)]. \quad (14)$$

Имитационные эксперименты по оценке условных локальных ресурсных потенциалов

Для удобства имитационного моделирования будем использовать безразмерные (приведенные) величины A , которые связаны с соответствующими реальными размерными величинами A' следующей зависимостью:

$$A = 5 A' [M(A')]^{-1},$$

где $[M(A')]$ – среднее значение интервала изменчивости соответствующей размерной величины A' . Подобное преобразование ограничивает изменчивость сценариев развития интервалом величин $[0, 10]$. При необходимости возврат к исходным (размерным) величинам легко может быть произведен по формуле

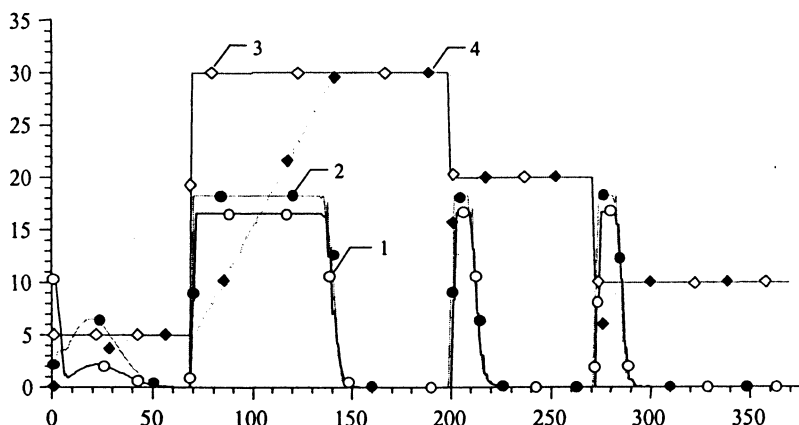
$$A' = 0,2 [M(A')] A.$$

В качестве первого эксперимента рассмотрим сценарии экономических процессов для имитационной модели производства *ABC AGENT*, которая использует три вида природных ресурсов локального участка среды. Примем, что цены на эти ресурсы имеют постоянные значения: $r_1 = 3,7$; $r_2 = 7,0$; $r_3 = 4,5$. Предположим далее, что для производства единицы продукции применяется технология T_1 , для которой необходимо использовать следующие количества ресурсов локального участка: $y_1 = 1,3$; $y_2 = 3,3$; $y_3 = 2,0$. Установим ожидае-

мую цену единицы продукции $p_1 = 7,0$ и определим постоянный объем ее реализации $S_i = 42,0$. Будем считать также, что начальные инвестиции в производство составляют величину $S_i^0 = 10,0$, а процент отчислений из прибыли для покрытия этих расходов равен единице.

Введем теперь экологические ограничения на потребление природных ресурсов. Для контроля за уровнем загрязнения природной среды будем использовать следующий сценарий экологических отчислений из прибыли производства (для определенности будем называть производство предприятием). Потребуем, чтобы предприятие не имело возможности накапливать долги по экологическим платежам за пользование природными ресурсами выше установленных ему контрольных значений H_3^* (см. уравнение (12)). Пусть интегрированное управление эколого-экономической системой будет подчинено следующему сценарию: $H_3^* = 5,0$ в период с 1-го по 70-й шаг вычислений, $H_3^* = 30,0$ в период с 71-го по 200-й шаг вычислений, $H_3^* = 20,0$ в период с 201-го по 270-й шаг вычислений и $H_3^* = 10,0$ в период с 271-го по 370-й шаг вычислений.

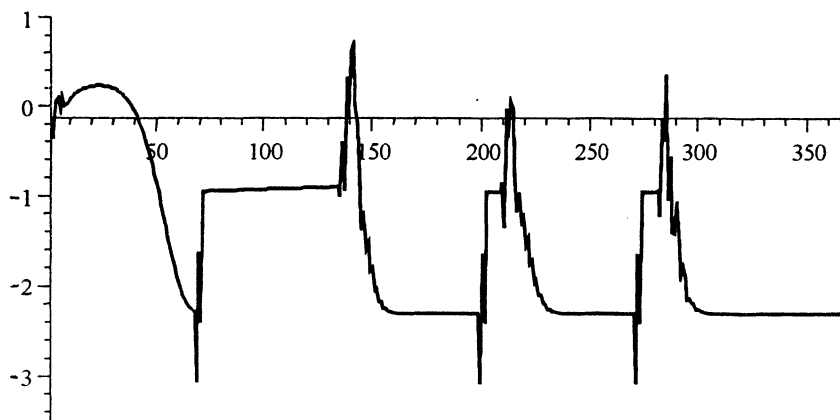
Сценарии экономических процессов при интегрированном управлении потреблением ресурсов представлены на рис. 4. В начальный период времени (с 1-го по 70-й шаг вычислений) экологические условия локального участка не допускали накопление предприятием долга за пользование ресурсами выше 5 единиц. Экономическая конъюнктура на рынке продукции с учетом отчислений части прибыли в счет погашения инвестиций в основные фонды привела к сокращению производства, начиная с 20-го шага. В следующем, наиболее благоприятном периоде (с 71-го по 200-й шаг вычислений) производство и потребление ресурсов возобновились. Однако долги предприятия за пользование ресурсами продолжали накапливаться и к 145-му шагу они достигли предельно допустимого уровня в 30 единиц. Производство было резко ограничено в объеме и до 200-го шага доходы использовались лишь на частичное погашение долга, величина которого сократилась за это время до 15 единиц.



Р и с. 4. Сценарии экономических процессов при интегрированном управлении потреблением ресурсов: 1 — оборотные средства H_2 ; 2 — ежедневный объем производства V_1 ; 3 — управление H_3^* ; 4 — накопленные долги экологических платежей H_3

На 200-м шаге предприятию было разрешено увеличить сумму долга до 20 единиц. С этим было связано кратковременное возобновление производства (в период с 201-го по 220-й шаг), после чего последовал еще один период погашения долга, продолжавшийся до 270-го шага. Долг был сокращен до 5 единиц, и это позволило предприятию начать потребление ресурсов на этом шаге. Однако уже на 280-м шаге накопленный долг достиг нового предельного значения в 10 единиц и потребление ресурсов было прекращено.

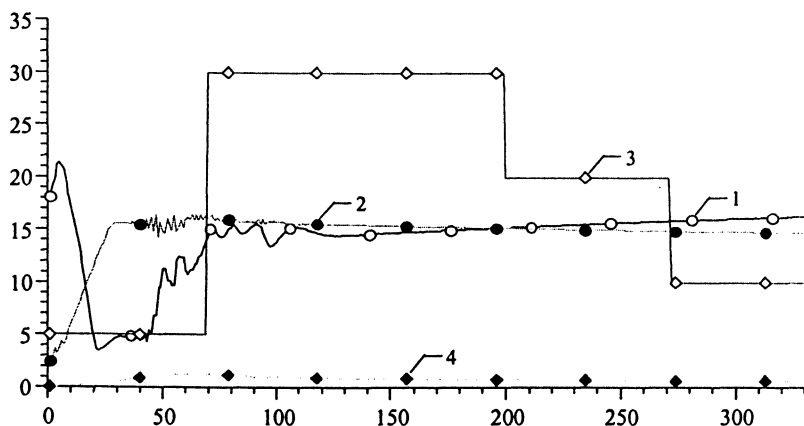
Располагая сценариями экономических процессов, несложно построить временной ход графика условного по отношению к технологии T_1 ресурсного потенциала имитируемого локального участка природной среды. Рассчитанные по формуле (4) значения ϕ_1 показаны на рис. 5. Как следует из рисунка, применение технологии T_1 на данном участке оказывается нерентабельным, так как ресурсный потенциал ϕ_1 практически все время имеет отрицательные значения.



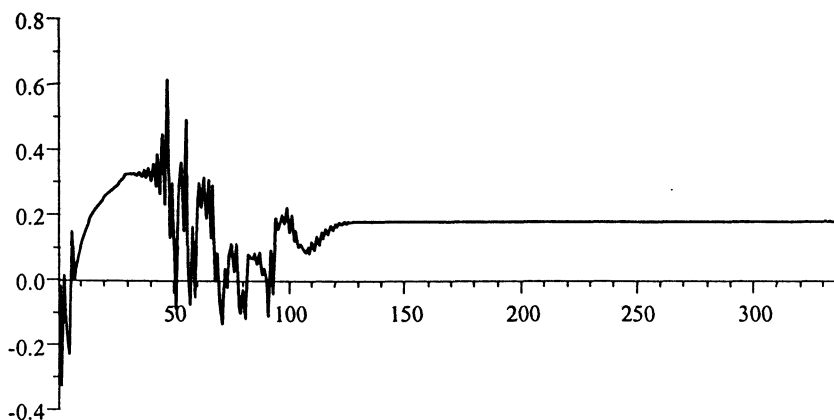
Р и с. 5. Динамика условного ресурсного потенциала по отношению к технологии T_1

Рассмотрим теперь пример использования природных ресурсов этого же локального участка среды по другой технологии T_2 . Допустим, что производство продукции по этой технологии предполагает более экономное использование ресурсов: $y_1 = 0,2$; $y_2 = 0,4$; $y_3 = 0,4$. Будем считать также, что применение технологии T_2 требует несколько большего объема начальных инвестиций. С этой целью увеличим начальную величину оборотных средств с 10 до 17 единиц. Остальные параметры эколого-экономической модели, а также условия регулирования экологических платежей сохраним прежними.

Результаты расчетов приведены на рис. 6. В отличие от первой вторая технология обеспечила невысокие в сравнении с предельно допустимыми величины накопленных экологических платежей за пользование ресурсами. Кривая 4 на этом рисунке лежит ниже ступенчатого графика управления (линия 3) на протяжении всего периода расчетов. Рентабельность технологии T_2 подтверждает и график условного ресурсного потенциала ϕ_2 , который приведен на рис. 7.



Р и с. 6. Сценарии экономических процессов при использовании ресурсов по технологии T_2 : 1 – оборотные средства H_2 ; 2 – ежедневный объем производства V ; 3 – управление H_3 ; 4 – накопленные долги экологических платежей H_3

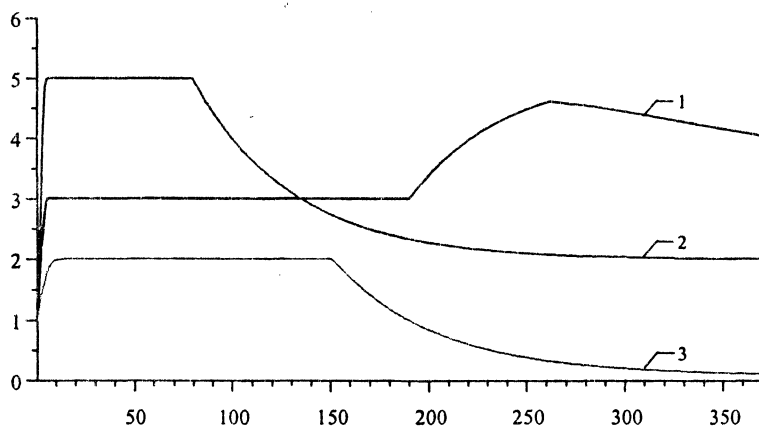


Р и с. 7. Динамика условного ресурсного потенциала по отношению к технологии T_2

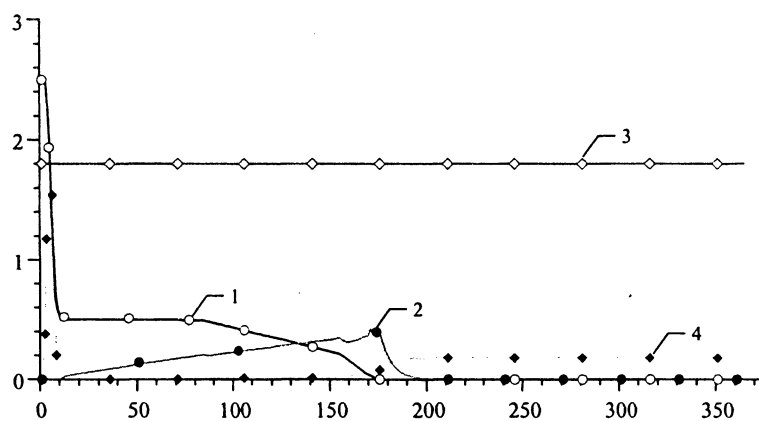
В проведенных экспериментах цены на каждый из трех видов природных ресурсов сохранялись постоянными. Представляло интерес усложнить расчеты по модели, имитируя динамику этих цен. С учетом соображений, высказанных при обсуждении формул (13) и (14), начиная со 190-го шага, был имитирован рост стоимости первого вида ресурса. Подобная ситуация характерна при истощении запаса потребляемого ресурса либо при общем росте цен на данный вид ресурса на рынке ресурсов. Что касается второго и третьего вида ресурсов, то для них была имитирована ситуация снижения локальных цен на эти ресурсы по отношению к рыночным ценам. Такое явление имеет место при удешевлении добычи ресурсов за счет созданной инфраструктуры основных фондов производства. Уменьшение стоимости r_2 началось на 150-м шаге, а r_3 – на 80-м шаге вычислений. Соответствующие графики приведены на рис. 8.

В расчетах была использована технология потребления ресурсов, при которой для производства единицы продукции требуется 1,2 единицы первого

вида ресурса, 1,9 – второго и 1,5 – третьего. Ресурсная рента и экологический штраф за загрязнение участка природной среды при использовании этой технологии в совокупности составляли 1% от оборотных средств производства. Была установлена постоянная величина предельно допустимого долга за пользование ресурсами в размере 1,8 единицы.



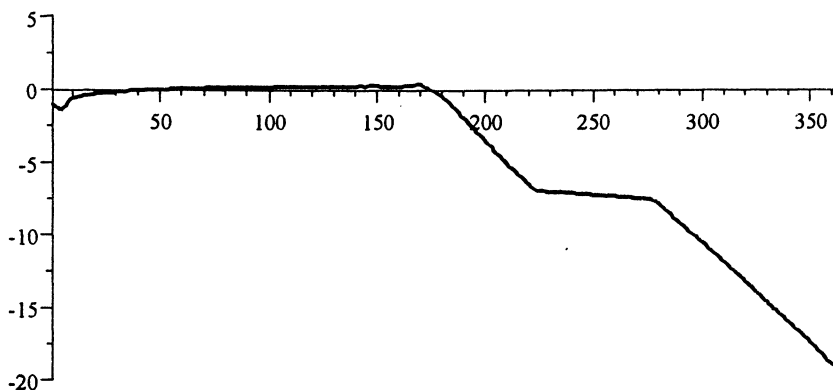
Р и с. 8. Имитированное изменение стоимости ресурсов локального участка природной среды: 1 – r_1 ; 2 – r_2 ; 3 – r_3



Р и с. 9. Сценарии экономических процессов по технологии T_3 в условиях изменения цен на ресурсы: 1 – оборотные средства H_2 ; 2 – ежедневный объем производства V_1 ; 3 – управление H_3 ; 4 – накопленные долги экологических платежей H_3

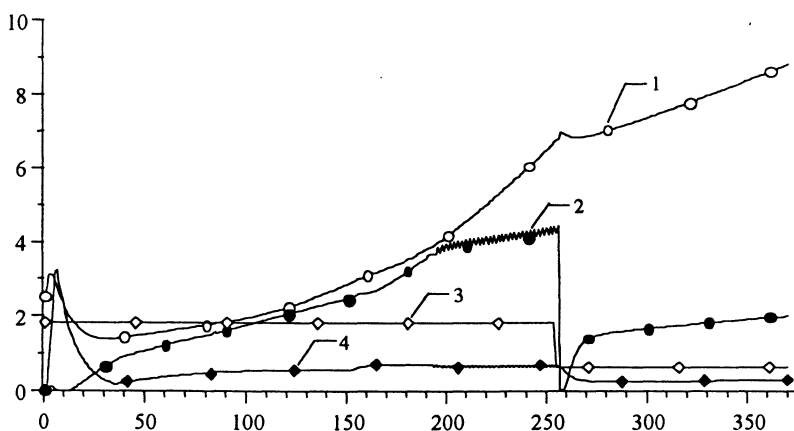
Сценарии экономических процессов по технологии T_3 в условиях изменения цен на ресурсы представлены на рис. 9. В этом эксперименте они оказались более сложными, чем в предыдущих. Накопленный долг за пользование ресурсами не превышал установленного предельного значения, так как предприятие отчисляло 1% своей прибыли на погашение этого долга на каждом шаге вычислений. Однако начальные цены на все виды ресурсов с учетом значительных (по сравнению с технологией T_2) объемов потребления привели к быстрому сокращению оборотных средств производства, что замедляло его рост. Снижение цен способствовало росту производства и увеличению оборотных средств. Тем не менее технология T_3 оказалась нерента-

бальной. Об этом свидетельствует график условного ресурсного потенциала φ_3 , изображенный на рис. 10.



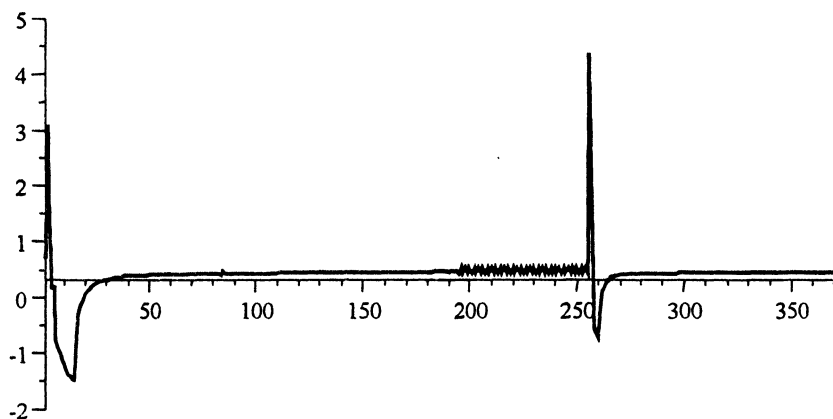
Р и с. 10. Ресурсный потенциал локального участка среды по отношению к технологии T_3

С целью оценки влияния экологических платежей на рентабельность производства был выполнен еще один эксперимент с технологией T_4 . Эта технология отличалась от технологии T_3 лишь тем, что суммарный объем экологических отчислений из прибыли производства был снижен с 1 до 0,55%. Сценарии развития экономических процессов для этого случая показаны на рис. 11. Оборотные средства производства быстро преодолели первоначальный спад, вызванный высокими ценами на ресурсы. Погашение долга шло более медленно, чем в эксперименте с технологией T_3 . Однако остановка производства вследствие превышения предельной величины долга наблюдалась лишь в периоды времени с 5-го по 15-й и с 255-го по 257-й шаг вычислений.



Р и с. 11. Сценарии экономических процессов в условиях изменения цен на ресурсы по технологии T_2 : 1 – оборотные средства H_2 ; 2 – ежедневный объем производства V_i ; 3 – управление H_3^* ; 4 – накопленные долги экологических платежей H_3

Дальнейшее развитие экономических процессов характеризовалось быстрым ростом доходов. Сценарий условного ресурсного потенциала ϕ_4 для этого эксперимента, график которого приведен на рис. 12, свидетельствует о рентабельности производства по технологии T_4 , начиная с 18-го шага вычислений. Поэтому величина $\tau_4^* = 18$ может быть использована в качестве оценки времени возврата инвестиций в основные фонды при использовании технологии T_4 (см. формулу (5)).



Р и с. 12. Сценарий рентабельности производства по технологии T_4

Заключение

Предложенная методика оценки условных ресурсных потенциалов локальных участков природной среды может быть применена в качестве одного из возможных вариантов построения специализированных геоинформационных систем для принятия решений, касающихся хозяйственного использования территорий и акваторий. Она дает возможность сравнивать по степени рентабельности различные технологии потребления ресурсов локальных участков природной среды в условиях контроля за ее экологическим состоянием. Примененная в данной методике имитационная модель производства *ABC AGENT* учитывает динамику цен на рынках ресурсов и продукции и таким образом связывает задачу районирования ресурсов территорий и акваторий с общей моделью социальной эколого-экономической системы страны (либо крупного региона). Общая модель межотраслевого баланса определяет спрос на продукцию отраслей экономики и, следовательно, обеспечивает уровень рентабельности различных технологий потребления ресурсов. Вместе с тем себестоимость производства в каждой из отраслей существенно зависит от экологических платежей за пользование ресурсами. Поэтому введенные выше условные ресурсные потенциалы природной среды позволяют учесть как экономические, так и природоохранные задачи устойчивого развития регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимченко И.Е., Изумнова Е.М., Тимченко И.И. Системный менеджмент и ABC-технологии устойчивого развития.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.– 225 с.
2. Тимченко И.Е., Изумнова Е.М., Солодова С.М. Управление природными ресурсами. Имитационная технология ABC AGENT – Севастополь, 2001.– 95 с.– (Препринт / НАН Украины. МГИ)
3. Изумнова Е.М., Тимченко И.Е. Моделирование процессов адаптации в экосистемах // Морской гидрофизический журнал.– 2003, № 1.– С. 46–57.
4. Pears D., Moran D. The Economic Value of Biodiversity.– London: Earthscan Publications, 1994.– 172 p.
5. Еремеев В.Н., Изумнова Е.М., Тимченко И.Е. Моделирование эколого-экономических систем.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004.– 320 с.
6. Тимченко И.И., Изумнова Е.М., Тимченко И.Е. Образование и устойчивое развитие. Системная методология.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004.– 527 с.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 21.01.05
После доработки 01.02.05

ABSTRACT Ecological and economical features of the environment local parts (territories and water areas) are proposed to be characterized by the resource potentials conditional as to the technologies of their use. The information model for predicting the scenarios of the conditional resource potentials is developed. It permits to evaluate profitability of the resource consumption. The model is based on control of the debt for use of the resources that is accumulated by the economy branch (enterprise) as a result of unfavorable market conditions or deterioration of the environment ecological conditions. The examples of simulation modeling of the processes of natural resource consumption aimed at managing a sustainable development of the ecological-economic systems are represented.