

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНАХ

УДК 551.46.02

В.А. Иванов, Е.М. Игумнова, И.Е. Тимченко

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь

РАЦИОНАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ

Предложена интегральная численная модель эколого-экономической системы прибрежной зоны моря, позволяющая имитировать сценарии потребления и воспроизводства природных ресурсов. Для контроля состояния ресурсов использованы два взаимосвязанных индекса: биоразнообразия и уровня загрязнения природной среды. Проведены вычислительные эксперименты с целью оптимизации экономической рентабельности производства товаров (услуг) в условиях выделения части прибыли на поддержание необходимого уровня биоразнообразия. На примере прибрежной зоны южного берега Крыма рассмотрена возможность построения карт пространственных распределений экономических параметров рационального природопользования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *адаптивные модели, эколого-экономические системы.*

Введение. Рациональное природопользование подразумевает оптимизацию потребления природных ресурсов, как по экономическим, так и по экологическим критериям. Чем выше рентабельность производства товаров и услуг, тем больше объемы потребляемых ресурсов. Однако по отношению к возобновляемым ресурсам существует предельная ресурсная емкость природной среды (*current capacity* [1]), превышение которой делает невозможным восстановление ее нормального экологического состояния. Речь, таким образом, должна идти о нахождении и поддержании разумного баланса между скоростью потребления ресурсов и скоростью их восстановления за счет естественных природных факторов или за счет природоохранной деятельности. Управление природопользованием должно стремиться к контролю над экологическим состоянием природной среды, к оценке зависимости состояния от объемов потребления ресурсов и своевременному ограничению экономической активности предприятий, потребляющих эти ресурсы.

Задача управления природопользованием в прибрежной зоне моря (ПЗМ) одновременно по экономическим и экологическим критериям предполагает использование системного подхода [2 – 4]. Системный подход подразумевает разработку информационной технологии управления, которая

© В.А. Иванов, Е.М. Игумнова, И.Е. Тимченко, 2011

дает возможность имитировать весь комплекс процессов, сопровождающих потребление ресурсов и обеспечивающих их воспроизводство. Для имитации возможных сценариев природопользования в основе технологии должна лежать такая экономическая модель, в которой рентабельность производства товаров и услуг зависит от экологического состояния природной среды.

В настоящем исследовании будет рассмотрена задача построения интегральной модели эколого-экономической системы ПЗМ для прогноза экономических сценариев потребления основных видов ресурсов с учетом экологических ограничений. Ставится цель – связать ожидаемую прибыль от использования ресурсов ПЗМ (рентабельность производства) с уровнем загрязнения окружающей среды, который возрастает по мере увеличения объемов производства. Эта связь должна служить основанием для выделения части прибыли на природоохранные цели, понижающие уровень загрязнения. Таким образом, рациональное природопользование означает нахождение оптимума экономической рентабельности, условного по отношению к уровню загрязнения природной среды. В конечном итоге задача заключается в разработке подходов к построению временных сценариев, а в общем случае и карт пространственно-временных полей, ожидаемой рентабельности производства при различных вариантах природоохранных действий.

Модель эколого-экономической системы прибрежной зоны моря, позволяющая контролировать сценарии потребления ее ресурсов. Ожидаемую прибыль от использования ресурсов ПЗМ будем рассматривать как главный фактор ее инвестиционной привлекательности. Будем характеризовать величину инвестиционной привлекательности некоторым обобщенным индексом IA и рассмотрим схему причинно-следственных зависимостей между изменением ее во времени и другими процессами, связанными с задачей рационального природопользования. Величина IA зависит от ожидаемой рентабельности производства товаров (услуг) PF по конкретной технологии производства и от экологического состояния природной среды, которое должно поддерживаться за счет определенного объема природоохранных действий, обозначенного индексом EP . В свою очередь инвестиционная привлекательность формирует спрос D на товары (услуги), производимые экономической системой ПЗМ, которая при условии рентабельного производства заинтересована в максимальном удовлетворении спроса. Для этого необходимо не только наличие всех видов ресурсов, но и возможность произвести и реализовать соответствующее количество товаров (услуг) V по цене p , приемлемой для потребителей.

Пропорционально объемам производства, как правило, растет и антропогенная нагрузка на природную среду ПЗМ, экологическое состояние которой будем характеризовать уровнем загрязнения PL и зависящим от него индексом биологического разнообразия BD [5]. Оба эти параметра природной среды служат для определения размера экономических санкций, предъявляемых производству в форме экологических штрафов TX , которые увеличивают себестоимость производства e и, как следствие, понижают его рентабельность PF . Концептуальная модель системы, отражающая рациональный баланс природопользования, приведена на рис. 1. Положительные связи

на ней означают одинаковые тенденции роста или уменьшения переменных, т.е. прямые реакции на влияния, отрицательные – противоположные.

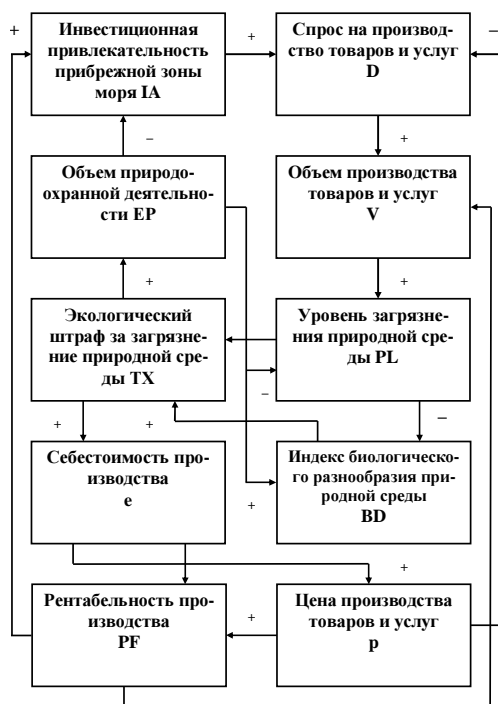


Рис. 1. Концептуальная модель системы, отражающая рациональный баланс природопользования.

как первоначальные инвестиции в производство, так и накопленные расходы, то с течением времени этот сценарий станет положительным. Интервал времени, после которого сценарий $PF(t)$ принимает положительные значения, служит одним из факторов, характеризующим инвестиционную привлекательность. Этот интервал времени определяет срок возврата инвестиций в производство. Поэтому динамику инвестиционной привлекательности прибрежной зоны моря можно выразить интегралом с переменным верхним пределом

$$IA = \int_0^t PF dt = \int_0^t \ln \frac{I_{AC}}{E_{AC}} dt . \quad (2)$$

Инвестиционная привлекательность является функцией времени, условной по отношению к конкретной технологии потребления ресурсов ПЗМ. Каждая технология характеризуется конкретным набором параметров y_i , которые показывают, какое количество i -го вида ресурсов ПЗМ должно быть использовано при производстве единицы продукции по данной технологии. Количество единиц продукции V , которое может быть произведено, зависит от имеющихся в распоряжении производства запасов каждого вида ресур-

Инвестиционная привлекательность ПЗМ может быть определена через прогнозируемый сценарий экономической рентабельности потребления ресурсов этой зоны. Обозначим суммарные за некоторое время доходы от использования ресурсов как $I_{AC}(t)$, а суммарные расходы, связанные с производством товаров и услуг, как $E_{AC}(t)$. Тогда удобной оценкой рентабельности производства служит следующее выражение

$$PF = \ln \frac{I_{AC}}{E_{AC}} .$$

Так как первоначальные инвестиции, необходимые для организации производства, представляют собой расходы и входят в знаменатель формулы (1), сценарий $PF(t)$ начинается с отрицательных значений. Если производство потенциально рентабельно, т.е. накопленные доходы $I_{AC}(t)$ перекрывают

сов. Обозначим эти запасы H_{li} . Тогда возможный объем производства определится из следующего выражения

$$V = \arg \min \left\{ \frac{H_{li}}{y_i} \right\}. \quad (3)$$

Объединим основные виды ресурсов ПЗМ в три основных категории: H_{11} – инфраструктура производства, H_{12} – материальное и информационное обеспечение производства и H_{13} – экологическое состояние приморской территории и прилегающей к ней морской акватории. Введем также условные единицы ресурсов для каждой категории и обозначим их стоимости r_1, r_2, r_3 . Для построения эколого-экономической модели потребления и воспроизводства ресурсов ПЗМ будем использовать метод адаптивного баланса влияний *ABC* [2] и информационную технологию *ABC AGENT* [6].

Обозначим через x'_i функции времени, которые представляют процессы на схеме причинно-следственных связей концептуальной модели, изображенной на рис. 1. Так как все эти процессы не могут принимать отрицательные значения, их изменчивость характеризуют следующие интервалы величин: $0 \leq x'_i \leq x'_{i\max}$. Будем считать, что средние значения этих интервалов $\bar{X}'_i = 0,5 x'_{i\max}$ известны. Тогда при помощи линейного преобразования

$$x_i = 5 \frac{x'_i}{\bar{X}'_i} \quad (4)$$

все моделируемые процессы могут быть приведены к одному общему интервалу изменчивости для безразмерных величин $0 \leq x_i \leq 10$. Это преобразование делает более наглядным анализ взаимных влияний процессов и их реакцию на внешние влияния со стороны окружающей среды. Обратное преобразование осуществляется по формуле $x'_i = 0,2 \bar{X}'_i x_i$.

В *ABC*-методе динамика каждого из безразмерных процессов может быть представлена стандартным (модульным) уравнением

$$\frac{dx_i}{dt} = x_i \left[1 - 2 \left(x_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - f_i \right) \right], \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (i \neq j), \quad (5)$$

где a_{ij} – коэффициенты взаимных внутрисистемных влияний, f_i – функции внешних влияний. Коэффициенты взаимных влияний определяются по функциональным зависимостям $x_i = x_i(x_j)$ [2]

$$a_{ij} = \frac{\partial x_i}{\partial x_j}$$

или, если эти зависимости неизвестны, они находятся из системы уравнений [6, 7]

$$\frac{da_{ij}}{dt} = a_{ij} \left[1 - 2 \left(a_{ij} - \frac{G_{ij}}{R_{jj}} + \frac{R_{ij}}{R_{jj}} + \sum_{p=1}^{n-1} a_{ip} \frac{R_{pj}}{R_{jj}} \right) \right], \quad (i, j = 1, 2, \dots, n), \quad (i \neq j), \quad (6)$$

в которой введены в рассмотрение коэффициенты взаимной корреляции

$$R_{kl} = E\{x_k x_l\} \text{ и } G_{mn} = E\{x_m f_n\}.$$

Оценка коэффициентов влияния может быть выполнена также экспертным путем, например, методом анализа иерархий [8].

Применяя модульное уравнение *ABC*-метода (5) к схеме влияния (см. рис. 1), получим следующую систему уравнений эколого-экономической модели природопользования

$$\left. \begin{aligned} \frac{dIA}{dt} &= IA[1 - 2(IA - a_{IA/PF} PF + a_{IA/EP} EP)], \\ \frac{dD}{dt} &= D[1 - 2(D - a_{D/IA} IA + a_{D/p} p)], \\ \frac{dEP}{dt} &= EP[1 - 2(EP - a_{EP/TX} TX)], \\ \frac{dV}{dt} &= V\{1 - 2[V - AG_V(D, H, p, e, H_2, H_3^*)]\}, \\ \frac{dTX}{dt} &= TX\{1 - 2[TX - AG_{TX}(PL, BD, PL^*, BD^*)]\}, \\ \frac{dPL}{dt} &= PL\{1 - 2[PL - AG_{PL}(V, PL^*, EP)]\}, \\ \frac{de}{dt} &= e\{1 - 2[e - AG_e(r_i, y_i)]\}, \\ \frac{dBD}{dt} &= BD\{1 - 2[BD - AG_{BD}(PL, EP, BD^*)]\}, \\ \frac{dPF}{dt} &= PF\{1 - 2[PF - AG_{PF}(I_{AC}, E_{AC})]\}, \\ \frac{dp}{dt} &= p\{1 - 2[p - AG_p(e, Q)]\}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Агенты управления *AG* в системе уравнений (7) реализуют информационную технологию *ABC AGENT* [6]. Технология состоит из последовательности действий, которые включают в себя динамические уравнения для переменных, балансовые соотношения и логические операции. Так, например, агент управления $AG_V(D, H, p, e, H_2, H_3^*)$, входящий в уравнение для объема производимых товаров или услуг, обозначает выполнение следующих действий.

Динамика запасов готовой продукции может быть представлена уравнением баланса

$$\frac{dH}{dt} = H [1 - 2(H - V + S)], \quad (8)$$

$$S = IF(p < e; 0; R), \quad R = IF(D < H; D; H), \quad V = IF(D < H; 0; M), \quad (9)$$

$M = IF(D - H < M; D - H; M)$, $M = \min(m_1; m_2; m_3)$, $m_i = H_i/y_i$ ($i = 1, 2, 3$), где V – текущий объем производства, S – текущая реализация готовой продукции, p – ее цена, e – ее себестоимость.

Динамика имеющихся запасов ресурсов, которыми располагает в данной ПЗМ экономическая система производства, должна быть представлена балансами поступления V_{li} и расходования S_{li} каждого вида ресурсов [6]

$$\frac{dH_{li}}{dT} = H_{li} [1 - 2(H_{li} - V_{li} + S_{li})], \quad (i = 1, 2, 3), \quad (10)$$

$$V_{li} = IF[D - H_{li} < 0; 0; IF[y_i(D - H) < H_{li}; 0; U_{li}]],$$

$$U_{li} = IF[y_i(D - H) - H_{li} < \rho_i H_2 / r_i; y_i(D - H) - H_{li};$$

$$IF[\rho_i(H_3^* - H_3) < 0; 0; U_{li}^*]]$$

$$S_{li} = IF[D - H < 0; 0; IF[y_i(D - H) < H_{li}; y_i(D - H); H_{li}]],$$

где H_3^* – предельно допустимая величина инвестиций в производство по данной технологии.

Баланс оборотных средств экономической системы производства обозначим H_2 . Этот баланс представляет уравнение

$$\frac{dH_2}{dT} = H_2 \left[1 - 2 \left(H_2 - pS + \sum_{i=1}^n S_{2i} + S_3 + \chi H_2 \right) \right], \quad (11)$$

$$S_{2i} = IF[r_i y_i(D - H) - H_{li} < \rho_i H_2; r_i y_i(D - H) - H_{li}^1; \rho_i H_2],$$

$$S_3 = IF[\theta H_3 < H_2; \theta H_3; H_2],$$

$$\rho_i = \frac{r_i y_i}{r_1 y_1 + \dots + r_3 y_3}, \quad (i = 1, 2, 3), \quad (12)$$

где через χ обозначен процент извлекаемых из оборота средств, т.е. чистая прибыль производственной системы, θ – процент погашения накопленных инвестиций (или возврата кредитов), ρ_i – относительный вес затрат на приобретение i -го вида ресурса для производства единицы продукции, p – цена единицы продукции.

Обозначим объемы инвестиций в приобретаемые ресурсы производства через V_{11} , V_{12} , V_{13} . Тогда уравнение для накопленных инвестиций H_3 принимает вид [2, 6]

$$\frac{dH_3}{dt} = H_3 \left[1 - 2 \left(H_3 - \sum_{i=1}^3 r_i V_{li} + S_3 \right) \right], \quad (13)$$

$$V_{li} = IF[(D - H)y_i < H_{li}; 0; F_i],$$

$$F_i = IF[r_i(y_i D - H_{li}) < \rho_i H_2; y_i D - H_{li}; F_i^*], \quad (i = 1, 2, 3).$$

Функции U_{li}^* и F_i^* в уравнениях (10) и (12) представляют собой управления, которые ограничивают объемы ресурсов, приобретаемых путем дополнительных инвестиций. Таким образом, при управлении объемами производства агент $AG_V(D, H, p, e, H_2, H_3^*)$ учитывает как рентабельность выпуска и реализации продукции, так и возможности дополнительных инвестиций (например, путем получения кредитов) для закупки недостающих ресурсов.

Агент управления штрафными санкциями, налагаемыми на производство за загрязнение окружающей среды, предусматривает контроль над тем, насколько текущий уровень загрязнения PL отличается от предельно допустимого уровня PL^* . Экологическое состояние прибрежной зоны моря – весьма сложная функция большого количества влияющих на него факторов, их географического распределения и временной изменчивости. В данном исследовании принято упрощенное интегральное описание состояния природных экосистем с помощью двух временных функций: уровня загрязнения природной среды PL и индекса ее биоразнообразия BD .

Средний по акватории конкретной ПЗМ уровень загрязнения интегрально представляет взвешенная сумма концентраций основных видов загрязняющих веществ Pl_i , которые поступают в морскую среду вследствие производства продукции по данной технологии

$$PL = \sum_{i=1}^M h_i Pl_i, \quad (14)$$

где весовые коэффициенты h_i учитывают степени отрицательного влияния i -того вида загрязняющих веществ на морскую экосистему. Будем считать, что уровень загрязнения пропорционален объему выпущенной и реализованной за некоторый интервал времени продукции S . Часть загрязнений, поступивших в морскую среду, будет ассимилирована ею. Если остающаяся часть загрязнений формирует уровень PL , превышающий предельно допустимое значение PL^* , включается механизм природоохранных действий, направленный на снижение этого уровня. Поэтому оператор агента управления в уравнении для уровня загрязнения природной среды принимает вид

$$AG_{PL}(S, PL^*, EP) = a_{pl/S} S - a_{pl} PL - a_{PL/PL^*} IF(PL < PL^*; 0; EP), \quad (15)$$

где слагаемое $a_{pl/S} S$ связывает уровень загрязнения с объемами реализации продукции, а слагаемое $a_{pl} PL$ учитывает процессы естественного самоочищения морской среды и уменьшения концентрации загрязнений, например, вследствие турбулентного перемешивания и переноса водных масс. Последнее слагаемое в правой части выражения (15) учитывает понижение уровня загрязнения за счет природоохранных действий, объем которых определяется величиной EP .

В качестве индекса биоразнообразия BD будем использовать взвешенную сумму концентраций основных представителей морской флоры и фауны Bd_i , осредненную по акватории ПЗМ

$$BD = \sum_{i=1}^N g_i Bd_i . \quad (16)$$

Будем считать, что известна средняя многолетняя изменчивость индекса $BD_m = BD^*$, формируемая, например, среднемесячными нормами концентраций Bd_{im} . Текущие значения индекса для каждого конкретного года претерпевают отклонения от средней многолетней изменчивости. В качестве основных факторов, формирующих эти отклонения, могут рассматриваться внешние влияния на экосистему региона ПЗМ: вынос в море загрязняющих веществ от источников, расположенных на суше и непосредственно в акватории моря, а также погодные условия (вариации температуры воздуха, осадков, модуля скорости ветра, освещенности и др. относительно соответствующих средних многолетних значений).

В целях упрощения мы будем интегрально учитывать антропогенные и погодные факторы в модели экологического состояния ПЗМ, сосредоточив основное внимание на влиянии на него уровня загрязнения окружающей среды. Поэтому оператор агента управления в динамическом уравнении индекса биоразнообразия будем использовать в следующем виде

$$AG_{BD}(PL, EP, BD^*) = -a_{BD/PL} PL + a_{BD/EP} IF(BD > BD^*; 0; EP) . \quad (17)$$

Экономические санкции за загрязнение природной среды TX будем считать пропорциональными степени отклонения уровня загрязнения от предельно допустимого значения PL^* и уровня биоразнообразия от среднего многолетнего уровня BD^* . Поэтому оператор агента управления в уравнении для экологического штрафа может быть выбран в форме выражения

$$\begin{aligned} AG_{TX}(PL, BD, PL^*, BD^*) = & a_{TX/PL} IF\{PL < PL^*; 0; \\ & 1 - \exp[\alpha_{TX/PL}(PL^* - PL)]\} + a_{TX/BD} IF\{BD > BD^*; 0; \\ & 1 - \exp[\alpha_{TX/BD}(BD - BD^*)]\} \end{aligned} \quad (18)$$

Себестоимость производства формируется ценами на ресурсы, которые потребляет экономическая система. Динамика цен на каждый их трех введенных выше категорий ресурсов производства может быть представлена уравнениями ABC -модели. Цена первого вида ресурсов, связанного с основными фондами производства, имеет следующее уравнение динамики

$$\frac{dr_1}{dt} = r_1[1 - 2(r_1 - a_{r_1} r_1^*)], \quad (19)$$

где r_1^* – параметр, определяющий текущую рыночную стоимость создания и эксплуатации основных фондов в пересчете на единицу производимой

продукции. Этот вид ресурсов представляют собой инвестиции в организацию производства. Цена второго вида ресурсов, учитывающего текущие расходы на приобретение всех факторов производства, необходимых для выпуска единицы продукции,

$$\frac{dr_2}{dt} = r_2[1 - 2(r_2 - a_{r_2} r_2^*)], \quad (20)$$

где r_2^* – параметр, определяющий текущую рыночную стоимость приобретения этих факторов.

Уравнение для третьего «экологического» вида ресурсов имеет вид

$$\frac{dr_3}{dt} = r_3 \left\{ 1 - 2 \left[r_3 - a_{3/TX} TX - a_{r_3} r_3^* \right] \right\}, \quad (21)$$

где $a_{3/TX} TX$ – параметр экологического штрафа за загрязнение среды, r_3^* – параметр природоохранного налога в пересчете на единицу продукции.

С учетом меняющихся цен на ресурсы и экологических штрафов оператор агента $AG_e(r_i, y_i)$ в уравнении для себестоимости продукции принимает вид

$$AG_e(r_i, y_i) = \sum_{i=1}^3 y_i r_i. \quad (22)$$

Цена, по которой продукция реализуется на рынках товаров и услуг, зависит от себестоимости e и от добавленной стоимости, которую мы обозначим Q . Агент управления в уравнении для цены суммирует эти два фактора

$$AG_p(e, Q) = a_{p/e+Q}(e + Q). \quad (23)$$

Наконец, рентабельность производства продукции по данной технологии, оценивается по уравнению для PF , которое содержит агент управления $AG_{PF}(I_{AC}, E_{AC})$

$$AG_{PF}(I_{AC}, E_{AC}) = \ln \frac{I_{AC}}{E_{AC}}, \quad (24)$$

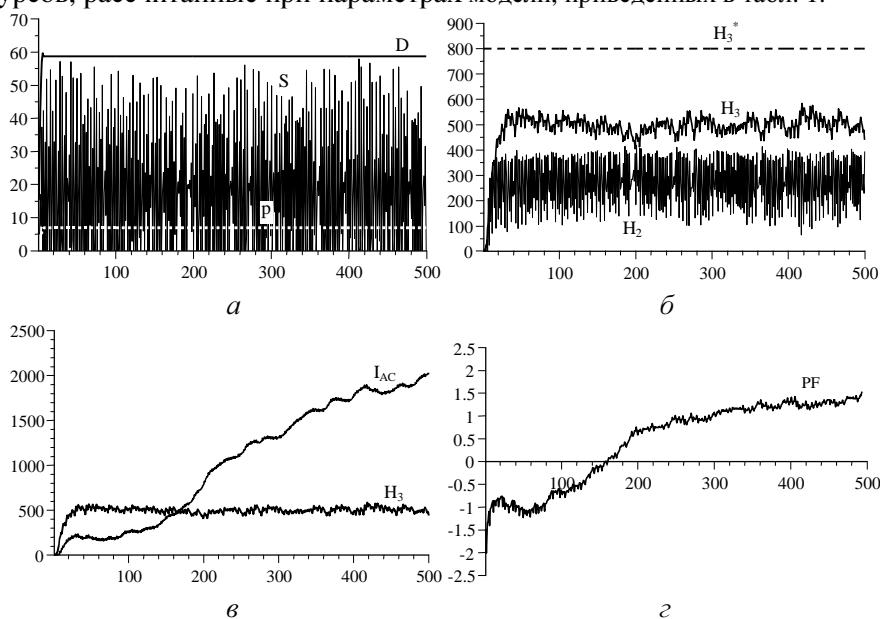
где I_{AC} – накопленная прибыль, E_{AC} – накопленные инвестиции в производство.

Построение и анализ сценариев эколого-экономических процессов природопользования. Динамическая модель природопользования (1) – (24) была представлена в конечных разностях и решалась на 500 шагов безразмерного времени. В первом вычислительном эксперименте производилась проверка модели на установление стационарных решений уравнений. При этом параметры задачи имели значения, представленные в табл. 1. Размерные переменные в этой таблице, а также сценарии процессов на показанных ниже рисунках, приведены с использованием обратного преобразования по формуле (4) в соответствующих условных единицах измерения.

Т а б л и ц а 1. Параметры модели в первом эксперименте.

\bar{y}_1	1,5	\bar{r}_1	0,6	\bar{p}	6,0	θ	0,1
\bar{y}_2	1,0	\bar{r}_2	0,4	\bar{e}	2,0	\acute{a}	0,2
\bar{y}_3	1,8	\bar{r}_3	0,1	\bar{D}	42,0	$\acute{\epsilon}$	0,1

На рис. 2 показаны сценарии экономических процессов потребления ресурсов, рассчитанные при параметрах модели, приведенных в табл. 1.



Р и с. 2. Сценарии экономических процессов потребления ресурсов при параметрах модели, приведенных в табл. 1: *a* – спрос D , ежедневная реализация продукции S , цена продукции p ; *б* – оборотные средства системы H_2 , накопленный кредит H_3 , установленный «потолок» кредитования $H_3^* = 800$ у.е.; *в* – накопленные доходы I_{AC} , накопленный кредит H_3 ; *г* – экономическая рентабельность производства PF .

Нетрудно видеть (см. рис. 2, *a*), что выпуск и реализация продукции производились непрерывно в течение всего срока эксперимента, хотя они и не достигали уровня спроса. Система использовала дополнительные инвестиции для приобретения недостающих ресурсов (см. рис. 2, *б, в*), но накопленный долг по кредитам не превышал предельно допустимое значение $H_3^* = 800$ у.е.

Начиная со 160 шага вычислений, производство стало рентабельным, о чем свидетельствует график сценария PF (см. рис. 2, *г*), который с этого момента времени становится и остается положительным. Поэтому интервал времени $\tau = 160$ является временем возврата инвестиций и может служить одним из критериев инвестиционной привлекательности использования ресурсов ПЗМ по данной технологии.

Рентабельность производства зависит от процента, который производство должно выплачивать по кредитам. Модель позволяет получить зависи-

мость рентабельности от величины этого процента. На рис. 3 показаны результаты имитационных экспериментов, в которых рентабельность рассчитывалась в условиях, когда процент по кредиту θ увеличивался от 0,1 до 1,0. С ростом процента по кредиту накопленные долги росли, а накопленная прибыль и рентабельность падали.

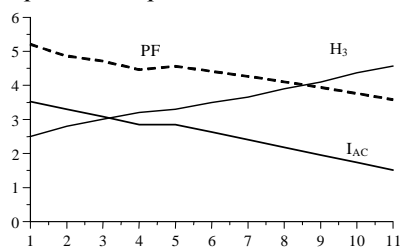


Рис. 3. Зависимость экономических показателей производства от процентов по накопленным инвестициям θ : накопленные инвестиции $10^2 H_3$ у.е., накопленная прибыль $10^4 I_{AC}$ у.е., рентабельность производства PF .

Поскольку инвестиционная привлекательность зависит от рентабельности производства, представляет интерес попытка оптимизировать рентабельность за счет увеличения качества товаров (услуг). С ростом качества увеличивается спрос, а следовательно, и доходы производства. Но рост качества, как правило, сопровождается увеличением себестоимости и цены товаров (услуг), которые понижают спрос. Следовательно, должен существовать некоторый порог рентабельности, при котором разница между ценой и себестоимостью (добавленная стоимость) становится выгодной для производства, а цена все еще

остается приемлемой для потребителя. Для этого необходимо, чтобы добавленная стоимость (и качество) росли быстрее, чем падает спрос с ростом цены.

В серии экспериментов, произведенных с этой целью, были получены сценарии экономических процессов, изображенные на рис. 4.

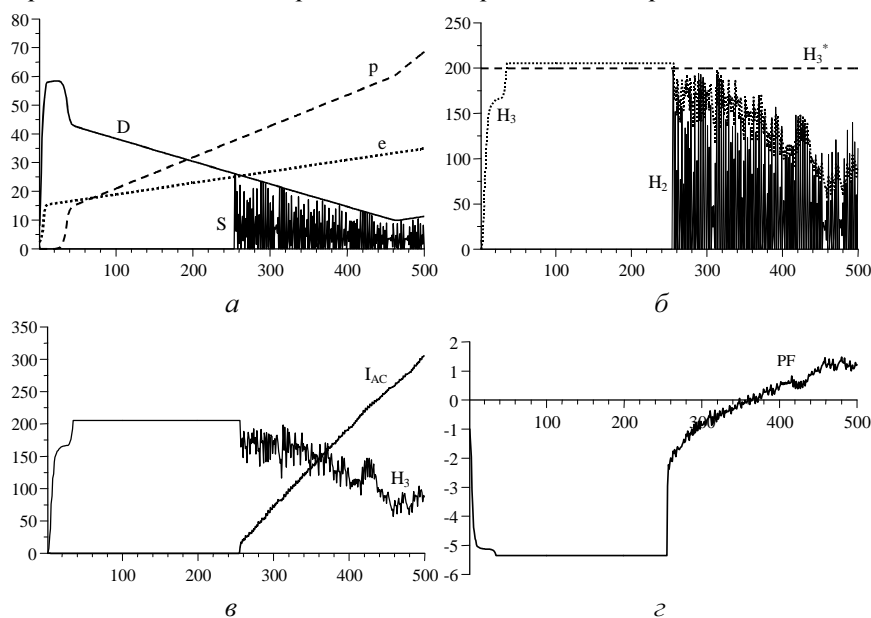


Рис. 4. Сценарии экономических процессов при управлении ценой и качеством продукции: а – спрос D , реализация S , цена p , себестоимость e ; б – оборотные средства H_2 , накопленный кредит H_3 , предельное значение накопленного кредита H_3^* ; в – накопленный кредит H_3 , накопленная прибыль I_{AC} ; г – рентабельность производства PF .

Рост качества продукции был имитирован путем линейного увеличения добавленной стоимости, как показано на рис. 4, *a*. В начальный период времени эксперимента производство не было рентабельным, и агент $AG_V(D, H, p, e, H_2, H_3^*)$ запрещал реализацию продукции, несмотря на высокий спрос на нее. В дальнейшем, до 250 шага по времени, по мере увеличения разности $(p - e)$ производство все еще не могло быть начато, так как предприятию требовались дополнительные инвестиции для закупки ресурсов, получение которых было ограничено «потолком» $H_3^* = 200$ у.е. (см. рис. 4, *б*). После 250 шага по времени были начаты выпуск и реализация продукции, поскольку к этому времени, несмотря на существенное падение спроса, производство стало рентабельным. Экономическая система начала аккумулировать прибыль I_{AC} и погашать накопленные инвестиции (см. рис. 4, *в, г*).

Была рассмотрена зависимость рентабельности от роста себестоимости (качества) для увеличения спроса. Цена на продукцию была зафиксирована, так что с увеличением качества прибыльность производства падала, но одновременно увеличивался спрос на нее. В этих условиях должен был существовать максимум рентабельности, который необходимо было найти с помощью модельных экспериментов. Исходные параметры модели, использованные в этом варианте расчетов, приведены в табл. 2.

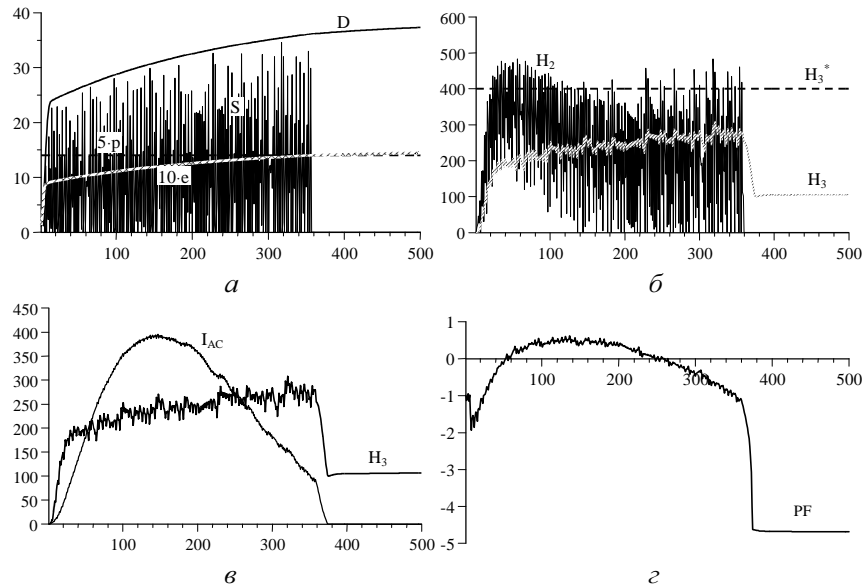
Т а б л и ц а 2. Параметры модели во втором эксперименте.

\bar{y}_1	1,5	\bar{r}_1	0,4	\bar{p}	6,0	θ	0,1
\bar{y}_2	1,0	\bar{r}_2	0,3	\bar{e}	перем.	$\acute{\alpha}$	0,2
\bar{y}_3	1,8	\bar{r}_3	0,2	\bar{D}	перем.	$\acute{\epsilon}$	0,1

Затем было имитировано увеличение качества продукции за счет роста себестоимости при условии, что рыночная цена остается постоянной. Спрос под влиянием качества испытывал рост, но добавленная стоимость, и прибыль при этом сокращались. Необходимо было найти рациональное соотношение между добавленной стоимостью и величиной спроса, обеспечивающее максимум рентабельности. Результаты вычислений приведены на рис. 5.

Как следует из рис.5, *a*, выпуск и реализация продукции происходили до тех пор, пока разница между ценой и себестоимостью $5(p - 2e)$ оставалась положительной. Потолок допустимого инвестирования еще не был достигнут, когда на 360 шаге реализация продукции была остановлена агентом $AG_V(D, H, p, e, H_2, H_3^*)$ по причине отрицательной нормы прибыли (см. рис. 5, *б*). Максимум накопленной прибыли, приходящийся на 143 шаг вычислений, отчетливо виден на рис. 5, *в*. Максимальное значение рентабельности (см. рис. 5, *г*) было достигнуто на 136 шаге при себестоимости 11,68 у.е.

На этом шаге себестоимость соответствовала наилучшему соотношению между качеством и спросом, а добавленная стоимость оставила 2,32 у.е. или 16,5 % от цены продукции. Дальнейший рост спроса и падение добавленной стоимости привели к нулевой (на 255 шаге), а затем и к отрицательной рентабельности. Таким образом, при постоянной отпускной цене существует экстремум рентабельности за счет повышения качества товара.



Р и с . 5 . Оптимизация накопленной прибыли и рентабельности при варьировании качества продукции: *а* – спрос D , реализация продукции S , цена продукции $5p$, себестоимость $10e$; *б* – оборотные средства H_2 , предельно допустимые инвестиции H_3^* , накопленные инвестиции H_3 ; *в* – накопленная прибыль $0,3I_{AC}$; *г* – рентабельность производства PF .

В следующей серии экспериментов было исследовано влияние экологических штрафов на экономическую рентабельность потребления ресурсов. Уровень загрязнения природной среды PL был принят пропорциональным накопленному объему реализованной продукции. Экологический штраф в условиях, когда часть прибыли, выделяемая на природоохранные мероприятия I_{EP} , не используется для снижения уровня загрязнения, приводит к остановке выпуска продукции, как это следует из сценариев, показанных на рис. 6, *а*, *в*, *д*. При этом накопленная прибыль I_{AC} быстро убывает, так как она должна погашать накопленные кредиты H_3 (см. рис. 6, *в*, *д*). Для сравнения на рис. 6, *б*, *г*, *е* показаны сценарии процессов при использовании экологических штрафов для проведения природоохранных действий. В этом случае производство и закупка ресурсов (см. рис. 7, *б*) не останавливаются, накопленная прибыль продолжает расти. Эффект от природоохранных действий наглядно демонстрируют рис. 7, *в* и *г*. В отсутствие управления (см. рис. 7, *в*) уровень загрязнений более, чем в 2 раза, превышает предельно допустимое значение. Природоохранные действия удерживают уровень загрязнения ниже предельно допустимого, например, среднего многолетнего значения (см. рис. 7, *г*). Такой же эффект был достигнут по критерию индекса биоразнообразия. Об этом свидетельствуют сценарии процессов, приведенные на рис. 8. Под влиянием имитированного интенсивного загрязнения природной среды уровень биоразнообразия, обозначенный на рисунке BD_0 , резко снижался и быстро опустился ниже предельно допустимого значения, в качестве которого использо-

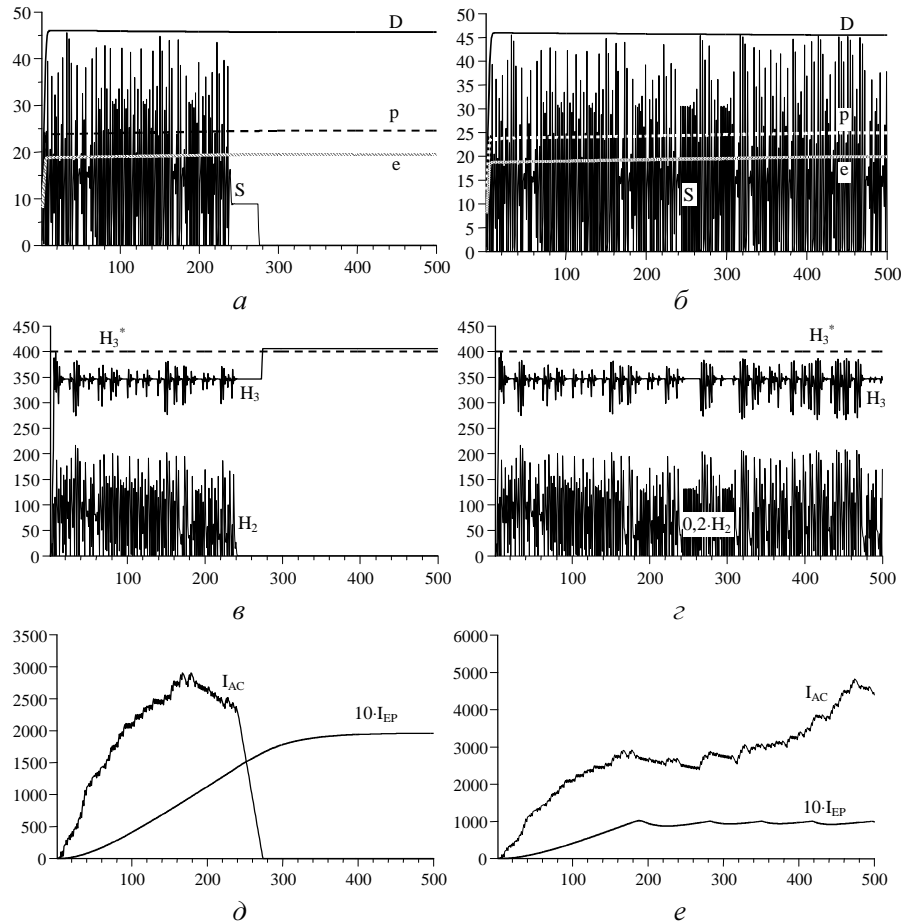


Рис. 6. Сценарии экономических процессов без управления (*а, в, д*) и при управлении (*б, г, е*) уровнем загрязнения природной среды путем проведения природоохранных действий: *а* и *б* – спрос D , реализация S , цена p , себестоимость e ; *в* и *г* – оборотные средства H_2 , накопленные инвестиции H_3 , опустимый предел инвестиций H_3^* ; *д* и *е* – накопленная прибыль I_{AC} , накопленная сумма I_{EP} экологических штрафов TX .

вано среднее многолетнее значение BD^* . В результате выделения средств на природоохранные действия (сценарий V_{13} на рис. 7, б) индекс биоразнообразия BD_1 был зафиксирован на уровне BD^* . Следует отметить, что расходы экономической системы на природоохранные мероприятия в итоге привели к увеличению суммы накопленной прибыли (см. рис. 6, д, е) и к более высокой рентабельности производства (см. рис. 7, д, е).

Таким образом, предложенная имитационная модель эколого-экономической системы прибрежной зоны моря позволяет прогнозировать интегральные процессы природопользования при различных вариантах управления сценариями процессов. Этим обеспечивается возможность выбора параметров управления, которые определяют рациональный баланс потребления и воспроизводства ресурсов прибрежной зоны моря.

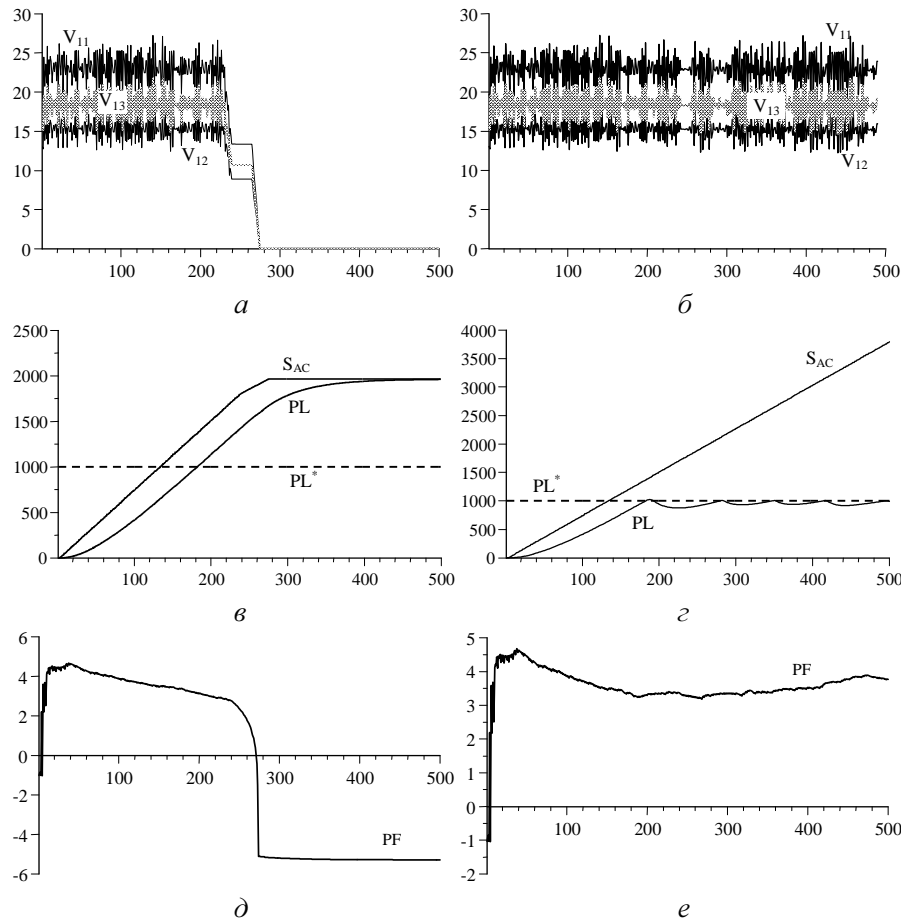


Рис. 7. Сценарии эколого-экономических процессов без управления (а, в, д) и при управлении (б, г, е) уровнем загрязнения природной среды путем проведения природоохранных действий: а и б – объемы инвестиций в инфраструктуру V_{11} , обслуживание V_{12} и поддержание уровня биоразнообразия BD природной среды V_{13} ; в и г – накопленный объем реализации продукции S_{AC} ; уровень загрязнения PL , предельно допустимый уровень загрязнения PL^* ; д и е – рентабельность производства PF .

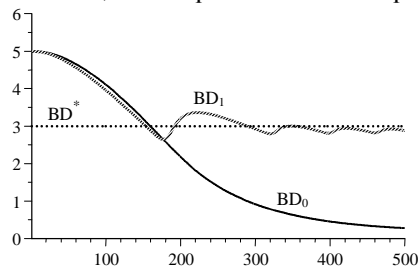


Рис. 8. Сценарии индекса биоразнообразия: BD_0 и BD_1 – до и после проведения природоохранных действий, BD^* – среднее многолетнее значение.

Построение пространственно-временных сценариев природопользования. В качестве одного из приложений имитационной модели рассмотрим возможность построения пространственно-временных сценариев природопользования для района Южного берега Крыма, карта которого приведена на рис. 9.

Примем, что производственная система представляет собой рекреационный объект, продукцией которого является рекреационная услуга, например, в виде



Р и с . 9. Приморская часть территории Южного берега Крыма, выбранная для имитационного моделирования сценариев экономических процессов.

санаторной или туристической путевки, предусматривающей отдых в течение определенного периода времени. Обозначим стоимость путевки p , а себестоимость ее для объекта – e . Будем считать, что для обеспечения единицы продукции, например, отдыха одного рекреанта по путевке, объекту рекреации необходимо располагать ресурсами трех видов: иметь инфраструктуру рекреации (жилые помещения, энергоснабжение, оборудование и др.) в количестве y_1 условных единиц (у.е.), сервисное обслуживание рекреации (питание, лечение, развлечения и др.) в количестве y_2 у.е. и рекреационную привлекательность природных и экологических условий объекта (парки, пляжи, гарантии безопасности, бытовые удобства и др.) в количестве y_3 у.е. Стоимости условных единиц этих трех видов ресурсов обозначим: r_1, r_2, r_3 соответственно.

В соответствии с параметрами имитационной модели первый вид ресурсов представляют собой инвестиции в организацию курорта H_{11} , второй вид ресурсов – эксплуатационные расходы на сервисное обслуживание рекреации H_{12} , третий вид – рекреационная привлекательность местности курорта. Для простоты свяжем запасы каждого вида ресурсов с плотностью населения в данной точке района, считая, что плотность населения интегрально представляет уровень развития инфраструктуры рекреации, сервисного обслуживания рекреантов и рекреационной привлекательности места отдыха.

Для построения карт инвестиционной привлекательности с помощью модели (1) – (24) были рассчитаны сценарии экономических процессов в узлах сетки, покрывающей территорию района, представленного на рис. 9.

В расчетах была использована квадратная сетка с шагом 2,5 км, в узлах которой решались уравнения модели на 350 шагов по времени. В качестве начальных условий были использованы данные о количестве жителей в 33 населенных пунктах, которые были разделены на 5 групп:

- а) группа I – Ялта;
- б) группа II – Алушта, Алупка, Бахчисарай, Гурзуф;
- в) группа III – Фрунзенское, Ботаническое, Массандра, Гаспра, Симеиз, Кацивели, Береговое, Форос, Научный, Куйбышево;
- г) группа IV – Краснокаменка, Соколиное, Передовое, Широкое;
- д) группа V – Изобильное, Верхоречье, Сирень, Синапное, Красный Мак, Шахты, Шелковичное, Малый маяк, Высокое, Голубинка, Счастливое, Запрудное, Плотинное, Родниковское.

Далее было введено предположение о том, что ожидаемый спрос на рекреационные услуги в каждой из этих групп пропорционален численности населения в группе. Максимальное значение спроса $D = 2\ 000$ (0,1% от среднегодового количества рекреантов) было присвоено группе I (Ялта), остальным группам были присвоены такие значения спроса:

- а) группа II – 1333;
- б) группа III – 889;
- в) группа IV – 593;
- г) группа V – 395.

Значения спроса из точек расположения населенных пунктов, попадающих в круг с центром в узле сетки и с радиусом 1,5 шага расчетной сетки, были интерполированы в этот узел с весами, обратно пропорциональными квадратам расстояний от узла до населенного пункта.

Аналогичным путем были заданы в узлах расчетной сетки стоимости каждого из трех видов рекреационных ресурсов. Предполагалось, что инфраструктура, сервисное обслуживание и рекреационная привлекательность местности развиты тем сильнее, чем больше плотность населения в данной точке на карте. Следовательно, все виды ресурсов более доступны и потому они стоят дешевле в данной точке, чем в других точках, где плотность населения ниже. Поэтому стоимости ресурсов были распределены по группам населенных пунктов, как показано в табл. 3.

Таблица 3. Стоимости ресурсов в условных единицах.

	r_1	r_2	r_3
I группа	2,67	1,33	0,89
II группа	4,0	2,0	1,33
III группа	6,0	3,0	2,0
IV группа	9,0	4,5	3,0
V группа	13,5	6,75	4,5

В конечном итоге в каждом узле сетки были рассчитаны значения себестоимости производства рекреационных услуг с помощью агента (22) в уравнении модели (7). Для того, чтобы упростить постановку вычислительного эксперимента, считалось, что цена p услуги (путевки) выше ее себестоимости на 15 %. Так как спрос существенно зависит от цены, для него была принята следующая зависимость

$$D(p) = D_0 e^{-\alpha p}, \quad (25)$$

где D_0 – начальное значение спроса, определяемое по плотности населения, α – размерный числовой множитель, обратно пропорциональный качеству предоставляемых рекреационных услуг. В расчетах, проведенных по модели, этот показатель качества был принят постоянным.

На рис. 10 показана карта распределения стоимости рекреационных услуг, учитывающая имитированные стоимости ресурсов.

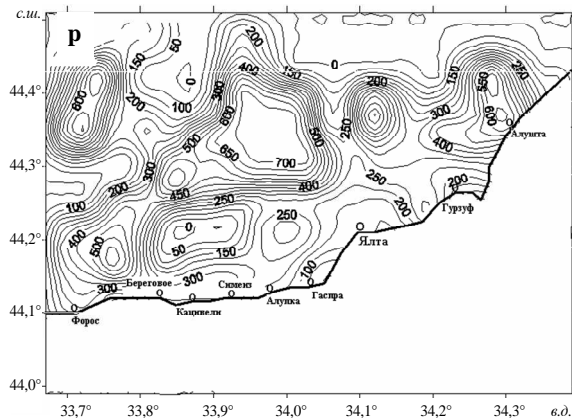


Рис. 10. Распределение стоимости рекреационных услуг, учитывающее имитированную доступность ресурсов.

Первоначальная карта ожидаемого спроса была скорректирована в соответствии с принятой зависимостью спроса от цены (26) и с учетом полученного распределения спроса выполнены расчеты временных сценариев экономических процессов. Следует отметить, что конечно-разностная схема решений уравнений модели обеспечила быструю адаптацию сценариев друг к другу и к внешним условиям, в качестве которых служили пространственные распределения спроса, себестоимости и рекреационной привлекательности. Так как внешние условия не менялись, карты рассчитываемых полей демонстрировали установившиеся значения практически по всему району уже после первых 20 шагов вычислений.

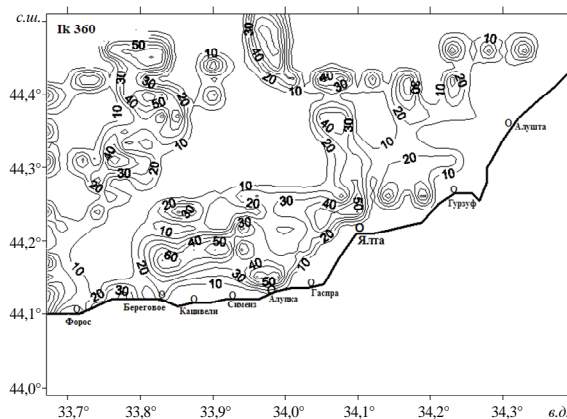


Рис. 11. Ожидаемая прибыль от реализации рекреационной услуги с учетом ее стоимости и спроса на нее.

На рис. 11 показаны изолинии ожидаемой прибыли от реализации рекреационной услуги с учетом ее стоимости и спроса на нее. Построенные карты имеют чисто демонстрационное значение: используя фактические данные о ресурсных свойствах различных районов Крыма по отношению к конкретным технологиям их использования, имитационная модель (7) – (26) позволяет оценить перспективность получения прибыли в данном районе, время возврата инвестиций и необходимый объем природоохранных действий.

Заключение. Вычислительные эксперименты, проведенные с имитационной моделью эколого-экономической системы ПЗМ, показали, что подобные модели могут служить инструментом поддержки решений, касаю-

щихся нахождения рациональных вариантов использования природных ресурсов. Модель позволяет получать оценки рентабельности инвестиций в освоение ресурсов и, в частности, рассчитывать время возврата инвестиций. Определенную роль при этом играют проценты по кредитам, от которых существенно зависит инвестиционная привлекательность использования ресурсов ПЗМ по данной технологии.

С помощью имитационной модели оказалось возможным оптимизировать рентабельность производства товаров (услуг) за счет увеличения их качества. Проведенный выше модельный эксперимент позволил определить необходимый уровень инвестиций в качество продукции, при котором достигается максимальная рентабельность производства за счет увеличения спроса. Было найдено также рациональное соотношение между добавленной стоимостью и величиной спроса, обеспечивающее максимум рентабельности, и определен срок достижения этого максимума.

Имитационная модель может быть использована для оценки влияния на экономическую рентабельность потребления ресурсов экологических штрафов за загрязнение окружающей среды. Варьируя величину штрафа, скорость самоочищения морской среды от загрязнений, показатель эффективности природоохранных действий, можно найти наиболее выгодные сценарии природопользования в ПЗМ.

Использование имитационной модели в системе точек, расположенных на территории и акватории ПЗМ, позволяет перейти от временных сценариев процессов развития к картам пространственных распределений эколого-экономических параметров. Пример подобной информационной технологии был реализован для района Южного берега Крыма. Имитационная модель позволила получить карты ожидаемой прибыли от предоставления рекреационной услуги с учетом ее себестоимости и спроса на нее. Таким образом, были построены пространственно-временные сценарии эколого-экономических процессов в ПЗМ, которые необходимы для организации рационального природопользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Murray J.D.* Mathematical biology II: Spatial models and biomedical applications. 3rd edition. – Springer, 2008. – 736 p.
2. *Тимченко И.Е.* Системные методы в гидрофизике океана. – Киев.: Наукова думка, 1988. – 180 с.
3. *Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Тимченко И.И.* Системный менеджмент и АВС-технологии устойчивого развития. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2000. – 225 с.
4. *Иванов В.А., Игумнова Е.М., Латун В.С., Тимченко И.Е.* Модели управления ресурсами прибрежной зоны моря. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. – 258 с.
5. *Pears D., Moran D.* The economic value of biodiversity. – London.: Earthscan Publications, 1994. – 172 p.
6. *Тимченко И.И., Игумнова Е.М., Тимченко И.Е.* Образование и устойчивое развитие. Системная методология. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2004. – 520 с.

7. *Тимченко И.Е., Игумнова Е.М.* Управление эколого-экономическими процессами в интегральной модели прибрежной зоны моря // Морской гидрофизический журнал. – 2011. – № 1. – С. 48-66.
8. *Saaty T.L.* The fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process.– RWS Publ., AHP Series, 2000. – vol. VI. – 478 p.

Материал поступил в редакцию 10.11.2011 г.

АНОТАЦІЯ Запропоновано інтегральна чисельна модель еколого-економічної системи прибережної зони моря, що дозволяє імітувати сценарії споживання та відтворення природних ресурсів. Для контролю стану ресурсів використані два взаємопов'язані індекси: біорізноманіття та рівня забруднення природного середовища. Проведено обчислювальні експерименти з метою оптимізації економічеської рентабельності виробництва товарів (послуг) в умовах виділення частини прибутку на підтримання необхідного рівня біорізноманіття. На прикладі прибережній зони південного берега Криму розглянуто можливість побудови карт просторових розподілів економічних параметрів раціонального природокористування.

ABSTRACT We propose a numerical model of integrated ecological-economic system of coastal zone, allowing to simulate the scenarios of natural resources consumption and reproduction. To monitor the state of resources two interrelated indexes: biodiversity and pollution of the environment were used. The computational experiments were conducted to optimize the economic profitability of goods (services) production under the condition, that a part of profits has to be used to maintain the necessary level of biodiversity. The possibility of constructing maps of the spatial distribution of economic parameters of environmental management considered on the example of the southern Crimea's coastal zone.