

И.Е.Тимченко, Е.М.Игумнова,
С.М.Солодова, Ю.И.Никифоров

Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь

АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ РЕКРЕАЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРЫМА

Адаптивная эколого-экономическая модель потребления рекреационных ресурсов применена для исследования рекреационной привлекательности Крыма. Модель построена методом адаптивного баланса влияний (*АВС*-методом) и использована для анализа условий оказания рекреационных услуг, при которых их рентабельность сохраняется с учетом расходов на природоохранные действия. Получены оценки влияния экологически чистых технологий рекреационных услуг на инвестиционную привлекательность объекта рекреации и показано, как влияют на них изменения погоды. Построены пространственные распределения рентабельности оказания рекреационных услуг для прибрежной зоны Крыма.

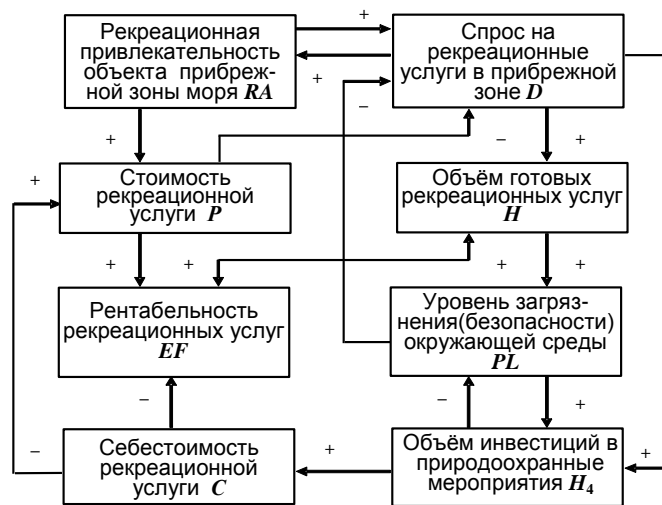
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *адаптивная эколого-экономическая модель, рекреационная привлекательность.*

В [1, 2] проблемы использования рекреационного потенциала прибрежной зоны моря рассмотрены с общих позиций системного подхода. Показано, что условием рационального потребления ресурсов курортной зоны является баланс экономической рентабельности производства рекреационных услуг и уровня природоохранной деятельности, поддерживающей экологическое состояние этой зоны.

В данной работе рекреационная привлекательность южнобережной части Крыма зависела от двух обобщенных видов локальных ресурсов этой зоны: инфраструктуры и сервисного обслуживания рекреантов, а также от природной среды и экологической безопасности курорта.

Концептуальная модель рекреационной привлекательности объекта рекреации. Будем оценивать рекреационную привлекательность с помощью индекса *RA*, который характеризует спрос на основной продукт экономической системы – рекреационную услугу, т.е. обеспечение рекреанта всем необходимым для полноценного отдыха. В целях упрощения безопасность объекта рекреации будем характеризовать обобщенным индексом загрязнения окружающей среды *PL*, понимая под этим уровень загрязнения территории, пляжной зоны, воздуха, продуктов питания, питьевой воды и др. веществами, представляющими опасность для здоровья рекреантов, а также уровень угрозы их личной безопасности. Индекс *PL* свяжем с объемом рекреационных услуг *H* и с объемом инвестиций в охрану окружающей среды *H₄*, которые снижают уровень загрязнения. Структура модели показана на рис.1.

В модель включены процессы формирования фонда средств *H₄*, ориентированных на внедрение экологически чистых технологий рекреационных услуг, которые снижают риски ущерба их здоровью. С ростом спроса на рекреационные услуги при условии их положительной рентабельности растёт суммарный объем услуг, а вместе с ним увеличивается и уровень загрязне-



Р и с . 1 . Структура модели эколого-экономической системы прибрежной зоны Крыма для слежения за балансом экономической рентабельности производства рекреационных услуг и экологической безопасности курорта.

ния окружающей среды. Это влечет за собой экономические санкции, которые поднимают себестоимость услуг. Как следствие растут суммарные (за период времени наблюдений) расходы рекреационной системы. Суммарные расходы сравниваются с суммарными доходами, что позволяет построить сценарий рентабельности, интегрально характеризующий эффективность рекреационной системы.

В блоке уровня загрязнения природной среды контролировался баланс скоростей накопления загрязнений и восстановления естественного фонового состояния среды. Назначение блока – следить за превышением концентрацией загрязняющих веществ PL установленного предельно допустимого значения PL^* и увеличивать за счет штрафов и инвестиций в природоохранные мероприятия себестоимость производства до таких значений, при которых дальнейший выпуск продукции прекращается всякий раз, когда $PL > PL^*$.

Формальная модель рекреационной привлекательности прибрежной зоны Крыма. Для построения модели эколого-экономической системы, используем обозначения переменных приведенных на рис.1. Кроме того, дополнительно введем следующие переменные: H – количество рекреационных услуг объекта, готовых к реализации, H_{i_i} – запасы производственных ресурсов ($i = 1, \dots, n$), H_2 – величина оборотного капитала, H_3 – величина накопленного кредита, S – текущий объем оказываемых рекреационных услуг, TX – экономические санкции за загрязнение окружающей среды, C_{MN} – среднее значение переменной MN , r_{MN} – удельная скорость изменения переменной MN , r_i – цены на ресурсы, потребляемые при производстве рекреационной услуги.

Для построения уравнений эколого-экономических процессов объекта рекреации воспользуемся методом адаптивного баланса влияний [3]. Структуру модельных уравнений поясним на примере уравнения для спроса на услуги D , который представляет фактическую величину рекреационной

привлекательности услуги с учетом ее стоимости P и уровня загрязнения окружающей среды PL (степени безопасности услуги):

$$\frac{dD}{dt} = 2r_D D [C_D - (D - a_{D/RA} RA + a_{D/P} P + a_{D/PL} PL)], \quad (1)$$

$$D = IF[D < 0; 0; IF(D > 2C_D; 2C_D; D)]. \quad (2)$$

Устойчивое решение уравнения (1) достигается при обращении в нуль квадратной скобки в правой части уравнения. При любых начальных условиях D_0 из интервала допустимых значений $(0, 2C_D)$ величина D стремится (адаптируется) к алгебраической сумме

$$D = C_D + a_{D/RA} RA - a_{D/P} P - a_{D/PL} PL.$$

Таким образом, стоимость услуги P и уровень загрязнения PL уменьшают ожидаемую рекреационную привлекательность объекта, а следовательно, и спрос D , отклоняя его величину вниз от среднего (невозмущенного) состояния C_D . Величина отклонения зависит от значений коэффициентов влияний $a_{D/RA}$, $a_{D/P}$ и $a_{D/PL}$. Под действием обратных связей происходит одновременная подстройка всех моделируемых процессов друг к другу, а также к внешним влияниям, приложенным к системе. Это обстоятельство дает основание называть модели, содержащие уравнения типа (1), адаптивными.

Аналогичным образом запишем уравнения адаптивной модели объекта рекреации для остальных переменных, опуская для краткости стандартные лимитирующие условия типа (2).

$$\begin{aligned} \frac{dH}{dt} = 2r_H H \{ & C_H - [H - IF(D < H; 0; IF(D - H < M; D - H; M))] + \\ & + IF(P < C; 0; IF(D < H; D; H)), \end{aligned} \quad (3)$$

$$M = \min(m_1; m_2; m_3), \quad m_i = H_{1i} / y_i \quad (i = 1, 2, 3),$$

где y_i – количества ресурсов, которые обеспечивают единичную услугу.

$$\begin{aligned} \frac{dH_{1i}}{dT} = 2r_{H_{1i}} H_{1i} \{ & C_{H_{1i}} - [H_{1i} - IF(D - H_{1i} < 0; 0; IF(y_i(D - H) < H_{1i}; 0; U_{1i})) + \\ & + IF(D - H < 0; 0; IF(y_i(D - H) < H_{1i}; y_i(D - H); H_{1i})) \}], \end{aligned} \quad (4)$$

$$U_{1i} = IF[y_i(D - H) - H_{1i} < \rho_i H_2 / r_i; y_i(D - H) - H_{1i}; IF[\rho_i(H_3^* - H_3) < 0; 0; U_{1i}^*]],$$

где ρ_i – относительный вес затрат на приобретение i -ого вида ресурса для производства единичной услуги, U_{1i}^* – ограничение закупок i -ого вида ресурсов величиной H_3^* – предельно допустимого кредита, предоставляемого системе рекреации.

$$\begin{aligned} \frac{dH_2}{dT} = r_{H_2} H_2 \{ & C_{H_2} - [H_2 - PS + IF(\theta H_3 < H_2; \theta H_3; H_2) + \sigma H_2 - \\ & - \sum_{i=1}^n IF\{r_i y_i(D - H) - H_{1i} < \rho_i H_2; r_i y_i(D - H) - H_{1i}; \rho_i H_2\}], \end{aligned} \quad (5)$$

где σ – процент извлекаемых из оборота средств, т.е. чистая прибыль рекреационной системы, θ – процент погашения (или возврата) кредитов.

$$\frac{dH_3}{dt} = r_{H_3} H_3 \{ C_{H_3} - [H_3 - \sum_{i=1}^3 r_i IF_i((D-H)y_i < H_{li}; 0; IF(r_i(y_i D - H_{li}) < \rho_i H_2; y_i D - H_{li}; F_i^*)) + S_3] \}, \quad (6)$$

где S_3 – средства, расходуемые на погашение кредита, F_i^* – ограничение выделения кредита на приобретение i -ого вида ресурсов.

$$\frac{dH_4}{dt} = 2r_{H_4} H_4 \{ C_{H_4} - [H_4 - (a_{EP/TX} TX + a_{EP/H_2} H_2)_{acc} + a_{H_4} AG(a_{PL/H_4} H_4)] \}, \quad (7)$$

где выражение $(a_{EP/TX} TX + a_{EP/H_2} H_2)_{acc}$ обозначает накопление средств в фонде H_4 .

$$\frac{dRA}{dt} = 2r_{RA} RA [C_{RA} - (RA - a_{RA/D} D)], \quad (8)$$

$$\frac{dP}{dt} = 2r_P P [C_P - (P - a_{P/C} C - a_{P/RA} RA)], \quad (9)$$

$$\frac{dC}{dt} = 2r_C C [C_C - (C - \sum_{i=1}^3 a_i r_i - a_{C/TX} TX)], \quad (10)$$

$$\frac{dPL}{dt} = 2r_{PL} PL \{ C_{ZP} - [PL + AG(a_{PL/H_4} H_4) + \varepsilon PL - a_{PL/S} S_{acc}] \}, \quad (11)$$

$$AG(a_{PL/H_4} H_4) = IF\{H_4 < H_4^*; 0; a_{PL/H_4} H_4 [1 - \exp(-\beta_{PL} \tau)]\}, \quad (12)$$

где ε – скорость самоочищения окружающей среды благодаря природным процессам, S_{acc} – объем реализованных услуг за время, прошедшее от начала оказания услуг, H_4^* – величина фонда экологически чистых технологий, достаточная для их внедрения, β_{PL} – параметр, определяющий скорость понижения уровня загрязнений при их внедрении.

Штрафы за превышение уровня загрязнения окружающей среды контролировал агент управления $AG_{TX}(PL, PL^*)$ в уравнении динамики штрафных санкций:

$$\frac{dTX}{dt} = 2r_{TX} TX \{ C_{TX} - [TX - a_{TX/PL} PL - AG_{TX}(PL, PL^*)] \}, \quad (13)$$

$$AG_{TX}(PL, PL^*) = IF\{PL < PL^*; 0; a_{TX/PL^*} [1 - \exp(b_{TX} \tau)]\}, \quad (14)$$

где PL^* – предельно допустимая величина PL . Рентабельность рекреационных услуг оценивалась с помощью логарифма отношения доходов I_{acc} , накопленных за период времени t , к накопленным расходам E_{acc} :

$$EF = \ln \frac{1 + I_{acc}}{e + E_{acc}}, \quad I_{acc} = \int_0^t P(t) S(t) dt, \quad E_{acc} = \int_0^t E(t) H(t) dt. \quad (15)$$

При компьютерной реализации модели переменные в системе уравнений (1) – (15) были представлены в безразмерных условных единицах и приведены к интервалу изменчивости (0, 10).

Оценка влияния экологически чистых технологий оказания рекреационных услуг на инвестиционную привлекательность объекта рекреации. Рекреационная привлекательность прибрежной зоны Крыма существенно зависит от инвестиций в инфраструктуру, сервис и в экологическую безопасность курортов. Однако любые инвестиции предполагают прогнозную оценку возврата, выделяемых средств и ожидаемого размера прибыли. На рис.2 приведены прогнозируемые моделью сценарии экономических процессов объекта рекреации. Эксперимент проведен при постоянном спросе на рекреационные услуги, составлявшем 70 единиц (койкомест/сутки) и при условии, что в фонд внедрения экологически чистых технологий ежедневно выделяется 1 % прибыли курорта ($\sigma = 0,01$). Стоимости трех видов ресурсов r_i сохранялись постоянными.

На рис.2, *a* показаны ежедневные объемы услуг в течение всего времени эксперимента продолжительностью в 500 суток. Себестоимость C и стоимость P находились под влиянием сценария экологических штрафов TX , который сначала демонстрировал быстрый рост с насыщением, а затем такое

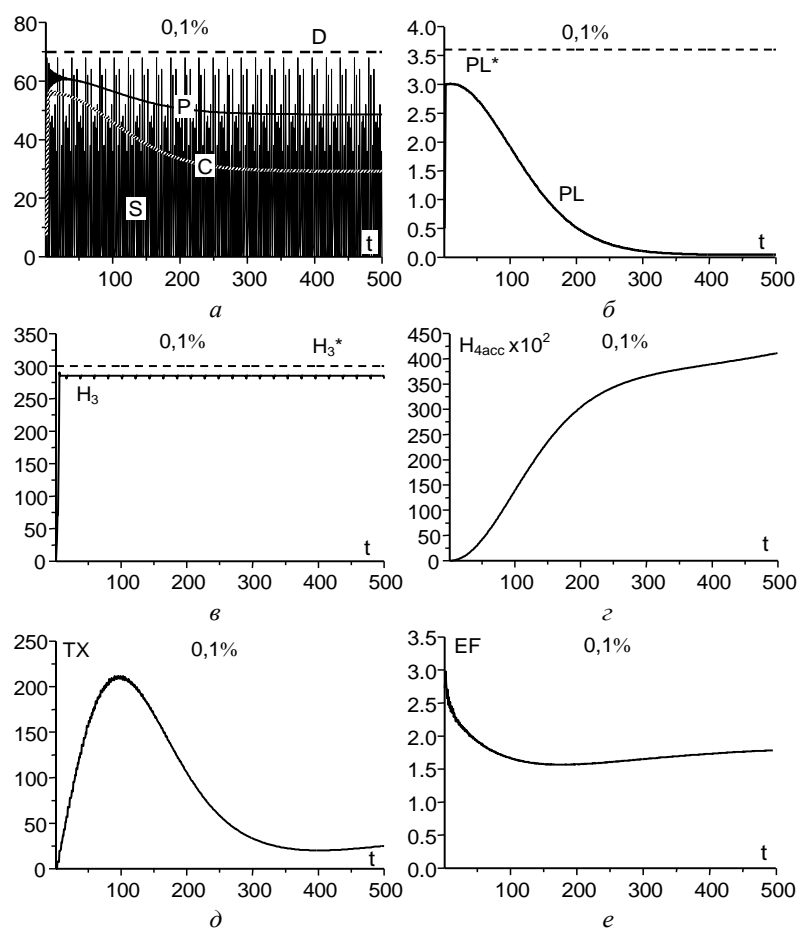


Рис. 2. Сценарии эколого-экономических процессов в условиях, когда на внедрение экологически чистых технологий используется 0,1 % оборотных средств курорта.

же быстрое падение (рис.2, *д*). Причиной такого изменения сценариев стало уменьшение уровня загрязнения окружающей среды PL (рис.2, *б*) вследствие быстрого роста фонда внедрения экологически чистых технологий рекреации H_4 (рис.2, *з*). При этом уровень инвестиций в производство услуг в форме размера текущего кредита H_3 сохранялся близким к предельно допустимому значению $H_3^* = 300$ у.е. (рис.2, *в*).

Сценарий рентабельности производства услуг отражает изменения, связанные с внедрением экологически чистых технологий (рис.2, *е*). Падение рентабельности услуг, вызванное ростом штрафных санкций в начальный период времени эксперимента, было остановлено вследствие перехода к новым технологиям, а затем рентабельность получила тенденцию роста.

Влияние объемов отчислений в фонд внедрения экологически чистых технологий на динамику эколого-экономических процессов показывают результаты вычислительных экспериментов, приведенные на рис.3 и 4. Располагая семействами сценариев этих процессов, полученных при различных процентах отчислений, нетрудно определить размеры фонда, обеспечивающие необходимый баланс рентабельности рекреационных услуг и уровня загрязнения окружающей среды. Так, например, из рис.3, *а* и *в* следует, что наиболее выгодный размер отчислений составляет 1 % от оборотных средств объекта рекреации, так как при выбранном темпе роста уровня загрязнений (кривая PL , 0 %) наблюдается достаточно быстрое падение этого уровня (кривая PL , 0,1 %) и в тоже время незначительное падение рентабельности услуг (кривая EF , 0,1 %).

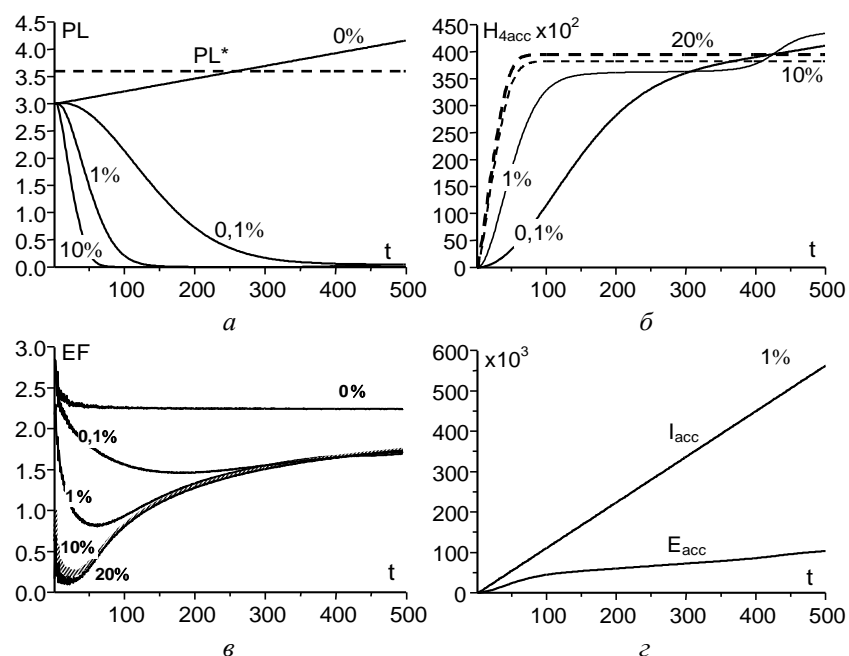


Рис.3. Влияние процентов оборотного капитала, формирующего фонд внедрения экологически чистых технологий, на уровень загрязнения природной среды и экономическую рентабельность объекта рекреации.

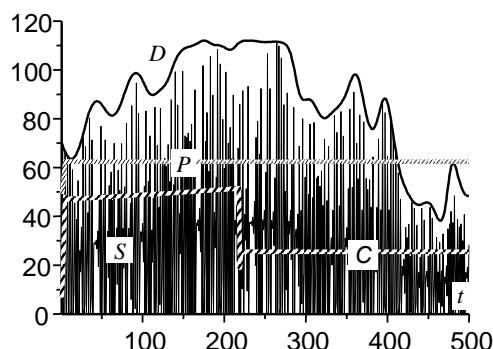


Рис. 4. Изменения спроса на рекреационные услуги в связи с сезонными вариациями климатической привлекательности курорта: D – спрос на рекреационные услуги, S – объем услуг, P – стоимость услуги, C – себестоимость услуги. На 220-м шаге применены экологически чистые технологии.

Оценка влияния вариаций погоды и климата на эффективность внедрения экологически чистых технологий в рекреационной зоне. Погода и климат оказывают существенное влияние на рекреационную привлекательность курорта и, как следствие, на экономические условия внедрения экологически чистых технологий рекреационных услуг. С целью оценить влияние сезонных факторов на использование экологически чистых технологий рекреации поставлен эксперимент, в котором спрос на рекреационные услуги находился в зависимости от годового хода температуры воздуха, морской воды и солнечной активности. Влияние сезонных вариаций климата на спрос имитировано псевдослучайной функцией, изображенной на рис.4. Результаты эксперимента приведены на рис.4 и 5.

Как следует из рис.4, с ростом сезонной привлекательности курорта в первом полугодии увеличивался спрос на рекреационные услуги, возрастал их объем, а вместе с ним и уровень загрязнения окружающей среды. Во втором полугодии наблюдалась обратная картина изменений. Эффективность борьбы с загрязнением зависела от системы экономических санкций, применяемых к объекту рекреации. Агент управления останавливал работу объекта рекреации, как только уровень загрязнения становился выше предельно допустимого. Одновременно с остановкой производства услуг объекту рекреации предъявлялся штраф, который соответствовал расходам на внедрение новых экологически чистых технологий. Сценарии, отвечающие этому варианту управления, приведены на рис.5.

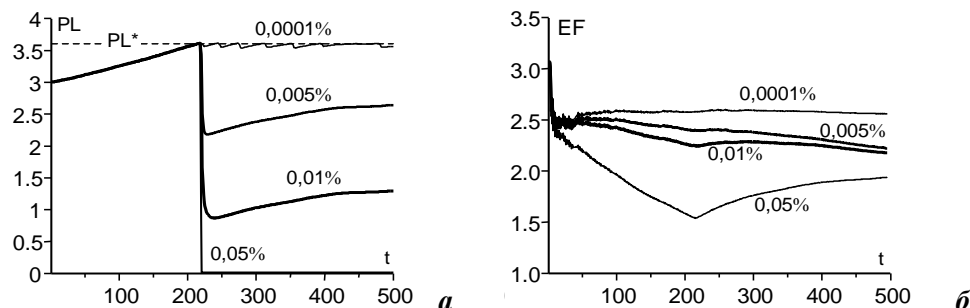


Рис. 5. Сценарии уровня загрязнения природной среды (а) и рентабельности рекреационных услуг (б), построенные с учетом климатической привлекательности курорта при штрафах за превышение допустимого уровня загрязнения до и после начала применения на 220 шаге эксперимента экологически чистых технологий. В процентах указаны отчисления в фонд их внедрения.

Предельно допустимый уровень загрязнения $PL^* = 3,6$ был достигнут на 220 шаге от начала вычислений, т.е. в разгар курортного сезона (рис.3, *a*; кривая PL , 0 %). В это время включен штраф, резко повысивший отчисления в фонд внедрения ресурсосберегающих технологий H_4 . Значительное увеличение средств фонда привело к резкому падению уровня загрязнения, которое показано на рис.5, *a*. Величина этого падения существенно зависела от процента оборотных средств, отчисляемых в фонд. Так, при низком проценте (0,001 %) сценарий уровня загрязнения принял пилообразную форму, но остался практически у значения $PL^* = 3,6$. При проценте отчислений, равном 0,05, уровень загрязнения упал до нуля.

Соответствующие сценарии рентабельности приведены на рис.5, *б*. Обращает на себя внимание сценарий EF , 0,05 %. Падение рентабельности за счет значительного объема средств, выделенных на переход к новым технологиям, дало эффект роста рентабельности после их внедрения при отсутствии загрязнений.

Оценка пространственного распределения рентабельности рекреационных услуг для южнобережного района Крыма. Использована адаптивная модель процессов рекреации для каждого из узлов квадратной расчетной сетки с шагом 2,5 км. Рельефные изображения рекреационной привлекательности и рентабельности рекреационных услуг для района приведены на рис.6 и 7.

В целях упрощения считалось, что главные рекреационные ресурсы территории Крыма зависят от инфраструктуры и сервисного обслуживания рекреации, а также от стоимости поддержания уровня загрязнения этого участка территории (в том числе пляжей) ниже установленного предела. Начальные оценки рекреационной привлекательности отдельных участков территории Крыма построены с учетом плотности населения, удаленности участка от пляжей и его транспортной доступности.

Наиболее привлекательным для отдыха и оздоровления является южный берег Крыма, где имеются уникальные природные условия и наиболее развита инфраструктура и сервисное обслуживание объектов. Таким образом, образом, адаптивная эколого-экономическая модель (1) – (15) позволяет воспроизводить сценарии процессов, характеризующих условия баланса природопользования в прибрежной зоне моря, т.е. компромиссного выбора рентабельности оказания рекреационных услуг и допустимого уровня загрязнения (экологической безопасности) окружающей среды.

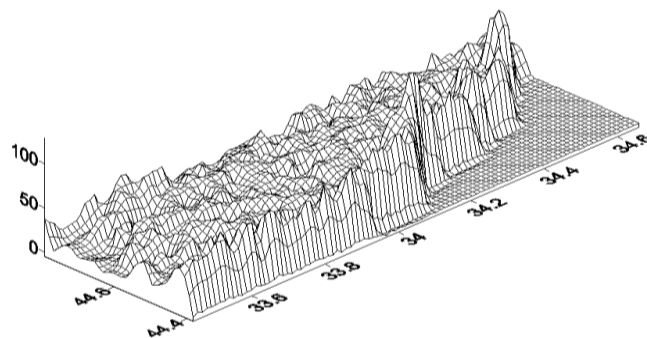
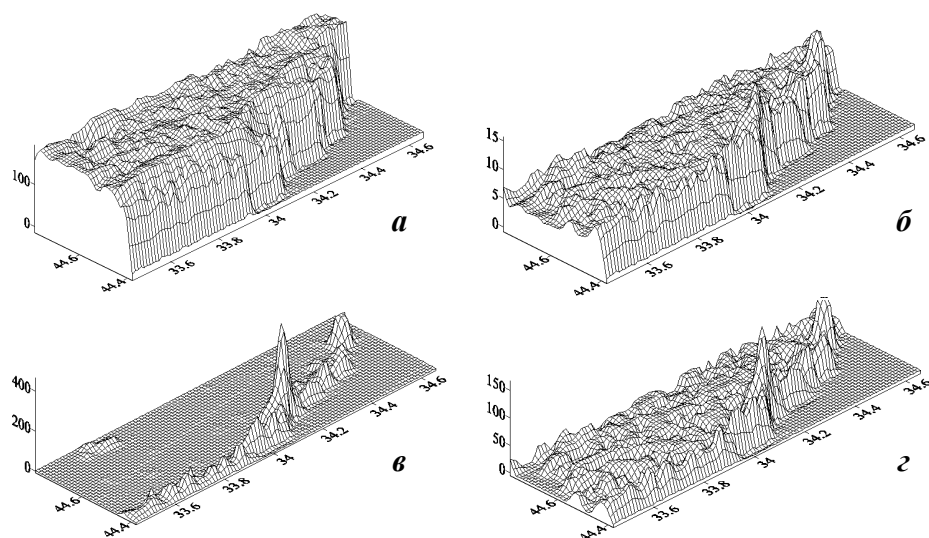


Рис. 6. Рельефное изображение оценок рекреационной привлекательности района.



Р и с . 7 . Пример имитации пространственно-временных сценариев рекреационных услуг: стоимость ресурса инфраструктуры и сервиса (а) и природоохранных действий (б), рентабельность в зимнее (в) и летнее (z) время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тимченко И.Е., Игумнова Е.М.* Адаптивные модели эколого-экономических систем прибрежной зоны моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010.– вып.22.– С.156-170.
2. *Иванов В.А., Игумнова Е.М., Никифоров Ю.И., Солодова С.М., Тимченко И.Е.* Пространственно-временная модель потребления рекреационных ресурсов прибрежной зоны Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014.– вып.28.– С.414-426.
3. *Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Тимченко И.И.* Системный менеджмент и ABC-технологии устойчивого развития.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.– 225 с.

Материал поступил в редакцию 12.01.2016 г.

I.E.Timchenko, E.M.Igumnova, S.M.Solodova, Yu.I.Nikiforov

ADAPTIVE MODEL OF RECREATIONAL ATTRACTIVENESS OF THE CRIMEAN COASTAL ZONE

Adaptive ecological and economic model of recreational resources is used to study the recreational attractiveness of the Crimea. The model is constructed by the adaptive balance of causes (ABC-method) and is used to analyze the conditions of recreational services, where their profitability is maintained, taking into account the cost of environmental protection. It was estimated how clean technologies of recreational services lift the investment attractiveness of recreation objects and how the weather changes influence them. Spatial distributions of the cost of recreational resources and profitability of recreational services were built for the coastal zone of Crimea.

KEYWORDS: adaptive ecological and economic model, recreational attractiveness.