

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕКРЕАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ НА УЧАСТКЕ ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

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

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoimhi@inbox.ru

Приводится имитационная эколого-экономическая модель, предназначенная для построения пространственно-временных распределений спроса на рекреационные услуги и рентабельности их предоставления в зависимости от природных и экономических ресурсов территории, а также с учетом расходов на природоохранные действия.

Введение. Системная методология управления развитием предлагает общую схему построения информационных технологий компьютерной поддержки административных решений по использованию ресурсов прибрежной зоны моря для достижения целей устойчивого развития [1]. В соответствии с принципами системного подхода концептуальная модель использования рекреационных ресурсов территории может быть представлена в виде рис. 1.



Рис. 1. Концептуальная модель потребления рекреационных ресурсов

Обобщенным показателем рекреационного потенциала территории будем считать индекс ее рекреационной привлекательности RA , который определяет спрос на рекреационные услуги. Еще одним важным показателем является стоимость ресурсов, необходимых для производства этих услуг. В настоящей работе мы рассматриваем три основных вида ресурсов, характеризующих потенциал данного участка территории: производственные (природные условия и существующая инфраструктура объектов рекреации), сервисные (уровень обслуживания рекреантов) и экологические (уровень загрязнения природной среды). В основе информационной технологии поддержки решений по использованию рекреационных ресурсов лежит идея рационального баланса экономической выгоды от использования рекреационного потенциала территории и расходов на снижение уровня загрязнения природной среды, связанного с объемом предоставляемых услуг. Подобный баланс может быть найден с помощью адаптивных моделей интегральных эколого-экономических систем [2]. В настоящей работе предлагается использовать адаптивную модель объекта рекреации для построения пространственно-временных распределений рентабельности потребления ресурсов приморской территории.

Адаптивная модель эколого-экономической системы объекта рекреации. Модель системы рекреационных услуг, соответствующая рис. 1, может быть построена методом адаптивного баланса влияний (АВС-методом [1, 3]). Она имеет следующий вид:

$$\frac{dD}{dt} = D[1 - c_D(D + a_{D/P}P - a_{D/RA}RA)],$$

$$\frac{dV}{dt} = V\{1 - c_V[V - AG_V(D, H, H_{1i}, P, C, H_2, H_3, H_3^*)]\},$$

$$\frac{dC}{dt} = C[1 - c_C(C - \sum_{i=1}^3 y_i r_i)], \quad (1)$$

$$\frac{dP}{dt} = P[1 - c_P(P - a_{P/C}C)],$$

$$\frac{dr_i}{dt} = r_i[1 - c_{r_i}(r_i - a_{r_i}r_i^*)],$$

$$\frac{dPL}{dt} = PL\{1 - c_{PL}[PL - a_{PL/S}S_{acc} + Q]\},$$

где D – спрос на рекреационные услуги, V – текущий объем рекреационных услуг, S – количество реализуемых услуг, P – цена услуги, C – ее себестоимость, r_i – цены на ресурсы, потребляемые объектом, c_M – ресурсные емкости переменных модели, a_{MN} – коэффициенты, учитывающие взаимные влияния переменных модели, $a_{r_i}r_i^*$ – параметры, устанавливающие начальную стоимость ресурсов, PL – уровень загрязнения окружающей среды, пропорциональный накопленному объему рекреационных услуг S_{acc} , Q – скорость очищения природной среды от загрязнений, H_3^* – предельно допустимая величина инвестиций в производство рекреационных услуг.

Динамика производственных процессов в любой экономической модели может быть представлена уравнениями адаптивного баланса влияний [1], в которых V обозначает поступление (приход), а S – реализацию (расход) моделируемой субстанции. Так, например, для количества обслуживаемых рекреантов H имеем:

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

$$S = IF(P < C; 0; R),$$

$$R = IF(D < H; D; H), \quad (2)$$

$$V = IF(D < H; 0; M),$$

$$M = IF(D - H < M; D - H; M),$$

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

Динамика запасов ресурсов H_{1i} , которыми располагает данный объект рекреации, и баланс оборотных средств объекта рекреации H_2 могут быть представлены уравнениями:

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

где $V_{1i} = IF[D - H_{1i} < 0; 0;$

$$IF[y_i(D - H) < H_{1i}; 0; U_{1i}]],$$

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

$$S_{1i} = IF[D - H < 0; 0;$$

$$IF[y_i(D - H) < H_{1i}; y_i(D - H); H_{1i}]],$$

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

$$\frac{dH_2}{dt} = H_2 \left[1 - 2 \left(\frac{H_2 - PS + \sum_{i=1}^n S_{2i} + S_3 + \sigma H_2}{\dots} \right) \right], \quad (4)$$

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

$$r_i y_i(D - H) - H_{1i}^1; \rho_i H_2],$$

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

В формулах (3) и (4) y_i – это количество ресурсов, расходуемых на единицу продукции, σ – процент извлекаемых из оборота средств, т.е. чистая прибыль рекреационной системы, θ – процент погашения накопленных инвестиций (или возврата кредитов), ρ_i – относительный вес затрат на приобретение i -того вида ресурса для производства единицы продукции.

Уравнение для накопленных инвестиций H_3 принимает вид:

$$\frac{dH_3}{dt} = H_3 \left[1 - 2 \left(H_3 - \sum_{i=1}^3 r_i V_{1i} + S_3 \right) \right], \quad (5)$$

где $V_{1i} = IF[(D - H)y_i < H_{1i}; 0; F_i],$

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

$$(i = 1, 2, 3).$$

Функции U_i^* и F_i^* в уравнениях (4) и (5) представляют собой управления, которые ограничивают объемы ресурсов, приобретаемых путем дополнительных инвестиций. Согласно приведенным уравнениям агент $AGV(D, H, H_1, P, E, H_2, H_3, H_3^*)$ учитывает как рентабельность выпуска и реализации продукции, так и возможности дополнительных инвестиций (например, путем получения кредитов) для закупки недостающих ресурсов.

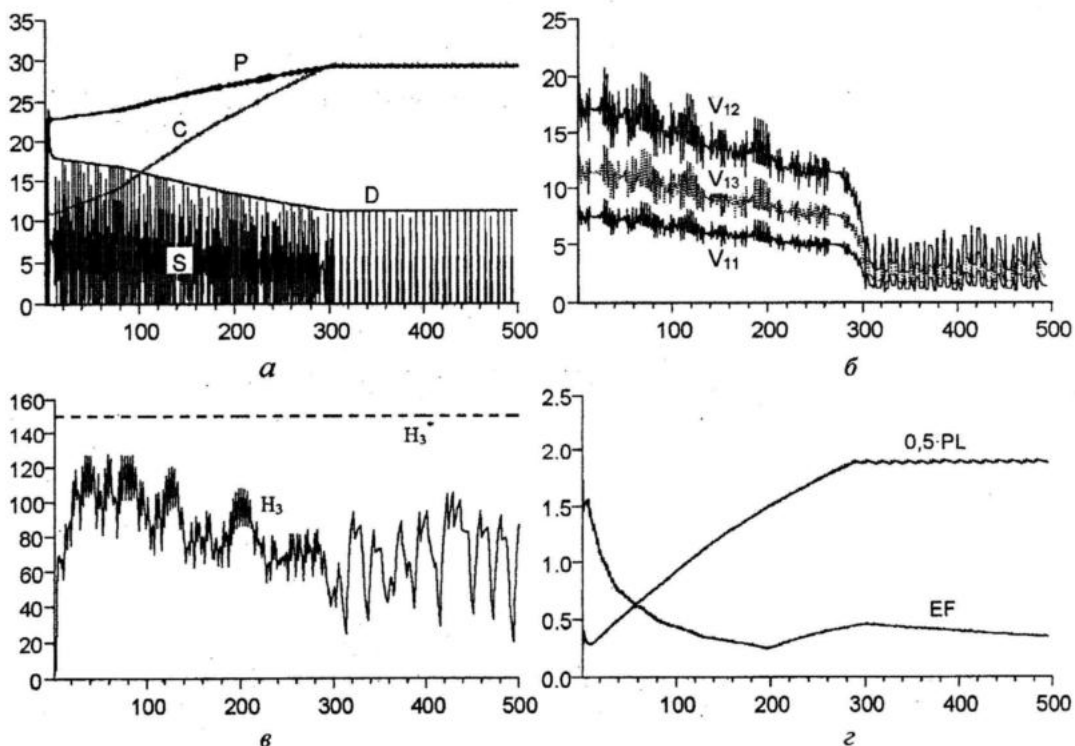
Рентабельность объекта рекреации будем оценивать с помощью логарифма отношения доходов I_{acc} , накопленных за некоторый период времени t , к накопленным расходам E_{acc} :

$$EF = \ln \frac{1 + I_{acc}}{e + E_{acc}} \quad (6)$$

Организация вычислительных экспериментов и тестирование эколого-экономической модели. Вычислительные эксперименты с моделью (1) – (6) проводились на интервале (0, 500) шагов по времени. С целью тестирования модели первоначально были проведены пробные расчеты сценариев экономических процессов. Для этого в уравнениях модели были заданы параметры, величины которых приведены в таблице 1. Результаты тестового эксперимента показаны на рис. 2.

Таблица 1

y_1	1,3	c_{r_1}	0,2 у.е.	θ % кред.	10%	c_P	16 у.е.
y_2	3,0	c_{r_2}	1,0 у.е.	α % приб.	1%	c_D	42
y_3	2,0	c_{r_3}	0,3 у.е.	H_3^*	150 у.е.	c_C	14 у.е.
$a_{r_i}^*$	2,0	$a_{r_i}^*$	1,0	$a_{r_i}^*$	2,0	$a_{P/C}$	0,5



Р и с. 2. Сценарии эколого-экономических процессов потребления ресурсов с учетом зависимости себестоимости производства от уровня загрязнения природной среды

Как следует из рис. 2а, при выбранных значениях параметров модели величина добавленной стоимости в начале эксперимента составляла около 15 условных единиц (у.е.). Поэтому объект рекреации начал устойчиво функционировать, удовлетворяя спрос, который, однако, стал падать ввиду растущего загрязнения окружающей среды (см. график PL на рис. 2з). Вместе с увеличением загрязнения стала расти себестоимость производства услуг, так как объект был вынужден платить штрафы за загрязнение. На рис. 2а, видно, что на 300 шаге по времени себестоимость сравнялась с ценой услуги, и агент AG_V начал приостанавливать удовлетворение спроса ввиду отсутствия прибыли.

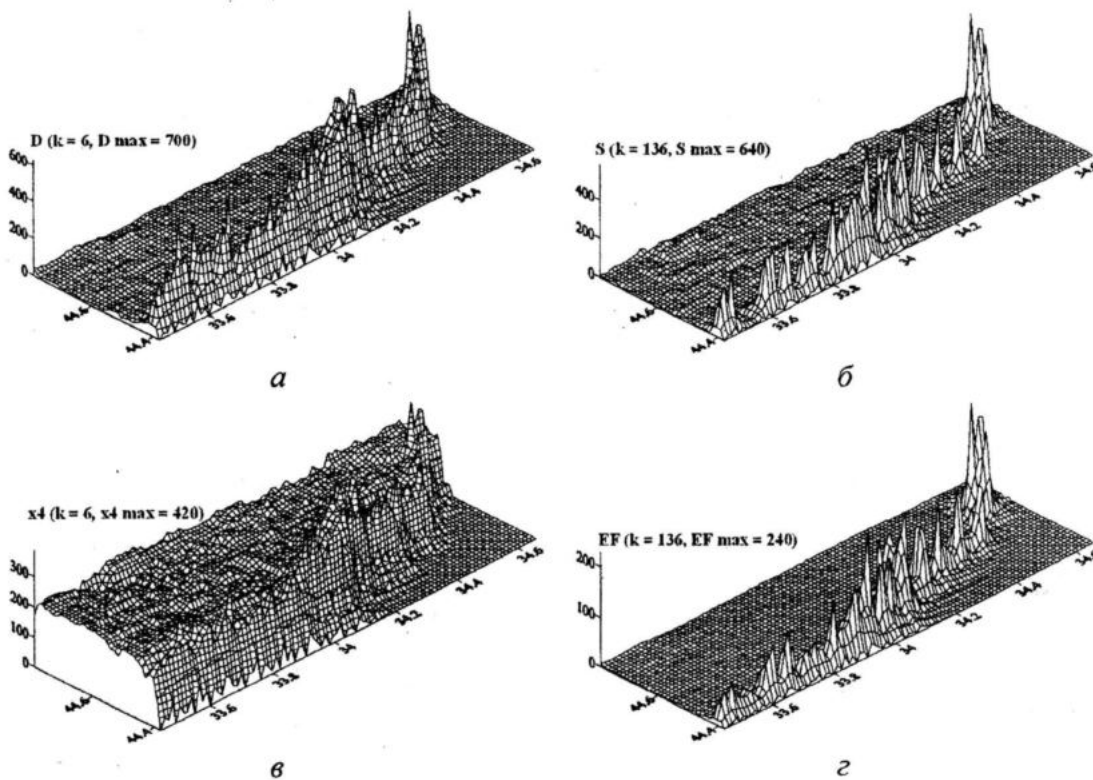
В этом эксперименте установленная скорость уменьшения концентрации загрязнений в природной среде (за счет самоочищения или природоохранных действий) составляла примерно 0,1 единиц концентрации в сутки. Поэтому через каждые 10 суток себестоимость (вместе с уровнем загрязнения) опускалась ниже цены услуги и объект возобновлял функционирование. Таким образом, после 300 шага вычислений устанавливается квазистационарный режим потребления рекреационных ресурсов, при котором загрязнение природной среды сохранялось на контролируемом уровне. Объемы потребления ресурсов показаны на рис. 2в, а экономическая рентабельность объекта – на рис. 2г. Как следует из рисунка, рентабельность производства услуг существенно зависит от штрафов за загрязнение природной среды. В квазистационарном режиме функционирования объекта она оказалась в 3 раза ниже первоначальной. Проведенные вычислительные эксперименты подтвердили, что экономическая модель объекта рекреации адекватно реагирует на изменения параметров и может быть применена для анализа эколого-экономических процессов на участке территории Крыма.

Пространственно-временные сценарии эколого-экономических процессов. Для проведения вычислительных экспериментов был выбран участок тер-

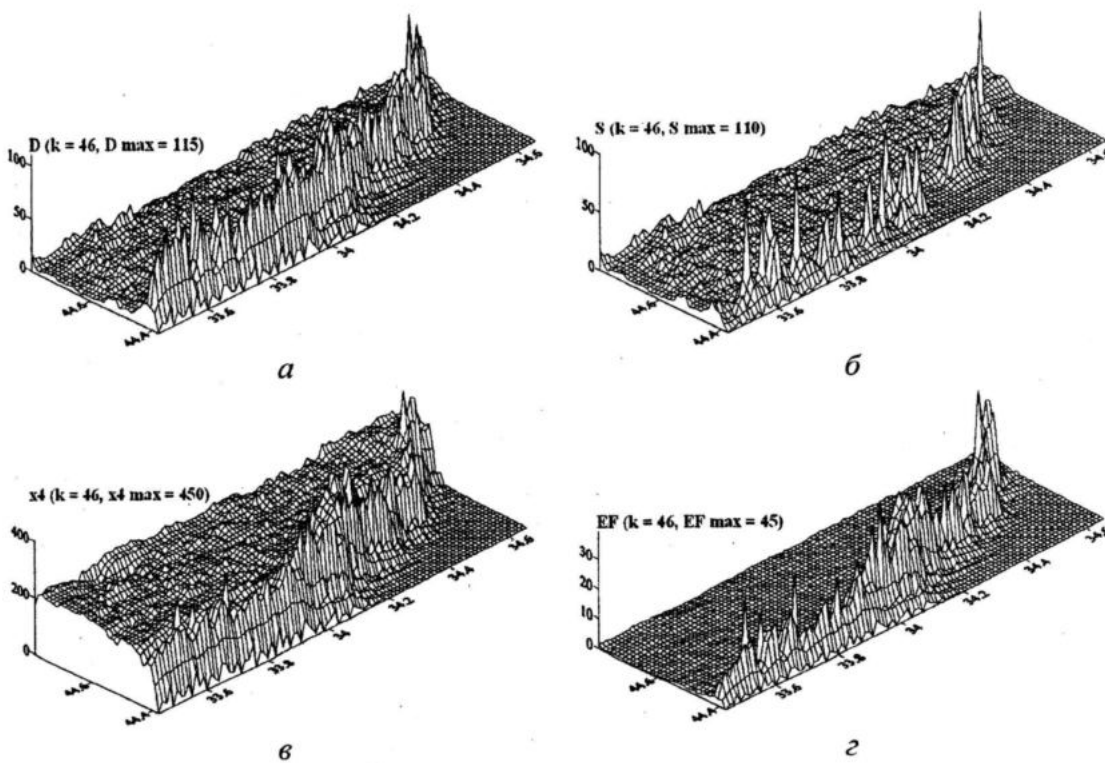
ритории, прилегающий к Южному берегу Крыма, между п. Форос и г. Алушта. В работе [4] была рассмотрена возможность построения пространственно-временных сценариев природопользования для этого района с применением несколько иной модели. В качестве исходной информации были использованы данные о плотности населения в районе, с которой была связана оценка рекреационной привлекательности RA . В нашем случае мы использовали карту значений RA , которая была построена путем экспертизы существующих видов производственных, сервисных и природных ресурсов территории района. Для индекса рекреационной привлекательности была использована шкала (0, 100) баллов. Карта значений RA , послужившая в качестве исходной информации для эколого-экономической модели (1), приведена на рис. 3а. Кроме индекса RA , входной информацией модели послужили оценки пространственных распределений трех основных видов ресурсов, также полученные путем экспертизы территории. Цены на каждый вид ресурсов формировали динамику себестоимости C , которая в свою очередь, влияла на спрос и на объемы рекреационных услуг в соответствии со схемой рис. 1. Отрицательная обратная связь по цепочке $C - P - D - V - PL - C$, обеспечивала баланс объема рекреационных услуг и приемлемого уровня загрязнения природной среды (рис. 1).

С моделью (1) – (6) были проведены две серии экспериментов. В первой из них влияние загрязнений не учитывалось, во второй – было учтено. Временные сценарии были рассчитаны для каждого из узлов квадратной сетки, покрывавшей район, что позволило проследить динамику пространственных распределений переменных. Результаты приведены на рис. 3 – 5.

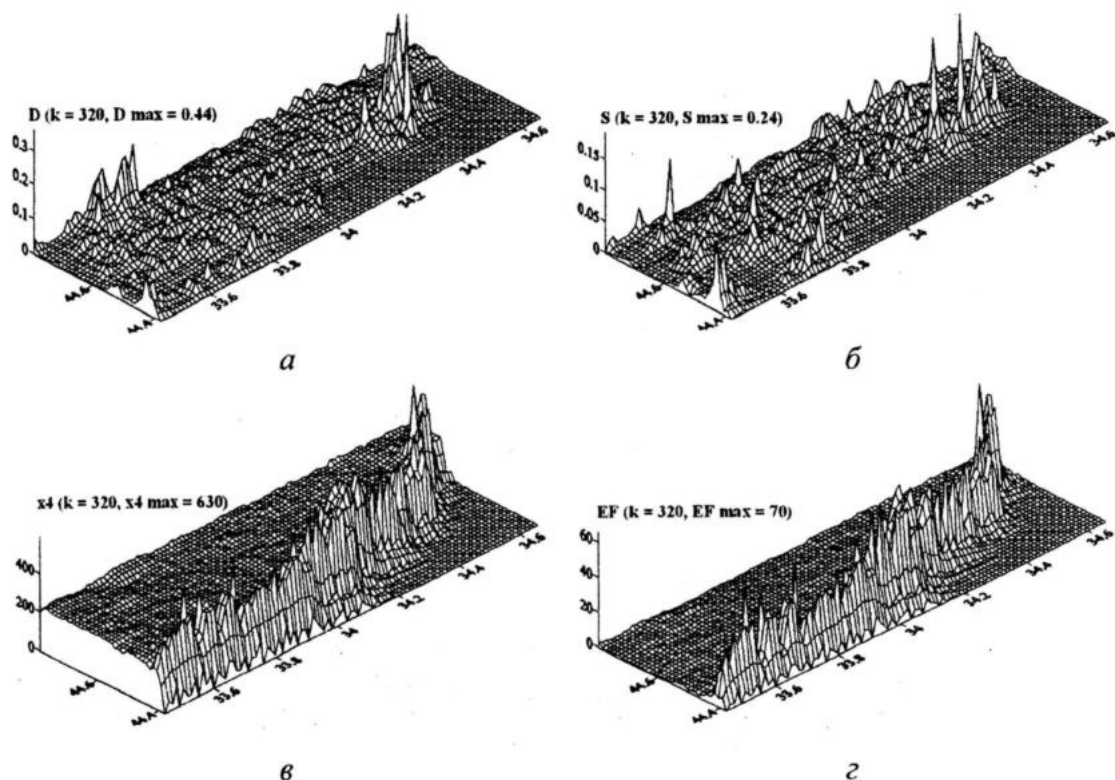
Первая серия вычислений (рис. 3) показала, что модель приходит в стационарное состояние после 20 суток от начала вычислений. В этом состоянии наибольшая рентабельность рекреации, как и следовало ожидать, наблюдается в районе Южного берега Крыма (ЮБК).



Р и с. 3. Пространственные распределения экономических переменных без учета расходов на борьбу с загрязнениями природной среды: *а* – спрос *D* (пропорциональный *RA*), *б* – реализация услуг *S*, *в* – себестоимость $x_4 = C$, *г* – рентабельность *EF*, *k* – количество суток от начала эксперимента



Р и с. 4. Пространственные распределения экономических переменных с учетом расходов на борьбу с загрязнениями природной среды на 46-ые сутки от начала эксперимента



Р и с. 5. Пространственные распределения экономических переменных с учетом расходов на борьбу с загрязнениями природной среды на 320 сутки от начала эксперимента

Включение расходов на борьбу с загрязнением во второй серии экспериментов существенно изменило сценарии переменных модели. Сравнивая между собой сценарии на 46 сутки (рис. 4) и на 320 сутки (рис. 5), нетрудно заметить, что включение этих расходов значительно повысило себестоимость производства, а, следовательно, и цены на рекреационные услуги. Поэтому спрос на них резко упал даже в районе ЮБК. Вместе с тем, рекреационные услуги в этом районе сохранили свою рентабельность.

Заключение. Как следует из проведенных экспериментов, предложенная модель может быть использована для прогнозирования оценок рентабельности новых объектов рекреации и определения допустимых размеров отчислений из прибыли на природоохранные действия. Необходимым условием практического применения модели является ее калибровка, т.е. выбор параметров, соответствующих реальным условиям конкретной местности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Тимченко И.И. Системный менеджмент и ABC-технологии устойчивого развития. – Севастополь: Изд. “ЭКОСИ – Гидрофизика”, 2000. – 225 с.
2. Ivavov V.A., Igumnova E.M., and Timchenko I.E. Coastal Zone Resources Management. Akademperiodika. Kyiv. 2012. – 304 p.
3. Тимченко И.И., Игумнова Е.М., Тимченко И.Е. Образование и устойчивое развитие. Системная методология. Севастополь: Изд. “ЭКОСИ–Гидрофизика”, 2004. – 520 с.
4. Тимченко И.И., Игумнова Е.М., Никифоров Ю.И., Солодова С.М. Эколого-экономическая оценка рекреационных ресурсов приморской территории. // Системы контроля окружающей среды – Севастополь: – Изд. МГИ НАНУ, 2011. – Выпуск 16. – С. 136 – 144.