

УДК 504.4 06 (043)

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИРОДНОЙ СИСТЕМЫ КАК
СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

К.Ж. Мустафаев

Предложена методика оценки устойчивости природной системы как среды обитания человека, включающие модели экологические, экономические и социальные устойчивости компонентов природной системы.

Правильное преобразование природной системы должно сочетать в себе равнозначные группы мероприятий: защиту технической системы и защиту экосистемы с ее живыми организмами от неблагоприятных воздействий (изменений), чтобы не нарушать устойчивость среды обитания человека. В настоящее время накоплен значительный теоретический взгляд к определению методов оценки и критериев устойчивости экологических систем. Однако проблема человека, его сущности и существования, его развития и предназначения, рассматриваемая в материальном, духовном и нравственном аспектах, выдвигает новое научное обоснование мировоззренческого значения критериев устойчивости экологических систем в условиях жесткой антропогенной деятельности человека.

Взаимодействие различных отраслей общественных и естественных наук обеспечило разработку системного представления о месте и роли человека в экологических отношениях и взаимодействия человека со средой обитания. В широком смысле, среда обитания означает некоторое совокупное качество условий жизни человека, обусловленных природой и социальными условиями одновременно.

В условиях интенсивного использования природных ресурсов и преобразования природной системы среда обитания человека, играющая важную роль в воспроизводстве его как производительной силы и как личности, приобретает все более определяющие цели в развитии человека. По этому, при обосновании методов оценки устойчивости экологических систем, изучение совокупности процессов и форм взаимодействия человека со всей средой его обитания - социальной, технической, природной - и составляет, как известно, существо экологической проблемы.

Устойчивость природных явлений и системы стала объектом исследований сферы прикладных наук, так как одним из важнейших вопросов в механике, берущих свое начало с древнейших времен, является выбор технических решений, отвечающих устойчивости динамических системы. В области физики в древнегреческой науке центральное место занимала теория равновесия, получившая наибольшее развитие в работах Архимеда по теории рычага, из которой и сформировалось представление об естественных местах всех тел природы [7].

Торричелли (1608...1647) впервые в статике сформировал принцип, согласно которому в системе тяжелых тел, находящихся в равновесии, центр тяжести занимает относительно наиболее низкое положение, какое только возможно. Лагранж (1736...1813) обобщил принцип Торричелли, доказав теорему об устойчивости изолированного равновесия механической системы, когда силовая функция действующих на систему сил имеет максимум в этом положении равновесия.

Общую задачу об устойчивости движения в ее классической постановке решил в 1892 году А.М. Ляпунов [12, 13], получившую большое распространение в прикладной механике вообще, а в теории машин и механизмов в частности, т.е. для динамических систем, движение которых описывается уравнениями:

$$\frac{dx_k}{dt} = f_k(t, x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (k = 1, 2, \dots, n). \quad (1)$$

Состояниям равновесия динамической системы, движение которой описывается уравнением (1), соответствуют на фазовом пространстве переменных x_1, x_2, \dots, x_n точкам, для которых одновременно $dx_k / dt = 0$ ($k = 1, 2, \dots, n$).

Устойчивость экологических систем стала объектом исследований В.Д. Федорова, С.А. Соколовой [25], В.А. Светлосанова [22], Ю.М. Свирежева, Д.О. Логофета [23], А.П. Левича [10], С.М. Семенова [24], Ю.А. Израэля [9], Н.И. Парфеновой, Н.М. Решеткиной [21], А.К. Заурбека [8], М.Ж. Бурлибаева [2, 4], Ж.С. Мустафева, А.Т. Козыкеевой, Л.Ж. Мустафаева [17], Ж.С. Мустафаева, Л.Ж. Мустафаевой, К.Ж. Мустафаева [18, 19], Достая Ж.Д., Царегородцевой А.Г. [6] и других, где само понятие устойчивости как интегрального понятия организации экосистемы, трактуется по-разному, порой взаимоисключаясь.

Применение математических методов в экологии, в условиях антропогенной деятельности стало одним из наиболее быстро развивающихся

ся направлений исследований в области естествознания. Под экологической устойчивостью по А.М. Ляпунову принято понимать способность экологической системы достаточно долгое время противостоять возмущающим факторам без вымирания или деградации отдельных компонентов системы. Устойчивостью же по Лагранжу служит ограниченность сверху и снизу всех траекторий, исходящих из некоторой определенной области фазового пространства модели, что является основой для формирования концепции устойчивости биологических систем [23].

При определении устойчивости речных систем М.Ж. Бурлибаев [2, 4] на основе некоторых преобразований устойчивости А.М. Ляпунова, т.е., задавая параметры по оси ординат ограниченности как сверху (максимумы биопродуктивности травостоя пойменных лугов и воспроизводство рыбных запасов), так и снизу (максимум соленакопления корнеобитаемого слоя почв пойменных лугов), сохраняет основные принципы устойчивости Лагранжа.

Под устойчивостью (ее мерой) S биологической системы в работе А.П. Левича [10] понимается соотношение между мерой изменения (возможного) требуемых свойств системы ΔR и мерой соответствующего воздействия ΔF , т.е. $S = \Delta F / \Delta R$, тогда стабильность системы определяется величиной $1/\Delta R$.

В некоторых случаях при определении устойчивости экологических систем рассматривается лишь мера изменения требуемых свойств при воздействии на нее, т.е. здесь понятие «устойчивость» практически эквивалентно понятию «стабильность». Стабильность же тенденции системы оставаться приблизительно в условиях равновесия или возвращаться в эти условия после возмущения [26]. Эта концепция подразумевает постоянство (отсутствие изменений), инерционность (способность сопротивляться внешним возмущениям), эластичность, гибкость (связанную со скоростью возвращения системы в состояние до возмущения), амплитуда (характеризующую возмущение, из которого возможно восстановление).

Для экологической оценки устойчивости природных систем Н.И. Парфеновой и Н.М. Решеткиной [21] введено понятие коэффициента экологической устойчивости ($KЭУ$) и А.К. Заурбеком [8] - параметр экологической благополучности региона ($ЭБР$). Если, коэффициент $KЭУ$ принимается равным отношению площади с негативными явлениями (F_n) к общей сельскохозяйственных угодий региона или агроландшафта (F_o), который выражается в долях единицы, то $ЭБР$ определяют как отношение приведенного на одного работника национального дохода в контрольном районе к фактиче-

скому национальному доходу в загрязненном районе и изменяются от 1 до 10 Системный анализ и количественная оценка коэффициента $KЭУ$ и параметра $ЭБР$ показывают: во-первых, они прямолинейно или прямо пропорционально изменяются от уровня использования отдельных компонентов природной среды, что не соответствует законам природы (синергетики); во-вторых, они не учитывают взаимосвязанности и взаимообусловленности природных процессов; в-третьих, не определена система ценностей, позволяющих управлять и регулировать природными процессами при природопользовании и природообустройстве; в-четвертых, параметр $ЭБР$ по физическому смыслу показывает не экологическую, а экономическую устойчивость природной системы.

Последовательность системно-структурного исследования зависимости экологической устойчивости природной системы от степени экологической оптимальности условий природной системы ($f = \mathcal{E}_{opt} / \mathcal{E}_i$, где \mathcal{E}_{opt} - экологически оптимальные условия природной среды; \mathcal{E}_i - текущее экологическое состояние природной среды) представлена в виде схемы (рис.).

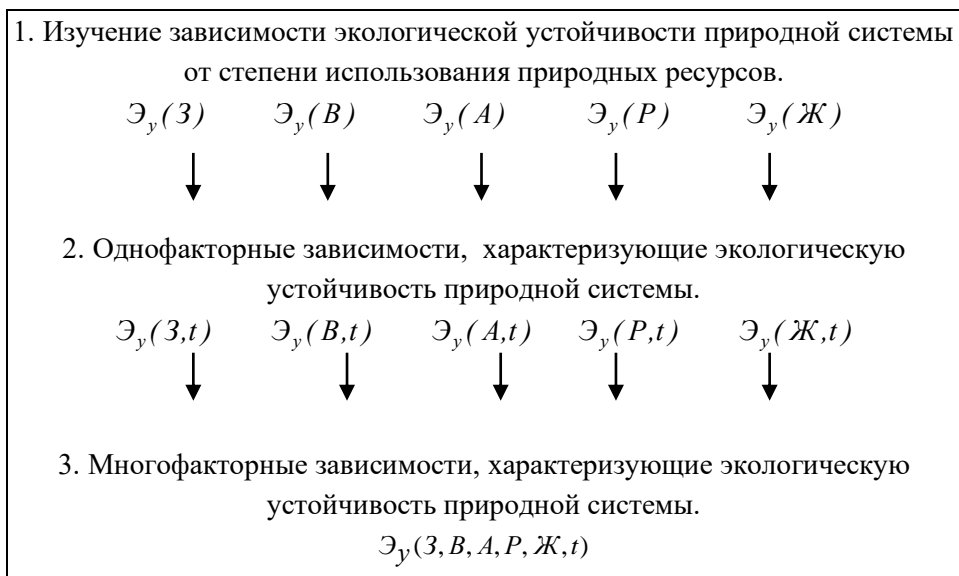


Рис. Последовательность этапов исследований зависимости экологической устойчивости природной системы от степени использования природных ресурсов.

При этом модель устойчивости экологической системы должна учитывать только основные факторы, вносящие главный вклад в антропогенное изменение природной системы. Если пренебречь взаимосвязанным

воздействием отдельных факторов экологической устойчивости природной системы (\mathcal{E}_y), то в общем виде, эту величину можно выразить с помощью следующей зависимости:

$$\mathcal{E}_y = \mathcal{E}_{кр} \cdot f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \dots f_n(x_n), \quad (2)$$

где $f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \dots f_n(x_n)$ - функции, выражающие зависимость экологической устойчивости природной системы от степени использования отдельных её компонент (водных, земельных, растительных, животных, воздушных); $\mathcal{E}_{кр}$ теоретический предел разрушения устойчивости экологической системы.

Формулировка задачи вытекает из анализа природных закономерностей, что дает возможность предположить, что изменение естественного равновесия природной системы при изменении степени использования природных ресурсов ($d\mathcal{E}/dX$) пропорционально степени оптимальности использования природных ресурсов $f_i(X_{opt})$ и отклонения значения фактора оптимально-допустимого предела ($X_i - X_{opt}$).

В самом деле, чем больше степень использования природных ресурсов $f_i(X)$, тем больше $\partial\mathcal{E}/\partial X$, т.е. малое отклонение оптимально-допустимого предела использования природных ресурсов приводит к значительному отклонению от $f_i(X_{opt})$. В то же время, чем больше разница ($X_i - X_{opt}$), тем более чувствительна природная система. Однако, при оптимальных условиях: $(X_i - X_{opt}) = 0$, т.е. существует некоторый уровень критического воздействия, начиная с которого происходит деградация природной системы. Отклонение отдельных факторов или компонентов природной системы зависит от интенсивности антропогенной деятельности, которая в относительных величинах изменяется от 0 до 1 и их стремление к единице показывает степень разрушения устойчивости экологических систем.

Для разработки математических моделей природной системы в начальный период проводится изучение и обобщение данных по зависимости экологической устойчивости природной системы. На основе этих данных обосновываются частные математические модели. Переход к многофакторным моделям осуществляется последовательным согласованием зависимости экологической устойчивости природной системы от факторов природной среды ($f_i(x_i)$).

В дифференциальной форме общий вид формулы для определения экологически устойчивости природной системы (без конкретизации закономерности влияния отдельных компонентов природной среды) будет:

$$\frac{d\mathcal{E}}{dX_i} = f \cdot C_i (X_i - X_{opt}), \quad (3)$$

где X_{opt} - оптимальный уровень использования природных ресурсов; C_i - параметр, характеризующий особенность компонентов природной среды.

Так как,

$$\mathcal{E} = f \cdot \mathcal{E}_{opt}, \quad (4)$$

то получим:

$$\mathcal{E}_{opt} \cdot df / dX_i = f \cdot C_i (X_i - X_{opt}). \quad (5)$$

Решение уравнения (5) дает:

$$\mathcal{E}_{opt} \cdot \ln f = C_i \cdot X_{opt} \cdot X_i - \frac{C_i}{2} X_i^2 + C, \quad (6)$$

или

$$\ln f = -\frac{C_i}{2 \cdot \mathcal{E}_{opt}} X_i^2 + \frac{C_i \cdot X_{opt}}{\mathcal{E}_{opt}} \cdot X_i + \frac{C}{\mathcal{E}_{opt}}, \quad (7)$$

где C - постоянная интегрирования.

Начальные и граничные условия, принимаются на основе закономерностей и режима функционирования природной системы:

$$\text{при } X_i = X_{opt} \quad f = 0,$$

$$\text{при } X_i = X_{io} \quad f = 1,$$

где X_{io} - максимальная величина фактора X_i , характеризующий уровень критического воздействия, начиная с которого происходит экологическая деградация природной системы; $\mathcal{E}_{кр}$ - максимальное значение, т.е. может быть равен 1, где природная система полностью теряет экологическое равновесие или устойчивость.

Определим C из условия $f = 0$ при $X_i = X_{opt}$:

$$\frac{C_i \cdot X_{opt}^2}{2 \cdot \mathcal{E}_{opt}} - \frac{C_i \cdot X_{opt}^2}{\mathcal{E}_{opt}} - \frac{C}{\mathcal{E}_{opt}} = 0 \quad (8)$$

или

$$C = -\frac{C_i \cdot X_{opt}^2}{2}.$$

Определим C_i из условий $f = 1$ при $X_i = X_{io}$:

$$C_i = \frac{\mathcal{E}_{opt}}{(X_{io} - X_{opt})^2}. \quad (9)$$

Тогда после преобразования получим:

$$f = 1 - \exp\left[-k\left(\frac{X_i - X_{opt}}{X_{kp} - X_{opt}}\right)\right], \quad (10)$$

где k - параметр идентификации.

С позиций современных информационных технологий управление природно-хозяйственными системами является по сути кибернетическим, базирующимся на специализированных принципах и методологии исследования.

Принимая закон аддитивности – «свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям при любом разбиении объекта на части» - к компонентам природной среды многофакторную модель экологической устойчивости природной системы можно представить в следующем виде:

$$f = 1 - \exp\left\{-k\left[\sum_{i=0}^n k_i \left(\frac{X_i - X_{opt}}{X_{kp} - X_{opt}}\right)\right]\right\}, \quad (11)$$

где k_i - коэффициент значимости компонентов природной среды, т.е. $k_i = k_g + k_z + k_p + k_a + k_{жс} = 1$ (где соответственно, коэффициент значимости водных и земельных ресурсов, растительного мира, атмосферы, животных). Так как в кибернетике характеристика системы аддитивна, если она равна сумме тех же характеристик для составляющих систему подсистем и элементов.

Живые организмы и их сообщества представляют собой адаптивные саморегулирующиеся системы, чтобы обеспечить стабилизацию и сохранение естественного природного режима в условиях антропогенной деятельности человека. Однако по законам экологии: «экосистема, потерявшая часть своих элементов не может вернуться в первозданное состояние». Эту особенность природной системы оценивают с помощью коэффициента (k), характеризующего уровень саморегулирования природного процесса на стадиях разрушения (k_p) и восстановления (k_b).

Исходя из выше изложенного, модель экологической устойчивости природной системы можно представить в следующем виде:

- в стадии разрушения или преобразования природной системы:

$$f_p = 1 - \exp \left\{ -k_p \left[\sum_{i=0}^n k_i \left(\frac{X_i - X_{opt}}{X_{kp} - X_{opt}} \right) \right] \right\}; \quad (12)$$

- в стадии восстановления техногенных нарушенных природных систем:

$$f_b = 1 - \exp \left\{ -k_b \left[\sum_{i=0}^n k_i \left(\frac{X_i - X_{opt}}{X_{kp} - X_{opt}} \right) \right] \right\}. \quad (13)$$

Полученная математическая модель экологической устойчивости природных систем, как видно из уравнений (12) и (13), позволяют построить зависимость $f(X_i, t)$ в стадиях их разрушения и восстановления, т.е. изменение во времени экологического состояния природной системы от уровня использования природных ресурсов.

Таким образом, предложенная математическая модель экологической устойчивости природных систем, в основу которой положен закон и принцип экологии, может быть использована при проведении исследования по оценке состояния природных объектов и для обоснования уровня использования природных ресурсов при размещении производительных сил.

В современном мире экологические, экономические, социальные, технологические и биологические процессы настолько взаимосвязаны, что возникает необходимость рассматривать систему природопользования как функционирование сложной эколого-экономической системы, которые протекают вместе с естественными процессами в природе в тесной взаимосвязи и сохраняющие взаимообусловленность.

В настоящее время экономисты и экологи пришли к выводу о необходимости объединения усилий при разработке эколого-экономических оценок взаимодействия человеческого общества с природой в целом и изменения состояния природной среды в процессе антропогенной деятельности, а также при планировании и осуществлении природоохранных мероприятий в частности [10]. С этой целью расширяется эколого-экономическое моделирование в системе природопользования [1, 15, 16].

М.Я. Лемешев [11] предложил эколого-экономическую модель природопользования, в которой отражаются одновременно процессы, протекающие как в экономической, так и в экологической природной системе, что позволяет при максимизации экономического эффекта не допустить пагубного воздействия на окружающую природную среду, т.е. выбрать оптимальное решение.

Л.Ж. Мустафаев с соавторами [20] с этой целью предложили коэффициент экономической устойчивости природно-технического комплекса ($K_э$), построенного в зоне «коридора», характеризующий максимально-допустимый уровень использования природных ресурсов:

$$K_э = \frac{Z_n(\bar{P}_n - P_n(x)) - P_u(x) - [Z_э(\bar{P}_э - P_э(x)) + Z_{эк}(\bar{P}_{эк} - P_{эк}(x)) + Z_{ск}(\bar{P}_{ск} - P_{ск}(x))]}{Z_n(\bar{P}_n - P_n(x))}$$

где $Z_n(\bar{P}_n)$ - общая прибыль природно-технического комплекса; $Z_n(P_n(x))$ - прибыль природного комплекса в естественных условиях; $Z_э(\bar{P}_э)$ - экономический ущерб от ухудшения качественных параметров природно-технической системы; $Z_э(P_э(x))$ - затраты необходимые для качественного улучшения параметров природной среды; $Z_{эк}(\bar{P}_{эк})$ - экологический ущерб от ухудшения качественных параметров природно-технической системы; $Z_{эк}(P_{эк}(x))$ - затраты необходимые для улучшения экологических условий природной среды; $Z_c(\bar{P}_c)$ - социальный ущерб от ухудшения качественных параметров природной среды; $Z_c(P_c(x))$ - затраты на улучшение социальных условий природной среды; $P_u(x)$ - общие затраты для выпуска продукции.

Таким образом, определение допустимых нагрузок на регион в экономическом аспекте необходимо обосновать исходя из экологически допустимых параметров и производственных, природоохранных и социальных компонентов природно-техногенных систем, обеспечивающих максимум критерия $K_э$.

Оценка приоритетности того или иного воздействия природной системы позволяет определить степень и уровень использования различных критериев для решения экологических, экономических и социальных задач в системе природопользования.

Для оценки экологической значимости антропогенных факторов или эффектов воздействия целесообразно пользоваться специально выработанными критериями – значениями предельно допустимой степени ухудшения экологического состояния природной системы ($\Delta Э_i$), значениями предельно допустимого уровня использования природных ресурсов ($K_{доп} = P(x_i) / P(x)$) или выбросов вторичных ресурсов ($K_{выб} = P_{выб}(x_i) / P(x_i)$), значениями предельных и допустимых экологи-

ческих нагрузок ($K_{\text{дэн}} = (P(x_i) - P_n(x_i)) / P(x_i)$) или разгрузок ($K_{\text{раз}} = (P(x) - P(x_i)) / P(x)$).

Используя различные критерии для оценки экологического состояния природной системы и их компонентов, можно определить приоритетности того или иного воздействия:

- определить с точки зрения чувствительности среды обитания человека, т.е. изменений по отношению к начальному состоянию экосистемы, насколько сильно $\Delta\mathcal{E}_{\text{opt}}$ отличается от $\Delta\mathcal{E}_i$;
- определить с точки зрения критичности всей экосистемы или ее отдельных компонентов, насколько $\Delta\mathcal{E}_i$ допустимо с точки зрения существования системы, или насколько состояние $\Delta\mathcal{E}_k$ близко к критическому;
- определить с точки зрения абсолютного изменения $\Delta\mathcal{E}_{\text{cp}}$, выраженных произведением значения среднего изменения у отдельных компонентов, т.е. $(\Delta\mathcal{E}_{\text{opt}} + \Delta\mathcal{E}_i) / 2$ или $(\Delta\mathcal{E}_k + \Delta\mathcal{E}_i) / 2$.

Сопоставления соотношения критериев ($\Delta\mathcal{E}_{\text{opt}}$) и ($\Delta\mathcal{E}_i$), может быть использовано при оценке всестороннего воздействия природной среды как среды обитания человека, ($\Delta\mathcal{E}_i$) и ($\Delta\mathcal{E}_k$) – для правильного и обоснованного уровня сбалансированного использования природных ресурсов, а ($\Delta\mathcal{E}_{\text{cp}}$) и ($\Delta\mathcal{E}_{\text{opt}}$) – для выработки общей стратегии и концепции экологически безопасной и безотходной технологии использования природных ресурсов.

Природа и общество, как известно, представляют собой развивающуюся динамическую систему, находящуюся в противоречивом единстве. Поэтому, преобразованная природная и созданная человеком искусственная среда обитания воздействует на человеческий организм, на биологические и демографические процессы в человеческом развитии, затрагивая и целый ряд социальных процессов, протекающих на уровне общественных систем. Прямым отражением экологической обстановки среды обитания человека является состояние здоровья ее населения. Это обуславливается комплексом факторов, т.е. экологически, социально, экономически, этническим, психологически, исторически сложившимся укладом жизни, воздействующих одновременно и разнонаправленно.

Для оценки социальной устойчивости среды обитания человека или природной системы можно ввести коэффициент (\bar{N}), характеризующий уровень заболеваемости населения в условиях антропогенного воздействия, как отношение приведенного значения заболеваемости населения (N_n) к общей численности населения проживающего в отдельных регионах (N_o):

$$\bar{N} = \frac{N_m + k_{\text{вз}} \cdot N_{\text{вз}} + k_{\text{ки}} \cdot N_{\text{ки}} + k_{\text{от}} \cdot N \cdot \text{от} + k_{\text{он}} \cdot N_{\text{он}} + k_m \cdot N_m + N_c + N_{\text{сс}}}{N_o},$$

где N - численность населения, обратившаяся в медицинские учреждения; $N_{\text{вз}}$ - численность населения заболевших вирусным гепатитом; $N_{\text{ки}}$ - численность населения заболевших острыми кишечными инфекциями; $N_{\text{от}}$ - численность населения заболевших брюшным тифом; N_m - численность населения заболевших туберкулезом; $N_{\text{он}}$ - численность онкологических больных; N_c - показатель смертности населения в возрасте ниже показателя средней продолжительности предстоящей жизни; $N_{\text{сс}}$ - численность населения страдающих заболеванием сердечно-сосудистой системы; $k_{\text{вз}}, k_{\text{ки}}, k_{\text{от}}, k_m, k_{\text{он}}$ - коэффициент риска, характеризующий уровень опасности распространения вирусного гепатита, острой кишечной инфекции, брюшного тифа онкологических заболеваний и туберкулеза.

Как показывает практика, при целенаправленном использовании природных ресурсов до определенного предела социальное положение населения улучшается, затем постепенно, когда переходит пределы само регулирования природного процесса – ухудшается в связи истощением и деградацией природных ресурсов. Следовательно, при ограниченности ресурсов необходимо обосновать приоритетность применяемых мер, которая должна определяться критичностью воздействия на здоровье человека и экологическую систему и учитывать экономические и социальные последствия. Для оценки социального последствия в условиях антропогенного воздействия необходимо ввести коэффициент социальной устойчивости среды обитания человека:

$$K_c = \frac{\exp^{-a-b\bar{N}}}{(1 + \exp^{a-b\bar{N}})},$$

где a, b - параметры, определяющие наклон, кривизну и точку перегиба интегральной кривой.

Точка перегиба кривой имеет место при $a - b \cdot \bar{N} = 0$, т.е. перегиб наступает когда $\bar{N} = a/b$, что показывает нарушение саморегулирования природного процесса в условиях антропогенной деятельности человека.

Таким образом, между коэффициентом экологической, социальной и экономической устойчивости природно-технического комплекса существует определенная зависимость, которая дает возможность определить на основе устойчивости Лагранжа оптимальный эколого-экономический безопасный уровень использования природных ресурсов, который по Ц.Е. Мирцхулаве [14], называется эковиталистическим (*vitalis* – жизненный).

Для оценки устойчивости среды обитания человека используем устойчивости Ляпунова и Лагранжа, т.е. задаваемые параметры по оси ординат ограничивают сверху экономическую устойчивость, и снизу экологическую и социальную устойчивости природной системы, что в определенной степени соответствует концепции устойчивости речных экосистем, предложенной М.Ж. Бурлибаевым [2, 3, 4, 5]. При этом, как и в античные времена, основная ценность для обоснования критерия оценки эколого-экономической устойчивости принят Человек, определяющий уровень своего взаимоотношения со средой обитания, включая его мыследеятельностную, социальную и материальную составляющие.

В рамках интенсивного использования природных ресурсов и преобразования необходимо новое самоопределение человечества, соответствующий тому факту, что человек стал крупнейшей геологической силой на планете, т.е. мощным фактором, разрушающим сбалансированность в развитии экосистемы и, в том числе, свой среды обитания. При этом возрастающие повседневные возможности и потребности человека направлены на искусственно-техническое преобразование среды обитания и самого себя, требующие для самосохранения решить сложные многофакторные пространственно-временные задачи, для нахождения эковиталистического уровня использования природных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоновский М.Я. и др. Методология построения балансовых эколого-экономических моделей. – В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. т. 3,- С. 229-247.
2. Бурлибаев М.Ж. К вопросу определения концепции устойчивости речных экосистем // Гидрометеорология и экология, №2, 2000.- С. 24-33.

3. Бурлибаев М.Ж. Биопродуктивность травостоя пойменных лугов р. Шу как индикатор динамического развития речной экосистемы // Гидрометеорология и экология. – 1998. №1-2. С. 79-93.
4. Бурлибаев М.Ж. К вопросу определения устойчивости речных экосистем // Географические основы устойчивости развития Республики Казахстан, -Алма-Ата: Наука. 1998. С. 212-216.
5. Бурлибаев М.Ж. Об одной задаче оценки сравнительной устойчивости речной экосистемы из детерминированного равновесия состояния ее развития // Гидрометеорология и экология. – 1998.-№. – С. 69-84.
6. Достай Ж.Д., Церегородцева А.Г. Оценка влияния водного режима реки Ертыс на экологическую устойчивость пойменных ландшафтов Павлодарского Прииртышья // Материалы международной научно-практической конференции « Проблемы гидрометеорологии и экологии», Алматы, 2001. – С.75-81.
7. Жаутыков О.А. Математика и научно-технический прогресс. Алма-Ата, Наука, 1978. – 212 с.
8. Заурбеков А.К. Научные основы рационального использования и охраны водных ресурсов бассейна рек // Автореферат дисс. д.т. наук, Тараз, 1998.-50 с.
9. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Л. Гидрометеиздат, 1984. –560 с.
10. Левич А.П. Понятие устойчивости в биологии. Математические аспекты. – В кн. Человек и биосфера, вып. 1. М.: изд-во МГУ, 1976. – С. 138-174.
11. Лемешев М.Я. Эколого-экономическая модель природопользования. – Всесторонний анализ окружающей природной среды. Труды 11 советско-американского симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1976. – С. 266-276.
12. Ляпунов А.М. Исследование одного из особенных случаев задачи об устойчивости движения. – Л., ЛГУ, 1963. – 116 с.
13. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения (рассуждения А. Ляпунова) - Харьков, Изд-во Харьковского математического общества, 1892. – 250 с.
14. Мирцхулава Ц.Е. Всегда ли оправдана жесткая стратегия экологизации // Мелиорация и водное хозяйство, №3, 1993. – 8-9.
15. Мустафаев Ж.С. и др. Математическое моделирование формирования и функционирования водохозяйственных систем, Тараз, 2000. – 125 с.
16. Мустафаев Ж.С. Почвенно-экологическое обоснование мелиорации сельскохозяйственных земель в Казахстане, Алматы, 1997. 358 с.
17. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Мустафаева Л.Ж. Критерии устойчивости экологической системы // Проблемы экологии АПК и охрана окружающей среды, часть 2, Алматы, 1998, С. 24-25.
18. Мустафаев Ж.С., Мустафаева Л.Ж., Мустафаев К.Ж. Обоснование критериев устойчивости экологической системы // Гидрометеорология и экология. –1999, №4, С. 65-73.

19. Мустафаев Ж.С., Мустафаева Л.Ж., Мустафаев К.Ж. Проблемы обоснования концептуального критерия устойчивости экологической системы // Наука и образования Южного Казахстана.-2000, №11(18), С. 60-64.
20. Мустафаева Л.Ж., Мустафаев К.Ж., Койбагарова К.Б. Экологическое и экономическое обоснование устойчивости природной системы // Материалы 4-й Международной научной конференции «Проблемы экологии АПК и охрана окружающей среды», Щучинск, 2002.- С. 212-214.
21. Парфенова Н.И., Решеткина Н.М. Экологические принципы регулирования гидрохимического режима орошаемых земель. – Санкт-Петербург . – 1995. –360 с.
22. Светлосанов В.А. О стабильности экосистем // Вестник МГУ. – 1976. - №4. - С. 89-94.
23. Свирежев Ю.М. Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
24. Семенов С.М. Об устойчивости стационарных состояний динамических систем. – В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1979, т. 2, - С. 197-205.
25. Федоров В.Д., Соколова С.А. Опыт оценки устойчивости водной экосистемы // Гидробиологический журнал. – 1973. Т. 1X. №2. - С. 11-14.
26. Bourdeau P., Treshow M. Ecosystem response to pollution. – In: Principles of Ecotoxicology /Ed, G/C/ Butler/ - SCOPE, rep. 12. Chichester; John Wiley and Sons, 1978, P. 91-114.

Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства

ТАБИҒИ ЖҮЙЕНІҢ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН АДАМЗАТТЫҢ ӨМІР СҮРЕТІН ОРТАСЫ ТҰРҒЫСЫНАН БАҒАЛАУ

Қ.Ж. Мұстафаев

Табиғи жүйенің бөлшектерінің экологиялық, экономикалық және әлеуметтік математикалық бейнесінің негізінде, табиғи ортаның орнықтылығының адамзаттың өмір сүретін ортасы тұрғысынан бағалаудың әдістемелік нұсқасы ұсынылған.