

УДК 502/504:001.5

В. Л. БОНДАРЕНКО, А. В. ЛЕЩЕНКО, Е. С. ПОЛЯКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ «ПРИРОДНАЯ СРЕДА – ОБЪЕКТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ – НАСЕЛЕНИЕ»

Предложены методологические подходы к оценке экологически устойчивого развития природно-технических систем, которое обеспечивается темпами роста эффективности использования при сохранении убывающего изменения и совершенствовании используемых технологий.

Природа, система, экология, устойчивость, развитие.

There are proposed methodological approaches to assessment of the ecologically sustainable development of natural-technical systems which is ensured by growth rates of usage efficiency, non-decreasing growth rates, preservation of decreasing changing and improvement of current technologies.

Environment, system, ecology, sustainability, development.

На современном этапе развития цивилизации очень велик риск необратимого разрушения окружающей природной среды. Развитие социальных, экономических и других систем не в полной мере согласовывается с потенциальными возможностями природной среды и законами природы как на локальном уровне бассейновых геосистем, так и на уровне глобальной системы «Природа – Общество – Человек». Экстенсивный экономический рост, негативно воздействуя, разрушает природную среду, что в конечном итоге подрывает процесс экономического роста. Эколого-экономический кризис обуславливает системный кризис от локальных бассейновых геосистем до бассейновых геосистем глобального масштаба (Азово-Черноморская геосистема) и биосферы Земли.

Действующий в настоящее время базисный принцип природно-материальной жизни, в основе которого лежит «по-

требительство» и экономический рост, не согласованный с законами природы, породил глобальную проблему, связанную с изменением климата, загрязнением гидросферы и атмосферы, с опустыниванием земель на водосборных территориях со скоростью 6 млрд га, со снижением биоразнообразия (до 70 видов ежегодно) представителей животного мира Земли [1].

Современное общественное развитие вступило в такую фазу, когда экономические проблемы и экологическая безопасность тесно переплелись и стали предметом специальных научных исследований. Системный кризис охватывает собой как глобальную систему «Природа – Общество – Человек», так и локальные системы бассейновых геосистем, в пространственных пределах которых создаются или функционируют природно-технические системы «Природная среда – Объект деятельности – Население», связанные, к примеру, с использованием водных ресурсов.

В декларации Первой конферен-

ции ООН по окружающей среде отмечена связь социального и экономического развития общества с проблемами окружающей среды (Стокгольм, 1972). На 42-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН в 1987 году была одобрена концепция и принципы **устойчивого развития**, рекомендованные в качестве руководства всем странам. В соответствии с концепцией и принципами устойчивого развития глобальной системы «Природа – Общество – Человек» для локальных природных систем в пространственных пределах бассейновых геосистем, где ведутся практически все виды хозяйственной деятельности, целесообразным является рассмотреть экологически устойчивое развитие, когда экологический фактор становится доминирующим. В соответствии с принципом экологически устойчивого развития проводимая хозяйственная деятельность, связанная с созданием природно-технической системы «Природная среда – Объект деятельности – Население» в пределах бассейновых геосистем, должна согласовываться с законами природы для обеспечения устойчивого развития.

С физической точки зрения понятие «устойчивость» относится к классу физических систем, стремящихся к равновесию, а следовательно, к потере способности выполнять работу. Известные законы биологии не удовлетворяют научному принципу неизменности, что исключает возможность их использования в управлении процессами развития. Отмеченное в отношении физических законов в полной мере соответствует и законам химии. Еще в большей мере аналогичными недостатками обладают законы общественного развития общества в процессах хозяйственной деятельности как на глобальном уровне биосферы Земли, так и на локальном уровне бассейновых геосистем, в пределах которых формируются водные ресурсы (поверхностный и подземный стоки) [1, 2].

Следовательно, можно отметить, что существует научная проблема, связанная с экологически устойчивым развитием на уровне бассейновых геосистем, в пределах которых ведутся практически все виды активной хозяйственной деятельности, наиболее важная из которых – использование водных ресурсов.

Экономика в различных отраслях

хозяйственной деятельности, в том числе связанной с использованием водных ресурсов, основное внимание концентрирует на отношениях между людьми в процессе производства, распределения, обмена и потребления материальных благ. Такая экономическая модель, как свидетельствуют реалии современности, абстрагируется от социальных, экологических и других отношений и обуславливает экологически неустойчивое развитие, где экономическая эффективность \mathcal{E}_ϕ определяется отношением результатов деятельности РД к общим затратам \mathcal{Z} , а увеличение эффективности выражается в прибыли, производительности, рентабельности и других понятиях экономики. Переход от модели экономически неустойчивого развития к модели экономически устойчивого развития возможен с появлением необходимых ограничений, основными из которых являются следующие пространственные пределы: бассейновых геосистем – ППБ_r , социальные – \mathcal{C} , экономической эффективности – \mathcal{E}_ϕ . В обобщенном виде экономически устойчивое развитие $\mathcal{E}\mathcal{U}\mathcal{P} = \text{ППБ}_r \cdot \mathcal{C} \cdot \mathcal{E}_\phi$, где экономические отношения включают в себя экологические, экономические, социальные отношения в пространственных пределах рассматриваемой бассейновой геосистемы.

На примере бассейновой геосистемы B_r Верхней Кубани (территория Карачаево-Черкесской Республики) основными ограничениями являются следующие: $\text{ППБ}_r = 113\,300 \text{ км}^3$; социальные условия \mathcal{C} населения, проживающего в этих пределах, – 344 тыс. чел.; экономическая эффективность отраслей хозяйственной деятельности \mathcal{E}_ϕ , основной из которых является использование водных ресурсов для выработки электрической энергии на Зеленчукской ГЭС–ГАЭС. Экологически устойчивое развитие ($\mathcal{E}\mathcal{U}\mathcal{P}$) данной системы в обобщенном виде можно представить так:

$$\mathcal{E}\mathcal{U}\mathcal{P} = \text{ППБ}_r \cdot \mathcal{C} \cdot \mathcal{E}_\phi. \quad (1)$$

Ограничения, связанные с пространственным пределом бассейновых геосистем (в дальнейшем – бассейновые ограничения), обусловлены необходимостью обеспечить устойчивость и реализовать функции самоорганизации и доминирования естественных процессов взаимодействия природных (биотических,

абиотических) компонентов между собой над искусственными при наличии техногенного компонента (объекта деятельности). Бассейновые ограничения включают в себя природно-ресурсные составляющие, в частности водные ресурсы (поверхностный и подземный стоки), которые формируются в пространственных пределах Верхней Кубани и составляют, по многолетним данным, около 3000 млн м³. Водные ресурсы определяют устойчивость данного вида хозяйственной деятельности путем замены невозобновляемых ресурсов (угля, газа, нефти) при выработке электрической энергии на возобновляемые ресурсы (ВР) – водные. Отношение возобновляемых ресурсов к неустойчивому развитию определяет устойчивость природопользования: $УП = ВР/НР$. Следует отметить, что обеспечение электрической энергией всех сфер деятельности на территории Карачаево-Черкесской Республики потенциально может быть полностью обеспечено за счет возобновляемых ресурсов – водных, ветровых и др.

Социальные ограничения, обуславливающие собой необходимость выживания и сохранения общественного развития в пространственном пределе бассейновых геосистем во взаимосвязи с растущими потребностями использования водных ресурсов, определяются показателями социальной справедливости $П_{спр}$ в виде отношения вносимого вклада от деятельности населения $ВДН$ к получаемым благам $ПБ_{л}$ в виде достаточного водообеспечения во всех сферах жизнедеятельности данного населения: $П_{спр} = ПБ_{л} : ВДН$ ($П_{спр} \leq 1$).

Значимым составляющим элементом в модели экономически устойчивого развития в $ППБ_r$ являются интегральные показатели экологической безопасности (ПЭБ) для населения и окружающей природной среды, которые определяются результатами комплексных экологических исследований. Экологическая безопасность для рассматриваемых объектов (население, природные среды) может быть выражена следующим отношением: $ЭБ = УЗО : УОП$, где $УЗО$ – уровень защищенности объекта защиты; $УОП$ – уровень возможной опасности. Если отношение равно единице, значит, экологическая безопасность для рассматриваемого объекта обеспечена. В обобщенном виде

экологически устойчивое развитие в рассматриваемых пространственных пределах бассейновых геосистем $ППБ_r$ может быть выражено так:

$$\begin{aligned} ЭУР &= ВР : НР \cdot ПБ_r : \\ &: ВДН \cdot УЗО : УОП \cdot РД : З. \end{aligned} \quad (2)$$

Из (2) следует, что ЭУР может быть обеспечено увеличением использования ВР и уменьшением НР, обеспечением социальной справедливости $П_{спр}$ и экологической безопасности ЭБ при соответствующей экономической эффективности $Э_{ф}$. Производство различных видов эффективности, форм рациональности и взаимосвязи в процессах хозяйственной деятельности (2) определяет экологически устойчивое развитие в рассматриваемой системе.

Хозяйственная деятельность по использованию водных ресурсов характеризуется созданием природно-технической системы «Природная среда – Объект деятельности – Население», которая функционирует в пространственном пределе бассейновой геосистемы (рис 1). В природно-технической системе «Природная среда – Объект деятельности – Население» центральным техногенным компонентом является «Объект деятельности» в виде определенного комплекса гидротехнических сооружений, позволяющего производить регулирование стока водотока, осуществлять экологически приемлемый водоотбор и транспортирование расчетных расходов воды к технологическим схемам водопотребления (ГЭС, орошаемый участок, предприятия и т. п.).



Схема взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношений структурных элементов природно-технической системы «Природная среда – Объект деятельности – Население»

Функционирование системы «Природная среда – Объект деятельности – Население» осуществляется в пространственных пределах бассейновых геосистем, которые являются внешней средой по отношению к данной природно-технической системе и частью систем более высокого иерархического уровня. В системном понимании для обеспечения экологически устойчивого развития в пространственных пределах бассейновых геосистем необходимо обеспечить экологически устойчивое развитие в природно-технической системе «Природная среда – Объект деятельности – Население», которое определяется исходя из понятия «Развитие». Если экологическая безопасность в рассматриваемой системе «Природная среда – Объект деятельности – Население» обуславливает комплекс вопросов, связанных с защитой природной среды и жизненно важных интересов населения в зонах влияния «Объекта деятельности», то «Развитие» – необратимое действие, направленное на закономерные изменения в компонентах окружающей среды. Необратимость изменений характеризует процессы функционирования «Объекта деятельности» в пространственных пределах бассейновых геосистем. В результате развития возникает новое качественное состояние системы. Важную характеристику процессов развития в природно-технической системе «Природная среда – Объект деятельности – Население» составляет время, которое выявляет направленность «Развития».

Исходя из понятия «Развитие» и с учетом экологических, социальных аспектов взаимосвязи и экономической эффективности в проводимой хозяйственной деятельности сформулировано понятие экологически устойчивого развития для рассматриваемых природно-технических систем «Природная среда – Объект деятельности – Население»: «**Экологически устойчивое развитие – это управляемая системно-сбалансированная ПТС «Природная среда – Объект деятельности – Население», в которой социо-природное развитие не разрушает природную среду и обеспечивает жизненно необходимые потребности и экологическую безопасность населения настоящего и будущих поколений**». Экологически устойчивое

развитие природно-технических систем «Природная среда – Объект деятельности – Население» должно носить эволюционный характер как в плане ожидаемых количественных и качественных изменений в природных средах, так и в плане отсутствия на пути такого развития катастроф и других разрушительных катаклизмов. Принципы экологически устойчивого развития в рассматриваемых системах должны закладываться на стадии принятия решений по использованию водных ресурсов, включающих в себя проектирование, строительство и эксплуатацию объектов деятельности.

В рассматриваемых природно-технических системах «Природная среда – Объект деятельности – Население» наблюдаются процессы и явления, которые описываются как фундаментальными законами природы (физики, химии, биологии), так и экологическими законами, принципами, правилами, изложенными в работах [1–6]. Для обеспечения экологически устойчивого развития природно-технических систем «Природная среда – Объект деятельности – Население» требуется непрерывность процессов развития как в социальной сфере проживающего населения, так и в плане совершенствования применяемых конструкций и технологий по использованию водных ресурсов.

Обширный анализ действующих природно-технических систем «Природная среда – Объект деятельности – Население» на Северном Кавказе показывает, что причиной возникновения и развития аварийных ситуаций с соответствующим снижением уровня экологической безопасности в зонах влияния водохозяйственных объектов является недостаточная согласованность принимаемых решений с законами природы на стадии проектирования, строительства и эксплуатации. Следовательно, для обеспечения экологической безопасности и соответственно экологически устойчивого развития в рассматриваемых природно-технических системах «Природная среда – Объект деятельности – Население» требуется согласованность принимаемых решений с универсальными законами природы, что вызывает необходимость в новых методологических подходах к оценке процессов взаимодействия

объекта деятельности с природными и социальными средами. Одним из наиболее приемлемых подходов является энерго-энтропийный подход, в котором природно-техническая система «Природная среда – Объект деятельности – Население» в пространственных пределах бассейновых геосистем рассматривается как целостная, открытая, устойчиво-неравновесная (см. рисунок).

Принцип устойчивой неравновесности, сформулированный и обоснованный в работах С. Подолинского (1880), Э. Бауэра (1934) и В. Вернадского (1935), управляет классом систем, обеспечивающих самоорганизацию процессов развития, в которых доминирующим является рост свободной энергии $E_{свб}$, рост способности совершать внешнюю работу A , рост полезной мощности $N_{пол}$ [7, 8].

Взаимодействие природно-технической системы «Природная среда – Объект деятельности – Население» с окружающим ее пространственным пределом бассейновой геосистемы выполняется в соответствии с законом сохранения мощности, который, как отмечается в работе [7], является базовым инвариантом как в масштабе глобальной системе «Природа – Общество – Человек», так и на локальном уровне рассматриваемых пространственных пределов бассейновых геосистем. Согласно закону сохранения мощности $N_{пол}$, любое изменение полезной мощности P компенсируется изменением мощности потерь G :

$$N_{пол} = P + G [L^5T^{-5}]. \quad (3)$$

Этот закон природы был установлен Лагранжем в 1789 году и впоследствии достаточно широко использовался Дж. Максвеллом.

Используя закон сохранения мощности, выражающий соотношение полезной мощности P и мощности потерь G под контролем полной мощности $N_{пол}$, можно оценивать состояние и направленность процессов взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения объекта деятельности с природными средами пространственного предела бассейновой геосистемы.

Экологическое состояние в пространстве и времени в зонах влияния объекта деятельности определяется движением потоков вещества, энергии и

информации. В энергетическом отношении состояние системы «Природная среда – Объект деятельности – Население» определяется балансовым состоянием свободной энергии $E_{свб}$, связанной энергии $E_{свз}$ и полной энергии $E_{пол}$, поступающей в систему:

$$E_{пол} = E_{свб} + E_{свз}, \quad (4)$$

где $E_{свб}$ – часть от полной энергии, которая способна совершать работу; $E_{свз}$ – часть от полной энергии, которая не способна совершать работу и обуславливает собой энтропию [3].

Чем больше значение $E_{свб}$, тем выше работоспособность и производительность системы. При доминировании $E_{свз}$ над $E_{свб}$ система стремится к равновесию, т. е. деградирует. Так, на примере природно-технической системы Зеленчукской ГЭС–ГАЭС, в которой под объектом деятельности принимается комплекс гидротехнических сооружений, функционирующих в пространственном пределе бассейновой геосистемы Верхней Кубани, системный баланс энергии $E_{свб}$ и $E_{свз}$ определяется по данным наблюдений Гидрометеослужбы и ежегодной статистической отчетности по Карачаево-Черкесской Республике. Основным источником энергии, поступающей в пространственный предел бассейновой геосистемы Верхней Кубани и соответственно в зоны влияния природно-технической системы «Природная среда – Комплекс гидротехнических сооружений – Население», является солнечная радиация – 98,5 % от $E_{пол}$.

Направленность протекающих процессов в рассматриваемой системе формируется процессами развития, которые зависят от роста полезной мощности P для определенных периодов времени в настоящем времени t_0 и будущем t, t^2, t^3 и т. д. Для каждого периода фиксируется: вклад в рост P за t , вклад в скорость роста P за t^2 , вклад в ускорение роста P за t^3 . Этот процесс можно представить в виде ряда разложений величин $P(t)$ по степеням:

$$P(t) = P_0 + P_1t + P_2t^2 + P_3t^3 + \dots [t^5T^{-5}], \quad (5)$$

где P_0 – негативная величина полезной мощности; P_1 – рост полезной мощности; P_2 – скорость роста полезной мощности; P_3 – ускорение роста полезной мощности.

За ростом полезной мощности стоит рост эффективности $f(t)$ использования полной мощности $N_{пол}$, которой обладает система. Рост эффективности использова-

ния $N_{\text{пол}}$ представляется рядом разложения:

$$f(t) = f_0 + f_1 t + f_2 t^2 + f_3 t^3 + \dots, \quad (6)$$

где f_0 – негативная эффективность использования $N_{\text{пол}}$ в t_0 ; f_1 – эффективность использования для t_1 (далее: f_2 для t_2 , f_3 для t_3).

Эффективность использования $N_{\text{пол}}$ для t_1, t_2, t_3 обуславливает вклад в рост для P , скорость для t_2 и вклад в рост ускорения P для t_3 . Величина P является мерой производительности труда в производстве рассматриваемой системы, которая зависит от совершенства используемых конструктивных решений и технологий использования, например водных ресурсов.

Таким образом, можно отметить, что экологически устойчивое развитие в рассматриваемых природно-технических системах «Природная среда – Объект деятельности – Население» в обобщенном понимании зависит от темпов роста эффективности использования $N_{\text{пол}}$ и неубывающих темпов роста P –

$$P + P_1 t + P_2 t^2 + P_3 t^3 + \dots \geq 0 [L^5 T^{-5}] \quad (7)$$

и сохранения убывающего изменения мощности потерь G –

$$G_0 + G_1 t + G_2 t^2 + G_3 t^3 + \dots < 0. \quad (8)$$

На основе анализа выражений (4)... (8) по использованию $N_{\text{пол}}$, неубывающих темпов роста P , сохранения убывающего изменения G можно сделать вывод, что обеспечение экологически устойчивого развития в рассматриваемых природно-технических системах «Природная среда – Объект деятельности – Население» возможно, если рассматривать использование водных ресурсов как процесс, направленный на изменение направления и скорости движения потоков $E_{\text{свб}}$, обуславливающих P в пространстве и времени. Эти изменения могут быть достигнуты за счет реализации более совершенных технологий и конструктивных решений, применяемых в технологиях по использованию водных ресурсов. Уровень совершенствования технологий и конструктивных решений выражается обобщенным коэффициентом полезного действия в рассматриваемой системе: $\eta_{\text{об}} = E_{\text{свб}} \cdot E_{\text{пол}}$ (или $P/N_{\text{пол}}$). Так, для природно-технической системы «Природная среда – Комплекс гидротехнических сооружений – Население» Зеленчукской ГЭС–ГАЭС в зависимости от периода года

$$\eta_{\text{об}} = 0,96 \dots 0,97.$$

Влияние населения, проживающего в зонах влияния объекта деятельности, на процесс экологически устойчивого развития в природно-технической системе «Природная среда – Объект деятельности – Население» определяется специальными социологическими исследованиями на стадии проектирования, строительства и эксплуатации.

Для обеспечения экологически устойчивого развития природно-технических систем «Природная среда – Объект деятельности – Население», функционирующих в пространственных пределах бассейновых геосистем, требуются достаточные темпы роста эффективности использования $N_{\text{пол}}$ путем неубывающих темпов роста P , сохранения убывающего изменения G и совершенствования технологий и конструктивных решений.

1. **Природообустройство: территория бассейновых геосистем: учебное пособие / В. Л. Бондаренко [и др.]; под общей ред. И. С. Румянцева. – Ростов н/Д: Изд. центр «Март», 2010. – 528 с.**

2. **Реймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 570 с.**

3. **Бондаренко В. Л., Дьяченко В. Б. Оценка экологического состояния бассейновой геосистемы в процессах использования водных ресурсов // Проблемы региональной экологии. – 2005. – № 2. – С. 86–92.**

4. **Системный подход в оценке воздействия водохранилищ на окружающую среду / В. Л. Бондаренко [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2006. – № 5. – С. 6–12.**

5. **Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании водохозяйственного комплекса Зеленчукской ГЭС / В. Л. Бондаренко [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2007. – № 1. – С. 47–54.**

6. **Бондаренко В. Л., Федорян А. В. Методологическое обоснование бассейновой геосистемы как элемента биосферы: Гидротехника, гидравлика, геоэкология: Материалы научно-практической конф. – Новочеркасск: НГМА, 2003. – Вып. 1. – С. 186–196.**

7. **Кузнецов О. Л., Кузнецов П. Г.,**

Большаков Б. Е. Система «природа – общество – человек»: устойчивое развитие. – Государственный научный центр Российской Федерации ВНИИ геосистем «Дубна», 2000. – 410 с.

8. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир, 1979. – 440 с.

9. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. – М.: Прогресс, 1986. – 256 с.

Материал поступил в редакцию 27.05.12.

Бондаренко Владимир Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры «Природообустройство»

Тел. (863-5) 22-45-13

E-mail: Priroda-ngma@mail.ru

Лещенко Андрей Васильевич, кандидат технических наук, доцент

Тел. (863-5) 22-45-36

E-mail: Andrey-Leshenko@bk.ru

Поляков Евгений Сергеевич, аспирант

Тел. (863-5) 22-45-36

УДК 502/504:004.94

А. Н. НАСОНОВ, В. И. СМЕТАНИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются особенности комплексного моделирования природно-техногенных систем в условиях нелинейности природной среды. Дается оценка критических системных состояний, основанных на принципах организации природно-техногенных систем.

Природно-техногенная система, критическая техногенная нагрузка (активность) на природную среду, организация природно-техногенной системы, комплексный потенциал природной среды.

There are considered specific features of integrated simulation of natural-anthropogenic systems under the conditions of non-linearity of the environment. There is given an assessment of critical systematic states based on the principles of organization of natural-anthropogenic systems.

Natural-anthropogenic system, critical anthropogenic load (activity) on the environment, integrated potential of the environment.

Любая техногенная система создает свой характерный динамический «отпечаток» в экосистеме, который проявляется в ее самоорганизации. При этом самоорганизация природно-техногенной системы рассматривается как способ синхронизации техногенной нагрузки в природном ландшафте, при котором энергетические потери среды минимизируются. Воздействие на природные ландшафты приобретает особый смысл, поскольку цена допускаемых здесь ошибок может быть слишком велика, а иногда чревата потерей созданного природно-техногенного ландшафта – эталона устойчивого равновесия. В постановке задачи самоорганизации природно-техногенные системы целесообразно рассматривать с использованием следую-

щих определений:

системное единство технологий (организаций) и вмещающей их природной среды, позволяющее рассматривать техногенные процессы и вмещающую их среду как единое целое с присущей этому целому динамикой эволюционного развития;

природно-техногенная система – природная целостность с внедренной в нее формой организации техногенных процессов;

критическая техногенная нагрузка (активность) на природную среду – нагрузка, соответствующая порогу системной сложности вмещающей природной среды, за пределом которого система исчезает как целостность. При этом система теряет свои организационные свойства во