УДК 621.311.2

DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-70-85

В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов, Е. А. Козарезова

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

М. С. Васильев

Институт компьютерных технологий и информационной безопасности
Инженерно-технологической академии Южного федерального университета,
Таганрог, Российская Федерация

А. Р. Триполева

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Целью исследований являлось обеспечение экологической устойчивости развития (ЭУР) оросительно-обводнительных систем (ООС) путем повышения использования первичной формы энергии в технологическом производстве продукции растениеводства на орошаемых землях. На современном этапе развития водохозяйственного комплекса в составе АПК стоит важная задача, связанная с повышением эффективности использования первичной формы энергии в технологии производства продукции растениеводства путем использования возобновляемых источников энергии – потенциальной энергии водного потока на внутрисистемных гидротехнических водопроводящих сооружениях открытого и закрытого типов с применением малых ГЭС и микроГЭС на дождевальных машинах, солнечных батарей для обеспечения электрической энергией внутрисистемных элементов ООС, ветроэнергетических установок в жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния ООС. В системном энерго-энтропийном рассмотрении процессов функционирования ООС происходят определенные изменения в природной среде (ПС), формирующие экологическое состояние (ЭС) как фактор экологической безопасности (ЭБ) в зонах влияния действующих ООС. Для дальнейшего совершенствования ООС важным является обеспечение ЭУР и функционирования природно-технических систем (ПТС) «природная среда – оросительно-обводнительная система – население» («ПС – ООС – Н»). Для обеспечения ЭУР действующих и создаваемых ПТС «ПС – ООС – Н» требуется разработка основ методологии оценки ЭУР ООС как фактора обеспечения ЭБ и, соответственно, развития сельскохозяйственного производства на орошаемых землях путем более полного использования первичного источника энергии, под воздействием которого происходят все процессы жизнедеятельности в пределах рассматриваемой бассейновой геосистемы.

Ключевые слова: природная среда, система, развитие, экологически устойчивое развитие, экологическая безопасность, мощность системы, природно-техническая система.

V. L. Bondarenko, G. L. Lobanov, E. A. Kozarezova

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

M. S. Vasilyev

Institute of Computer Technology and Information Security, Engineering and Technological Academy, Southern Federal University, Taganrog, Russian Federation

A. R. Tripoleva

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF NATURAL-TECHNICAL SYSTEMS ON IRRIGATION SYSTEMS

The aim of the research was to ensure the environmental sustainability of the development (EUR) of the watering irrigation systems by increasing the initial energy use in the crop production technology in irrigated lands. At the current stage of water industry development as a part of agroindustrial complex there is an important task connected with the increase of efficiency of the initial energy use in crop production technology through the use of renewable energy sources – the potential energy of water flow on intrasystemic hydro-technical waterworks of open and closed types with the use of small HPPs and micro HPPs on sprinklers, solar batteries to provide electrical power to the intrasystem elements of watering irrigation systems, wind driver generators in the life sustenance of people living in the zone of watering irrigation systems. In the system energy-entropy consideration of the processes of functioning watering irrigation systems, certain changes in the environment (PS) that form the ecological state (ES) as a factor of environmental safety (EB) in the zones of influence of existing watering irrigation systems occur. The provision of EUR and the functioning of the natural-technical systems “natural environment – watering – irrigation system – population” (PTS “PS – OOS – N”) is important for the further improvement of watering irrigation systems. To ensure the EUR of the existing and newly developed PTS “PS – OOS – N”, the development of the methodology basics for assessing the environmental sustainability of the development of watering irrigation systems as a factor of environmental safety and accordingly the development of agricultural production in irrigated lands by more fully utilization of the initial energy source under the influence of which all processes of vital activity within the given basin-geosystem occur is required.

Key words: environment, system, development, environmentally sustainable development, environmental safety, system capacity, natural-technical system.

Введение. Целью исследований являлась оценка экологической устойчивости и перспектив использования природно-технических систем (ПТС) «природная среда – оросительно-обводнительные системы – население» «ПС – ООС – Н» на действующих оросительных системах Ростовской области, Ставропольского края. При анализе действующих ООС Ставропольского края и Ростовской области было установлено, что использование водных ресурсов в технологических процессах сельскохозяйственного производства неотъемлемо связано с комплексом внутрисистемных гидротехнических сооружений (КВГТС), выступающих в роли центрального техногенного компонента ООС в составе ПТС «ПС – ООС – Н».

В системном энерго-энтропийном рассмотрении процессов функционирования ООС происходят определенные изменения в ПС (атмосфере, геологической среде верхних слоев литосферы, гидросферы и почвенном покрове), которые формируют экологическое состояние (ЭС) в зонах влияния. Исходя из современных требований к обеспечению экологической безопасности в зонах влияния действующих ООС и дальнейшего совершенствования ООС важным является обеспечение экологической устойчивости развития (ЭУР) функционирования ПТС «ПС – ООС – Н». Для обеспечения ЭУР действующих и создаваемых ПТС «ПС – ООС – Н» на ООС требуется разработка основ методологии оценки экологически устойчивого развития ООС как фактора обеспечения экологической безопасности и, соответственно, развития сельскохозяйственного производства на орошаемых землях [1–4].

В настоящее время развитие общества сталкивается с процессами разрушения окружающей природной среды в растительном и животном мире.

Тенденция современного общественного развития не в полной мере согласовывается с возможностями окружающих природных сред, с действующими законами природы на уровне речных бассейнов, а также глобальной системы «природа – общество – человек».

Современный экстенсивный рост экономики разрушает взаимосвязи в природных средах, что в итоге тормозит экономический рост. Сформировавшийся эколого-экономический кризис обуславливает системный кризис как на локальном уровне речных бассейновых геосистем, так и на глобальном уровне биосферы Земли [5].

В настоящее время действующий принцип природно-материальной жизни, основывающийся на «потребительстве», и не согласованный с законами природы экономический рост создали проблемы изменения климата, загрязнения атмосферы, гидросферы, увеличения опустынивания зе-

мель на водосборах со скоростью порядка 6 млрд га, сокращения разнообразия в растительном и животном мире (до 70 видов ежегодно) [6].

Системный кризис охватил как глобальную систему «природа – общество – человек», так и локальные речные бассейны водных объектов, в которых создаются или функционируют ПТС «ПС – ООС – Н», связанные с использованием водных ресурсов [5–8].

Понятие «устойчивость» с физической точки зрения относится к классу систем, которые стремятся к равновесию и потере способности выполнять работу. Природные законы биологии не удовлетворяют принципу неизменности, что исключает использование их в управлении процессами развития рассматриваемой системы и установлении прогноза. Можно отметить, что химические законы в полной мере относятся к законам физическим. В значительной мере аналогичными недостатками обладают законы общественного развития в процессах хозяйственной деятельности [1–4].

Материалы и методы. Исследования ООС Ставропольского края и Ростовской области проводились путем использования системного подхода к процессам взаимодействия ПС, включающих в себя приземные слои атмосферы, гидросферу в виде водоисточника (реки, водохранилища), транспортирующую и разводящую сеть открытых каналов и почвенный покров и население в зонах влияния ООС.

Исходя из главенствующей роли энергии в процессах взаимодействия ООС с ПС и населением в составе ПТС «ПС – ООС – Н», из понятия развития как целенаправленных, необратимых изменений при удовлетворении жизненно необходимых потребностей проживающего населения, выполнялась разработка методологических основ устойчивого развития хозяйственной деятельности в пределах систем орошения [5, 9].

Можно отметить, что проблема связана с ЭУР как главным фактором обеспечения экологической безопасности на уровне речных бассейнов,

в пределах которых ведутся практически все виды хозяйственной деятельности, в т. ч. связанной с использованием водных ресурсов в производстве сельскохозяйственной продукции на ООС.

В настоящее время в процессе развития экономики в различных видах хозяйственной деятельности, в т. ч. и связанной с использованием водных ресурсов, уделяется большое внимание отношениям между проживающим населением в вопросах, связанных с производством, распределением и использованием материальных благ.

Рассматриваемая экономическая модель обуславливает экологически неустойчивое развитие (ЭНР), при котором экономическая эффективность ($\mathcal{E}_\phi$) выражается отношением результатов деятельности (РД) к общим затратам (З). Переход от модели ЭНР к модели ЭУР обуславливает появление необходимых ограничений, из которых наиболее важными являются речные пространственные пределы бассейновых геосистем (ППБ_г), социальная (С) и экономическая эффективность ($\mathcal{E}_\phi$). В общем виде ЭУР в ППБ_г можно выразить произведением $C \cdot \mathcal{E}_\phi$, при этом экономические отношения включают в себя социальные, экологические в рассматриваемых ППБ_г.

Для бассейновой геосистемы Верхней Кубани как основного источника водных ресурсов оросительных систем Ставропольского края главным ограничением являются ее ППБ_г = 113300 км³, социальные условия проживающего населения в этих пространственных границах (344 тыс. чел.) и $\mathcal{E}_\phi$ в отраслях проводимой хозяйственной деятельности, из которых важной является выработка электрической энергии на Зеленчукской ГЭС-ГАЭС. На основе использования водных ресурсов и функциональной работы ООС Ставропольского края ЭУР рассматриваемых систем может быть определена выражением:

$$\text{ЭУР} = \text{ППБ}_g \cdot C \cdot \mathcal{E}_\phi.$$

Ограничения рассматриваемых ППБ_г обуславливают необходимость обеспечения устойчивости функционирования входящих в нее природных экосистем, в которых действуют процессы самоорганизации и преобладания природных процессов взаимодействия (биотических, абиотических) компонентов между собой над техногенными взаимодействиями ООС с ПС. Ограничения ППБ_г включают в себя природно-ресурсные составляющие, которые формируются в пространственных границах Верхней Кубани и, по среднемноголетним сведениям, составляют около 2800 млн м³.

Водно-ресурсная составляющая определяет устойчивость сельскохозяйственного производства путем ее использования на ООС и замены невозобновляемых ресурсов (НР) (угля, нефти, газа) при выработке электрической энергии возобновляемыми ресурсами (ВР) – водными, ветром, солнечной радиацией и др. Соотношение $\frac{ВР}{НР}$ определяет устойчивость

природопользования: $УП = \frac{ВР}{НР}$.

Исходя из необходимости выживания и сохранения общественного развития в ППБ_г социальные ограничения (СО) обуславливаются во взаимосвязи с возрастающими потребностями в использовании водных ресурсов и определяются показателями социальной справедливости ($П_{сп}$) в виде отношения вклада, вносимого деятельностью населения (ВДН), к производимым благам (ПБ_л) в виде жизненно необходимого водообеспечения действующих ООС и других сфер жизнедеятельности населения: $П_{сп} = ПБ_{л} / ВДН$ (всегда ≤ 1).

Важной составляющей рассматриваемой модели ЭУР ООС являются интегральные показатели экологической безопасности (ПЭБ) для населения и природных сред, которые разрабатываются на стадии проектирования. Экологическая безопасность (ЭБ) для населения и ПС определяется

отношением $ЭБ = \frac{УЗО}{УВО}$, где $УЗО$ – уровень защищенности объекта защиты; $УВО$ – уровень возможной опасности. Если $ЭБ$ равна единице, то для рассматриваемых объектов защиты безопасность обеспечена. В обобщенном виде ЭУР на ООС в функционирующих ППБ_г может быть выражена в виде:

$$ЭУР = \frac{ВР}{НР} \cdot \frac{ПБ_{л}}{ВДН} \cdot \frac{УЗО}{УВО}. \quad (1)$$

Анализ выражения (1) показывает, что ЭУР может быть обеспечена при увеличении использования $ВР$ и уменьшении использования $НР$, а также при достижении социальной справедливости ($П_{спр}$) и $ЭБ$ при соответствующей $Э_{ф}$.

Результаты и обсуждение. Использование водных ресурсов в отраслях хозяйственной деятельности вызывает необходимость создания ПТС «ПС – ООС – Н», которые функционируют в ППБ_г. В ПТС «ПС – ООС – Н» главным техногенным компонентом является ООС в виде различных типов гидротехнических сооружений, позволяющих использовать возобновляемые водные ресурсы в виде стока (поверхностного, подземного) речной сети, осуществляя экологически приемлемые технологии их использования [4, 5].

Для обеспечения ЭУР в ППБ_г в системном понимании необходимо обеспечить ЭУР в ПТС «ПС – ООС – Н», которая определяется исходя из понятия «развитие». Если $ЭБ$ в рассматриваемой ПТС «ПС – ООС – Н» обуславливает ряд вопросов, связанных с обеспечением защиты ПС и жизненно важных интересов населения в зонах влияния ООС, то понятие «развитие» может быть представлено как необратимые, целенаправленные, закономерные изменения в компонентах окружающей среды. Необратимость изменений в ПС определяет рост уровня энтропии под воздействием ООС.

Важным показателем в процессах развития ПТС «ПС – ООС – Н» является время (t), которое определяет направленность вектора развития [5, 7].

На основе понятия «развитие» и учета социальных, экологических и экономических аспектов сформулировано понятие ЭУР для рассматриваемого класса ПТС «ПС – ООС – Н»: «Экологически устойчивое развитие – это управляемая системно-сбалансированная ПТС «природная среда – оросительно-обводнительная система – население», в которой социоприродное развитие не разрушает природную среду и обеспечивает жизненно необходимые потребности и экологическую безопасность населения настоящего и будущих поколений».

В рассматриваемом классе ПТС «ПС – ООС – Н» происходят процессы и явления, описываемые фундаментальными законами природы (физики, биологии, химии) и действующими экологическими законами и нормативными требованиями, изложенными в работах Ф. Реймера, В. В. Денисова, В. Л. Бондаренко и др. [4, 5, 8]. Для обеспечения ЭУР ПТС «ПС – ООС – Н» необходима непрерывность процессов развития во всех сферах жизнедеятельности.

Анализ действующих ПТС «ПС – ООС – Н» в бассейнах рек Кубани, Нижнего Дона показывает, что основной причиной возникновения нештатных ситуаций с возможным снижением уровня ЭБ в зонах влияния ООС на стадии проектирования, строительства и эксплуатации является недостаточная согласованность принимаемых проектных решений. Поэтому для обеспечения ЭБ и ЭУР в рассматриваемых ПТС «ПС – ООС – Н» требуется согласованность принимаемых решений с «универсальными» законами природы, что вызывает необходимость создания и развития новых методологических подходов.

Анализ показывает, что одним из наиболее целесообразных подходов является энерго-энтропийный подход, в котором ПТС «ПС – ООС – Н» в ППБ_г рассматривается как целостная, открытая, устойчиво-

неравновесная система с выделением как внутренних, так и внешних связей с компонентами окружающей среды.

Основные принципы устойчивой неравновесности изложены в работах С. Подолинского (1880), Э. Бауэра (1934) и В. И. Вернадского (1935) [7, 9, 10].

Системное взаимодействие рассматриваемого класса ПТС «ПС – ООС – Н» с окружающими ПС в ППБ_г как части биосферы Земли осуществляется в соответствии с фундаментальным законом сохранения мощности, который, как отмечается в работе А. М. Черняева [7], является базовым инвариантом как в масштабе глобальной системы «природа – общество – человек», так и на локальном уровне рассматриваемых ППБ_г, где формируются водные ресурсы. Согласно закону сохранения мощности ($N_{\text{пол}}$), любое изменение полезной части мощности (P) компенсируется изменением части мощности потерь (G):

$$N_{\text{пол}} = P + G[L^5 \cdot T^{-5}]. \quad (2)$$

Применяя на практике закон сохранения мощности (2), выражающий соотношение полезной мощности (P) и мощности потерь (G) под контролем полной мощности ($N_{\text{пол}}$), можно дать оценку состояния и направленности процессов взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения ООС с природными средами в ППБ_г.

Исследованиями установлено, что экологическое состояние в пространстве и времени в зонах влияния ООС определяется движением потоков вещества, энергии и информации, которые количественно и качественно определяются предельно допустимыми концентрациями (ПДК) веществ, предельно допустимым уровнем (ПДУ) потоков энергии, предельно допустимыми выбросами (ПДВ) загрязняющих веществ, предельно допустимыми сбросами (ПДС) загрязняющих веществ в водные объекты. В энергетическом энерго-энтропийном рассмотрении состояние ПТС

«ПС – ООС – Н» определяется балансовым соотношением свободной части энергии ($E_{\text{свб}}$), связанной энергии ($E_{\text{свз}}$) и полной энергии ($E_{\text{пол}}$), поступающей в рассматриваемую систему:

$$E_{\text{пол}} = E_{\text{свб}} + E_{\text{свз}} [L^5 \cdot T^{-4}], \quad (3)$$

где $E_{\text{свб}}$ – доля полной энергии, способной совершать работу;

$E_{\text{свз}}$ – часть полной энергии, которая обуславливает энтропию и не способна совершать работу.

С увеличением значения $E_{\text{свб}}$ повышается работоспособность и производительность системы. При доминировании $E_{\text{свз}}$ над $E_{\text{свб}}$ система стремится к равновесию, т. е. деградирует [11, 12].

Направленность протекающих процессов в рассматриваемой ПТС «ПС – ООС – Н» определяется процессами развития, которые зависят от темпов роста полезной части мощности P для определенных периодов времени в настоящем t_0 и будущем t_1, t_2, t_3 и т. д. Для каждого периода времени фиксируется вклад в рост полезной части мощности P за t_1 , вклад в скорость роста полезной части мощности P за t_2 , вклад в ускорение роста полезной части мощности P за t_3 . Это можно представить в виде ряда разложений величин $P(t)$ по степеням, имеющего вид:

$$P(t) = P_0 + P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + P_3 \cdot t_3 + \dots [L^5 \cdot T^{-5}], \quad (4)$$

где P_0 – полезная величина мощности;

P_1 – рост полезной части мощности;

P_2 – скорость роста полезной части мощности;

P_3 – ускорение роста полезной части мощности.

С ростом полезной мощности растет эффективность $f(t)$ использования полной мощности $N_{\text{пол}}$, которой обладает рассматриваемая система.

Увеличение эффективности использования $N_{\text{пол}}$ можно представить рядом разложения:

$$f(t) = f_0 + f_1 \cdot t_1 + f_2 \cdot t_2 + f_3 \cdot t_3 + \dots, \quad (5)$$

где f_0 – эффективность использования полной мощности $N_{\text{пол}}$ в t_0 ;

f_1 – эффективность использования $N_{\text{пол}}$ для t_1 (далее f_2 для t_2 , f_3 для t_3 и т. д.).

Эффективность использования $N_{\text{пол}}$ для периодов времени в настоящем и будущем t_1, t_2, t_3 . Для каждого периода фиксируется вклад в рост P .

Можно отметить, что ЭУР в рассматриваемых ПТС «ПС – ООС – Н» в основном зависит от темпов роста эффективности использования $N_{\text{пол}}$ и неубывающих темпов роста полезной части мощности P , имеющей вид:

$$P + P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + P_3 \cdot t_3 + \dots \geq 0 [L^5 \cdot T^{-5}], \quad (6)$$

и сохранения убывающих темпов изменения части мощности потерь (G):

$$G_0 + G_1 \cdot t_1 + G_2 \cdot t_2 + G_3 \cdot t_3 + \dots < 0 [L^5 \cdot T^{-5}], \quad (7)$$

где G_0 – убывающая мощность за фиксируемый период;

G_1 – убывающая мощность за период t_1 ;

G_2 – убывающая мощность за период t_2 ;

G_3 – убывающая мощность за период t_3 .

Из анализа выражений (3)–(7) вытекает важный для использования $N_{\text{пол}}$, неубывающих темпов роста P (зависимость (6)) и сохранения убывающего изменения G (зависимость (7)) вывод: для обеспечения ЭУР в рассматриваемых ПТС «ПС – ООС – Н» необходимо рассматривать использование водных ресурсов как процесс, который имеет целью изменение направления и интенсивности потоков свободной части энергии, определяющей полезную часть $E_{\text{свб}}$, определяющей полезную часть мощности P . Для достижения таких изменений необходимо использовать более совершенные технологии и конструктивные решения в использовании

водных ресурсов на действующих и создаваемых ООС. Исследованиями установлено, что уровень совершенства используемых технологий и конструктивных решений определяется коэффициентом полезного действия (КПД) $\eta_{об} = \frac{E_{свб}}{E_{пол}}$ или $\frac{P}{N_{пол}}$ рассматриваемой системы.

Оценка воздействия населения, проживающего в зоне влияния рассматриваемой ООС, на процесс ЭУР в составе ПТС «ПС – ООС – Н», как свидетельствуют результаты исследований, может осуществляться путем специальных социологических исследований на предпроектной стадии, на стадии проектирования, строительства и эксплуатации. Для обеспечения ЭУР на основе результатов комплексных исследований на действующих ООС в составе ПТС «ПС – ООС – Н» разработаны системные показатели критериев оптимизации, которые базируются на принципах минимизации стоимости создаваемой ООС (J_1), максимизации получаемого экономического эффекта (J_2), минимизации себестоимости производимой сельскохозяйственной продукции (J_3) и максимизации рентабельности технологического цикла преобразования первичной формы энергии, поступающей от солнца (J_4):

$$\left. \begin{aligned} J_1 &= K + M \rightarrow \min \\ J_2 &= D - (K + M) \rightarrow \max \\ J_3 &= \frac{C}{K + M} \rightarrow \min \\ J_4 &= \frac{\Pi}{K + M} \rightarrow \max \end{aligned} \right\},$$

где K – капитальные расходы на строительство ООС, руб.;

M – текущие эксплуатационные расходы на обеспечение устойчивого функционирования ООС, руб.;

D – суммарный доход, получаемый от ООС, руб.;

C – стоимость произведенной сельскохозяйственной продукции, руб.;

П – получаемая прибыль, руб.

Оценка мнения населения в зоне влияния действующих ООС выполнялась в социологических исследованиях путем заполнения специальных опросных листов, охватывающих не менее 60 % проживающих в данной местности. Для обеспечения ЭУР ПТС «ПС – ООС – Н», функционирующих в пространственных пределах речных бассейновых геосистем, необходимы достаточные темпы роста эффективности использования полной мощности $N_{\text{пол}}$, что возможно при неубывающих темпах роста полезной части мощности P . Установлено, что на действующих ООС БСК-4 в составе ПТС «ПС – ООС – Н» обобщенный КПД может быть повышен за счет более полного использования возобновляемых источников: водного потока, ветра и первоначального источника энергии – солнца.

Выводы

1 На примере ООС Ставропольского края обеспечение ЭУР возможно при установке доминирования процессов преобразования первичной формы энергии, поступающей от солнца, в аккумулированные формы химической энергии в виде различной продукции растениеводства.

2 Для повышения эффективности использования первичной формы энергии в технологии производства продукции растениеводства необходимо использовать возобновляемые источники энергии (потенциальную энергию водного потока закрытых и открытых водопроводящих системных сооружений) путем создания внутрисистемных малых ГЭС и микроГЭС на дождевальных машинах, солнечные батареи для локального обеспечения электрической энергией различных внутрисистемных элементов ООС, ветроэнергетические установки в жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния ООС.

3 ЭУР на действующих и создаваемых ООС может быть обеспечена при системном подходе как доминирующем факторе обеспечения экологической безопасности в зонах влияния.

Список использованных источников

1 Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ: по состоянию на 13 июля 2015 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

2 Агропромышленный комплекс России в 2016 году / Минсельхоз России. – М., 2017. – 720 с.

3 Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России: информ. изд. – М.: Росинформагротех, 2016. – 220 с.

4 Бондаренко, В. Л. Методологические подходы к оценке экологически устойчивого функционирования природно-технических систем «природная среда – объект деятельности – население» / В. Л. Бондаренко, А. В. Лещенко, Е. С. Поляков // Природообустройство. – 2013. – № 1. – С. 5–11.

5 Экологическая безопасность в природообустройстве, водопользовании и строительстве: экологическая инфраструктура бассейновых геосистем: монография / В. Л. Бондаренко, В. В. Приваленко, Г. М. Скибин, В. Н. Азаров. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2017. – 308 с.

6 Насонов, А. Н. Топологическое моделирование природно-техногенных систем / А. Н. Насонов, В. И. Сметанин // Природообустройство. – 2013. – № 1. – С. 11–16.

7 Воды России. Экосистемное управление водопользованием / под науч. ред. А. М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ. – Екатеринбург: Аква-Пресс, 2000. – 356 с.

8 Кузнецов, О. Л. Система природа – общество – человек: устойчивое развитие / О. Л. Кузнецов, П. Г. Кузнецов, Б. Е. Большаков. – Дубна, 2000. – 410 с.

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

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

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

12 Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method / P. Saling, A. Richerer, B. Dittich-Kramer, R. Wittlinger, W. Zombik, I. Schmidt, W. Schrott, S. Schmidt // Life Cycle Management. – Germany, 2002. – P. 42–57.

References

1 *Ob okhrane okruzhayushchey sredy* [On Environmental Protection]. Federal Law of Russian Federation of January 10, 2002, no. 7-FZ, as of July 13, 2015 (In Russian).

2 *Agropromyshlennyy kompleks Rossii v 2016 godu* [Agro-industrial Complex of Russia in 2016]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Moscow, 2017, 720 p. (In Russian).

3 *Razvitie melioratsii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v Rossii: informacionnoe izdanie* [Development of Agricultural Land Reclamation in Russia: inform. publ.]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2016, 220 p. (In Russian).

4 Bondarenko V.L., Leshchenko A.V., Polyakov E.S., 2013. *Metodologicheskie podkhody k otsenke ekologicheski ustoichivogo funktsionirovaniya prirodno-tekhnicheskikh sistem «prirodnaya sreda – ob"yekt deyatel'nosti – naselenie»* [Methodological approaches to the assessment of the ecologically sustainable functioning of natural-technical systems “environment – object of activity – population”]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 5-11. (In Russian).

5 Bondarenko V.L., Privalenko V.V., Skibin G.M., Azarov V.N., 2017. *Ekologicheskaya bezopasnost' v prirodoobustroystve, vodopol'zovanii i stroitel'stve: ekologicheskaya infrastruktura basseynovykh geosistem: monografiya* [Environmental safety

in environmental engineering, water use and construction: ecological infrastructure of basin geosystems: monograph]. Novocherkassk, South-Russian State Technical University (NPI) Publ., 308 p. (In Russian).

6 Nasonov A.N., Smetanin V.I., 2013. *Topologicheskoe modelirovanie prirodno-tekhnogennykh system* [Topological simulation of natural-anthropogenic systems]. *Prirodobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 11-16. (In Russian).

7 Chernyaev A.M., 2000. *Vody Rossii. Ekosistemnoe upravlenie vodopol'zovaniem* [Waters of Russia. Ecosystem Management of Water Use]. FGUP RosNIIVH, Ekaterinburg, Akva-Press Publ., 356 p. (In Russian).

8 Kuznetsov O.L., Kuznetsov P.G., Bolshakov B.E., 2000. *Sistema priroda – obshchestvo – chelovek: ustoichivoe razvitiye* [System “Nature – Society – Man”: Sustainable Development]. Dubna, 410 p. (In Russian).

9 Reimers N.F., 1990. *Prirodopol'zovanie: slovar'-spravochnik* [Nature use: the Glossary]. Moscow, Mysl' Publ., 570 p. (In Russian).

10 Nikolis G., Prigogin I., 1979. *Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemakh* [Self-organization in Non-equilibrium Systems]. Moscow, Mir Publ., 440 p. (In Russian).

11 Prigozhin I., Stengers I., 1986. *Poryadok iz khaosa* [Order from Chaos]. Moscow, Progress Publ., 256 p. (In Russian).

12 Saling P., Richerer A., Dittrich-Kramer B., Wittlinger R., Zombik W., Schmidt I., Schrott W., Schmidt S., 2002. *Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method. Life Cycle Management*. Germany, pp. 42-57. (In English).

Бондаренко Владимир Леонидович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: ведущий научный сотрудник отдела ГТС и гидравлики

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: Priroda-ngma@mail.ru

Bondarenko Vladimir Leonidovich

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: Priroda-ngma@mail.ru

Лобанов Георгий Леонидович

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

Lobanov Georgiy Leonidovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

Козарезова Елена Александровна

Должность: младший научный сотрудник отдела эксплуатации мелиоративных систем и водочета

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: Elena.kozarezova@mail.ru

Kozarezova Elena Aleksandrovna

Position: Junior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov reg., Russian Federation, 346421

E-mail: Elena.kozarezova@mail.ru

Васильев Михаил Сергеевич

Должность: студент

Место работы: Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Инженерно-технологической академии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»

Адрес организации: ул. Чехова, 2, г. Таганрог, Ростовская область, Российская Федерация, 347922

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Vasilyev Mikhail Sergeevich

Position: Student

Affiliation: Institute of Computer Technology and Information Security, Engineering and Technological Academy, Southern Federal University

Affiliation address: str. Chekhov, 2, Taganrog, Rostov region, Russian Federation, 347922

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Триполева Алла Радифовна

Должность: аспирант кафедры техногенной безопасности, мелиорации и природообустройства

Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428

E-mail: AllaTripoleva@yandex.ru

Tripoleva Alla Radifovna

Position: Postgraduate student

Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University

Affiliation address: str. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428

E-mail: AllaTripoleva@yandex.ru