

## ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МАЛЫХ РЕЧНЫХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Захаров Р.Ю.<sup>1</sup>, Волкова Н.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО КФУ им. В.И.Вернадского, Академия строительства и архитектуры  
295493, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: zakharovr@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»  
295493, г. Симферополь, ул. Киевская, 150, e-mail: volkova\_n@niishk.ru

**Аннотация.** В ходе гидротехнического строительства большинство водотоков превратилось в природно-технические системы. Их состояние вследствие антропогенной деятельности постепенно ухудшается. Особенно подвержены негативному воздействию человека малые речные водохозяйственные экосистемы. Использование предложенных в данной работе логико-математических выражений, отражающих влияние антропогенной деятельности на уровень экологической безопасности данных систем, позволит не только комплексно оценить фактическую обстановку, но и правильно расставить приоритет действий при разработке управленческих решений в водохозяйственной сфере.

**Ключевые слова:** малая речная водохозяйственная экосистема, антропогенная нагрузка, критерии оценки, уровень экологической безопасности, шкала идентификации состояния.

### ВВЕДЕНИЕ

Большинство водотоков в ходе гидротехнического строительства (водохранилищ, прудов, перегораживающих сооружений, водозаборов и т.п.) трансформировались в природно-технические водохозяйственные экосистемы (ВХЭС), компоненты которых взаимосвязаны и влияют друг друга. Кроме того в ходе антропогенной деятельности происходит постепенное ухудшение их состояния. Снижается биоразнообразие, изменяются качественные и количественные характеристики стока, без должного ухода с течением времени начинают разрушаться технические сооружения и т.п. Особенно этим негативным процессам подвержены малые речные водохозяйственные экосистемы, расположенные в маловодообеспеченных регионах. Это обусловлено рядом факторов, а именно: ограниченностью располагаемых водных ресурсов, недостаточной гидрологической изученностью (гидропосты в основном расположены на наиболее значимых водотоках), отсутствием в необходимом объеме информации о состоянии гидравлически связанных с этими водотоками гидротехнических сооружений и другим.

По ряду причин социального и экономического характера невозможно приостановить ведение хозяйственной деятельности, однако необходимо поддерживать баланс между природной составляющей этих малых речных водохозяйственных экосистем и потребностями населения и отраслей экономики, то есть необходимо управлять экологической безопасностью их функционирования, а для этого, в первую очередь, необходимо комплексно оценить обстановку на данных природно-технических системах.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Усовершенствованием и разработкой подходов, напрямую или косвенно используемых для обеспечения экологической безопасности на водохозяйственных объектах, занимались Джонч-Клаусен Т., Apostolaki S., Vinod Kumar T. M., Hansson K., Araral E., Macian-Sorribes H., Бондаренко В. Л., Пряжинская В. Г., Левит-Гуревич Л. К. и другие. В своих работах [1–9] авторы описали ряд механизмов, направленных на достижение устойчивого функционирования речных геосистем. Непосредственно оценкой влияния антропогенной деятельности на экологическое состояние малых водотоков, водоемов занимались: Веденеева Н. В., Пospelова О. А., Платонова Н. В., Окрут С. В., Лобарев С. А., Пакусина А. П., Степаненко Е. Е. и многие другие. Непосредственно по Крымским водотокам подобные исследования проводились Яцыком А. В., Тимченко З. В., Власовой А. Н., Дунаевой Е. А. и другими. Результаты выполненных ими работ нашли отражение в следующих публикациях [10–19]

Разработка и усовершенствование методов и подходов по предупреждению развития ресурсного истощения рек нашли отражение в работах Данилова-Данильяна В. И., Болгова М. В. [20], Дубининой В. Г. [21], Фащевского Б. В. [22] и другие. Вопросами управления экологической безопасностью функционирования гидротехнических сооружений (ГТС) занимались Щедрин В. Н. [23], Анищенко Л. Я. [24], Карпенко Н. П., Юрченко И. Ф. [25], Косиниченко Ю. М. [26] и многие другие. Кроме того, механизмы обеспечения экологической безопасности водохозяйственных объектов прописаны в нормативно-законодательных актах РФ (Водный кодекс РФ, Налоговый кодекс РФ, Приказ МПР РФ от 13 апреля 2009 г. №87 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства», СанПиН 3907-85. «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ» и другие).

Однако в перечисленных выше подходах, методах, методиках оценка производится по отдельным компонентам (водотоку, водосборной территории, ГТС) а не речной водохозяйственной экосистеме в целом. Это может привести к ошибкам при разработке управленческих решений, расстановке приоритетов действий, направленных на обеспечение экологической безопасности данных природно-технических систем, так как в достаточной мере не учитываются причинно-следственные взаимосвязи между природной, технической и социально-экономической составляющими.

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель данной работы – составить логико-математические выражения, позволяющие учесть существующие взаимосвязи между компонентами малых речных водохозяйственных экосистем, расположенных в маловодообеспеченных регионах, и комплексно оценить уровень экологической безопасности по системе в целом. Это позволит выделить водохозяйственные объекты, по которым необходима первоочередная разработка управленческих решений, направленных на обеспечение их устойчивого функционирования, и правильно расставить приоритет действий.

В качестве объекта исследования рассматривались малые речные водохозяйственные экосистемы Республики Крым. Это обосновано тем, что по причине уникального сочетания природно-климатических условий на территории региона имеют место проявления основных проблем, характерных как для горных (селеобразование, интенсивное развитие эрозионных процессов), так и равнинных водотоков (недостаточная водность, существенная зарегулированность стока и т.п.).

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

При проведении исследований были использованы:

- методологический подход по оценке уровня экологической безопасности функционирования водохозяйственных экосистем, детально описанный авторами в [27]. В его основу заложен принцип, заключающийся в том, что устойчивость работы данной природно-технической системы, зависит от осуществления ею своих основных функций, которые условно были разделены на 3 основные группы: обеспечивающие поддержание благоприятной экологической обстановки (транспортировка сформировавшегося стока; обеспечение благоприятной среды обитания для естественной флоры и фауны, существование которой непосредственно связано с функционированием водотока); отвечающие за соблюдение прав и интересов водопользователей (источник воды соответствующего качества для населения и отраслей экономики; водоприемник канализационных, сбросных и дренажных вод; обеспечение обустройства рекреационных зон; рыборазведение); определяющие безопасность технических сооружений, гидравлически связанных с водотоком (аккумуляция сформировавшегося стока; обеспечение забора и подачи воды пользователям; защита от вредного воздействия вод).
- формула расчета показателя оценки уровня экологической безопасности водохозяйственных экосистем [27]:

$$ПЭБ_{ВХЭС} = 0,42ПЭБ_{ПС} + 0,34ПЭБ_{В} + 0,24ПЭБ_{ТС} \quad (1)$$

где  $PЭБ_{ПС}$ ,  $PЭБ_{В}$ ,  $PЭБ_{ТС}$  – показатели экологической безопасности природной среды, водопользователей, технических сооружений соответственно.

Перечень критериев, отвечающих за возможность осуществления ВХЭС своих функций, был дополнен. Во внимание были приняты:

– причины, учитывающие особенности всех групп малых водотоков Республики Крым и влекущие ухудшение экологического состояния водных объектов и прилегающих к ним территорий, нарушения прав и интересов водопользователей;

– ограниченность располагаемых информационных данных, отражающих состояние технических сооружений, предназначенных для аккумуляирования и транспортировки стока, водоотведения, защиты от вредного воздействия вод.

В результате была составлена структура комплексной оценки уровня экологической безопасности малых речных водохозяйственных экосистем (рисунок 1), в которой, в том числе были учтены особенности, характерные для маловодообеспеченных регионов, а именно то, что не всегда нужды водопользователей будут обеспечены в полном объеме.

В данной работе для определения весовых коэффициентов выделенных критериев был использован принцип парного сравнения с использованием шкалы, предложенной Саати Т. [28]. Это обосновано рядом факторов, основными из которых являются: необходимость сопоставления качественных и количественных показателей, ограниченность располагаемых информационных данных. В результате были составлены матрицы и методом геометрического среднего определены весовые коэффициенты выделенных критериев (таблицы 1–3).



Рис. 1. Структура комплексной оценки уровня экологической безопасности малых речных водохозяйственных экосистем

Таблица 1.

Матрица определения весовых коэффициентов критериев, влияющих на экологическую безопасность природной среды

	$K_{ПС1}$	$K_{ПС2}$	$K_{ПС3}$	$K_{ПС4}$	Собственный вектор	Вектор приоритетов
$K_{ПС1}$	1,00	5,00	5,00	5,00	3,34	0,61
$K_{ПС2}$	0,20	1,00	1,00	1,00	0,67	0,13
$K_{ПС3}$	0,20	1,00	1,00	1,00	0,67	0,13
$K_{ПС4}$	0,20	1,00	1,00	1,00	0,67	0,13

Таблица 2.

Матрица определения весовых коэффициентов критериев, влияющих на экологическую безопасность водопользователей

	К <sub>В1</sub>	К <sub>В2</sub>	К <sub>В3</sub>	К <sub>В4</sub>	Собственный вектор	Вектор приоритетов
К <sub>В1</sub>	1,00	1,00	1,00	3,00	1,32	0,30
К <sub>В2</sub>	1,00	1,00	1,00	3,00	1,32	0,30
К <sub>В3</sub>	1,00	1,00	1,00	3,00	1,32	0,30
К <sub>В4</sub>	0,33	0,33	0,33	1,00	0,44	0,10

Таблица 3.

Матрица определения весовых коэффициентов критериев, влияющих на экологическую безопасность технических сооружений

	К <sub>ТС1</sub>	К <sub>ТС2</sub>	К <sub>ТС3</sub>	К <sub>ТС4</sub>	Собственный вектор	Вектор приоритетов
К <sub>ТС1</sub>	1,00	0,17	1,00	0,25	0,45	0,08
К <sub>ТС2</sub>	6,00	1,00	6,00	4,00	3,46	0,60
К <sub>ТС3</sub>	1,00	0,17	1,00	0,25	0,45	0,08
К <sub>ТС4</sub>	4,00	0,25	4,00	1,00	1,41	0,24

Поскольку отношения согласованности определения показателей экологической безопасности природной среды, водопользователей, технических сооружений не превысили допустимого значения (10%), процедуры пересмотра матриц не потребовалось, были составлены логико-математические выражения, отражающие влияние антропогенной деятельности на устойчивость функционирования малых речных водохозяйственных экосистем (формулы 2, 7, 12):

$$ПЭБ_{пс} = 0,61K_{пс1} + 0,13K_{пс2} + 0,13K_{пс3} + 0,13K_{пс4} \quad (2)$$

где  $K_{пс1}$  – критерий обеспечения экологического стока/ попуска. В случае если объем стока в замыкающем створе равен или превышает экологический попуск/сток, данный показатель принимается равным 0, иначе расчет производится по формуле (3):

$$K_{пс1} = \frac{W_{эп} - W}{W_{эп}} \quad (3)$$

где  $W_{эп}$  – требуемый объем экологического попуска/ стока, тыс. м<sup>3</sup>,

$W$  – объем стока в замыкающем створе, тыс. м<sup>3</sup>;

$K_{пс2}$  – критерий распаханности сельскохозяйственных угодий определяется по формуле (4):

$$K_{пс2} = \frac{F_{п}}{F} \quad (4)$$

где  $F_{п}$  – площадь пашни, га,

$F$  – площадь водосборного бассейна малой речной ВХЭС, га;

$K_{пс3}$  – критерий урбанизации территории рассчитывается по формуле (5):

$$K_{пс3} = \frac{F_{у}}{F} \quad (5)$$

где  $F_{у}$  – площадь бассейна малой речной ВХЭС, занятая урбанизированными территориями, га;

$K_{пс4}$  – критерий загрязнения водотока сточными водами определяется по формуле (6):

$$K_{пс4} = \frac{W_{зс}}{W} \quad (6)$$

где  $W_{ЗС}$  – объем загрязненных и недостаточно очищенных сточных вод, сбрасываемых в малую речную ВХЭС, тыс. м<sup>3</sup>.

$$ПЭБ_B = 0,3K_{B1} + 0,3K_{B2} + 0,3K_{B3} + 0,1K_{B4} \quad (7)$$

где  $K_{B1}$  – критерий безопасности воды для населения определяется по формуле (8):

$$K_{B1} = \frac{N_{НХК}}{N_{ОБЩХК}} \quad (8)$$

где  $N_{НХК}$  – количество проб, несоответствующих требованиям, предъявляемым к качеству воды объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, шт.,

$N_{ОБЩХК}$  – общее количество проб воды, отобранных из объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, шт.;

$K_{B2}$  – критерий, характеризующий пригодность воды для орошения, рассчитывается по формуле (9):

$$K_{B2} = \frac{N_{НОР}}{N_{ОБЩНОР}} \quad (9)$$

где  $N_{НОР}$  – количество проб, несоответствующих требованиям, предъявляемым к солевому составу оросительной воды, шт.,

$N_{ОБЩНОР}$  – общее количество проб воды, отобранных из объектов, используемых для целей орошения, шт.;

$K_{B3}$  – критерий безопасности воды для рыбозаведения определяется по формуле (10):

$$K_{B3} = \frac{N_{НРХ}}{N_{ОБЩРХ}} \quad (10)$$

где  $N_{НРХ}$  – количество проб, несоответствующих требованиям, предъявляемым к качеству воды объектов рыбохозяйственного назначения, шт.,

$N_{ОБЩРХ}$  – общее количество проб воды, отобранных из объектов используемых для рыбозаведения, шт.;

$K_{B4}$  – критерий, характеризующий количественное обеспечение интересов водопользователей рассматриваемой малой речной ВХЭС. Если приходная часть водохозяйственного баланса больше или равна расходной данный показатель равен 0, иначе устанавливается по формуле (11):

$$K_{B4} = \frac{W_{ВДП} - W_{ФВДП}}{W_{ВДП}} \quad (11)$$

где  $W_{ВДП}$  – суммарная потребность в воде водопользователей, тыс. м<sup>3</sup>,

$W_{ФВДП}$  – фактическое потребление воды водопользователями, тыс. м<sup>3</sup>.

$$ПЭБ_{ТС} = 0,08K_{ТС1} + 0,6K_{ТС2} + 0,08K_{ТС3} + 0,24K_{ТС4} \quad (12)$$

где  $K_{ТС1}$  – критерий, характеризующий техническое состояние водотранспортирующих систем, если данные сооружения не входят в состав водохозяйственных экосистем, принимается равным 0, иначе рассчитывается по формуле (13):

$$K_{ТС1} = \frac{W_{ПТ}}{W_{ЗВ}} \quad (13)$$

где  $W_{ПТ}$  – потери воды при транспортировке, тыс. м<sup>3</sup>,  
 $W_{ЗВ}$  – объем забранной воды, тыс. м<sup>3</sup>;  
 $K_{ТС2}$  – критерий, отражающий техническое состояние водоаккумулирующих сооружений, если данные ГТС не входят в состав водохозяйственных экосистем, принимается равным 0, иначе рассчитывается по формуле (14):

$$K_{ТС2} = \frac{W_{НТС}}{W_{ОБЩ}} \quad (14)$$

где  $W_{НТС}$  – проектная емкость водоаккумулирующих сооружений, характеризующихся неудовлетворительным состоянием плотины/дамбы, дна, водосбросного сооружения тыс. м<sup>3</sup>,  
 $W_{ОБЩ}$  – общий объем аккумулируемого стока малой речной ВХЭС, тыс. м<sup>3</sup>;  
 $K_{ТС3}$  – критерий, характеризующий техническое состояние берегоукрепительных сооружений, если данные ГТС не входят в состав водохозяйственной экосистемы, принимается равным 0, иначе определяется по формуле (15):

$$K_{ТС3} = \frac{L_{НЗС}}{L_{ЗС}} \quad (15)$$

где  $L_{НЗС}$  – протяженность берегоукрепительных сооружений, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии, км;  
 $L_{ЗС}$  – общая протяженность берегоукрепительных сооружений, км;  
 $K_{ТС4}$  – критерий, характеризующий техническое состояние дренажных систем, если данные сооружения не входят в состав водохозяйственной экосистемы, принимается равным 0, иначе определяется по формуле (16):

$$K_{ТС4} = \frac{F_{НКДС}}{F_{КДС}} \quad (16)$$

где  $F_{НКДС}$  – площадь, занятая под дренажными системами, находящимися в неудовлетворительном состоянии, га;  
 $F_{КДС}$  – площадь под дренажными системами, га.

Составим на основе полученных логико-математических выражений и граничных значений критериев (таблица 4), учитывающих особенности водных объектов Республики Крым, шкалу идентификации уровня экологической безопасности малых речных водохозяйственных экосистем (таблица 5).

Составленные логико-математические выражения, отражающие влияние антропогенной деятельности на устойчивость функционирования малых речных водохозяйственных экосистем, учитывают взаимосвязи между компонентами и основные причины, влекущие снижение уровня экологической безопасности данных природно-технических систем. Это позволяет не только комплексно оценивать обстановку, но и правильно расставлять приоритет действий при разработке управленческих решений в водохозяйственной сфере.

Таблица 4.

Граничные значения критериев, отражающие влияние антропогенной деятельности на устойчивость функционирования водохозяйственных объектов [14,15,29]

Наименование критерия	Граничные значения состояния, %			
	допустимый	низкий	очень низкий	катастрофический
Чрезмерное изъятие стока	0	0–5	5–10	< 10
Распаханность водосбора:				
– водотоки южного склона Крымских гор	> 11	11–14	14–16	< 16
– водотоки северного склона Крымских гор	> 15	15–20	20–50	< 50
– водотоки Керченского полуострова и равнинного Крыма	> 60	60–65	65–70	< 70
Урбанизация территории:				
– водотоки южного склона Крымских гор	> 2	2–5	5–7	< 7
– водотоки северного склона Крымских гор	> 3	3–5	5–7	< 7
– водотоки Керченского полуострова и равнинного Крыма	> 4	4–5	5–7	< 7
Загрязнение водотока сточными водами	> 1	1–5	5–10	< 10
Безопасность воды для населения	> 5	5–25	25–50	< 50
Пригодность воды для орошения	> 5	5–25	25–50	< 50
Безопасность воды для рыбозаведения	> 5	5–25	25–50	< 50
Обеспечение интересов водопользователей	> 5	5–25	25–50	< 50
Техническое состояние водотранспортирующих ГТС	> 5	5–25	25–50	< 50
Техническое состояние водоаккумулирующих ГТС	> 5	5–25	25–50	< 50
Техническое состояние берегоукрепительных сооружений	> 5	5–25	25–50	< 50
Техническое состояние дренажных систем	> 5	5–25	25–50	< 50

Таблица 5.

Идентификационная шкала оценки уровня экологической безопасности малых речных водохозяйственных экосистем Республики Крым

Наименование группы водотоков	Значение интегрального показателя	Идентификация состояния
Водотоки южного склона Крымских гор	$0 \leq ПЭБ_{ВХЭС} \leq 0,04$	допустимый
	$0,04 < ПЭБ_{ВХЭС} \leq 0,17$	низкий
	$0,17 < ПЭБ_{ВХЭС} \leq 0,33$	очень низкий
	$ПЭБ_{ВХЭС} > 0,33$	катастрофический
Водотоки северного склона Крымских гор	$0 \leq ПЭБ_{ВХЭС} \leq 0,04$	допустимый
	$0,04 < ПЭБ_{ВХЭС} \leq 0,17$	низкий
	$0,17 < ПЭБ_{ВХЭС} \leq 0,35$	очень низкий
	$ПЭБ_{ВХЭС} > 0,35$	катастрофический
Водотоки Керченского полуострова и равнинного Крыма	$0 \leq ПЭБ_{ВХЭС} \leq 0,06$	допустимый
	$0,07 < ПЭБ_{ВХЭС} \leq 0,20$	низкий
	$0,20 < ПЭБ_{ВХЭС} \leq 0,36$	очень низкий
	$ПЭБ_{ВХЭС} > 0,36$	катастрофический

К примеру, на основе использования данных логико-математических выражений для оценки уровня экологической безопасности ВХЭС р. Малый Салгир было установлено следующее:

- общая обстановка была идентифицирована как неблагоприятная. Было получено значение  $PЭБ_{ВХЭС}$  равное 0,19, что соответствует «очень низкому» уровню экологической безопасности;
- превышение допустимого воздействия зафиксировано по 6 критериям: урбанизация территории, безопасность воды для рыборазведения, безопасность воды для населения, распаханность водосбора, загрязнение водотока сточными водами, техническое состояние водоаккумулирующих сооружений. Наиболее неблагоприятная обстановка сложилась в отношении первых двух;
- для обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственной экосистемы р. Малый Салгир целесообразно предусмотреть реализацию следующего перечня мероприятий: канализование населенных пунктов, расположенных в бассейне данного водотока; соблюдение требований водного законодательства РФ, предъявляемых к ведению хозяйственной деятельности в водоохранной зоне водотоков и водоемов; осуществление очистки сточных вод, сбрасываемых с Таврической ТЭС; проведение необходимых ремонтных и эксплуатационных работ на прудах. По результатам предварительной оценки осуществление данных действий позволит снизить значение  $PЭБ_{ВХЭС}$  до 0,04, что соответствует допустимому уровню антропогенного воздействия на данную природно-техническую систему [30].

## ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

- хотя существующие подходы, методики и методы по оценке уровня безопасности гидротехнических сооружений, антропогенной нагрузки на водные объекты и территорию водосборной площади могут быть использованы для разработки управленческих решений, направленных на обеспечение экологической безопасности малых речных водохозяйственных экосистем, они в должной мере не учитывают причинно-следственные взаимосвязи между их природной, технической и социально-экономической составляющими. Это может привести к ошибкам при обосновании выбора малых речных ВХЭС, по которым необходима первоочередная реализация действий, направленных на достижение их устойчивого функционирования;
- к основным критериями, отвечающим за возможность осуществления малыми речными водохозяйственными экосистемами своих функций, следует отнести: обеспечение экологического стока/ попуска, распаханность водосбора, урбанизацию территории, поступление загрязненных сточных вод в водоток, безопасность воды для населения и рыборазведения, пригодность воды для целей орошения, обеспечение интересов водопользователей, техническое состояние водотранспортирующих, аккумулирующих сток, берегоукрепительных сооружений и дренажных систем;
- апробация использования составленных логико-математических выражений, отражающих влияние антропогенной деятельности на устойчивость функционирования малых речных водохозяйственных экосистем, на примере р. Малый Салгир, позволила: комплексно оценить фактическую обстановку (уровень экологической безопасности – очень низкий); выделить и ранжировать по значимости критерии, по которым необходима реализация мероприятий, направленных на снижение оказываемого на них негативного воздействия; разработать необходимый для этого перечень действий; провести предварительную оценку ожидаемых результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Джонч-Клаусен, Т. Интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР) и планы повышения эффективности водопользования до 2005 г. почему, что и как? [Электронный ресурс] / Т. Джонч-Клаусен. – Режим доступа : <https://docplayer.ru/45296351-Integrirovannoe-upravlenie-vodnymi-resursami-iuvr-i-planu-povysheniya-effektivnosti-vodopolzovaniya-do-2005-g-pochemu-chto-i-kak.html>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Apostolaki, S. Using a systemic approach to address the requirement for Integrated Water Resource Management within the Water Framework Directive / S. Apostolaki, P. Koundouri, N. Pittis // Science of the Total Environment. – 2019. – Volume 679. – P. 70–79.

3. Vinod Kumar, T. M. Smart water management for smart Kozhikode metropolitan area / T. M. Vinod Kumar, C. Mohammed Firoz, P. Bimal, P. S. Harikumar, P. Sankaran // *Advances in 21st Century Human Settlements*. – 2019. – P. 241–306.
4. Hansson, K. Coping with complex environmental and societal flood risk management decisions: An integrated multi-criteria framework / K. Hansson, A. Larsson, M. Danielson, L. Ekenberg // *Sustainability*. – 2011. – № 3 (9). – P. 1357–1380.
5. Araral, E. Water Governance 2.0: A Review and Second Generation Research Agenda / E. Araral, Y. Wang // *Water Resources Management*. – 2013. – Volume 27. – Issue 11. – P. 3945–3957.
6. Macian-Sorribes, H. Definition of efficient scarcity-based water pricing policies through stochastic programming / H. Macian-Sorribes, M. Pulido-Velazquez, A. Tilmant // *Hydrology and Earth System Sciences*. – 2015. – Volume 19. – Issue 9. – P. 3925–3935.
7. Бондаренко, В. Л. Основы создания природно-технических систем (ПТС) «природная среда – объект деятельности – население» в использовании водных ресурсов / В. Л. Бондаренко, Е.А. Семенова, А.В. Алиферов // *Инженерный вестник Дона*. – 2016. – № 4 (43). – С. 87.
8. Бондаренко, В. Л. Методология формирования новых идей в технологических процессах использования водных ресурсов / Л. Бондаренко, Е. А. Семенова, А. В. Алиферов, О. В. Клименко // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. – 2017. – № 50 (69). – С. 73–79.
9. Пряжинская, В. Г. О методологической поддержке схем комплексного использования и охраны водных объектов [Электронный ресурс] / В. Г. Пряжинская, Л. К. Левит-Гуревич, Д. М. Ярошевский. – Режим доступа : <http://www.municipal-sd.ru/pdf-files/water/9.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
10. Веденева, Н. В. Малые реки Саратовской области как объект водопользования: мониторинг экологического состояния, комплексная оценка и повышение качества воды / Н. В. Веденева, А. А. Белячко, С. А. Киященко, Е. И. Тихомирова // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2016. – № 2 (3). – Т. 18. – С. 642–646.
11. Поспелова, О. А. Влияние функциональных зон города на фитотоксичность вод малой реки / О. А. Поспелова, С. В. Окрут, Е. Е. Степаненко, Ю. А. Мандра // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2011. – № 5. – Т. 13. – С. 216–219.
12. Платонова, Т. П. Эколого-химическая оценка состояния малой реки Зейско-Бурейской равнины (на примере р. Гельчин) / Т. П. Платонова, А. П. Пакусина, О. В. Тарасенко, С. А. Лобарев // *Перспективы науки*. – 2013. – № 10 (49). – С. 196–200.
13. Лобарев, С. А. Оценка экологического состояния реки Гильчин / С. А. Лобарев, Т. П. Платонова, А. П. Пакусина // *Проблемы экологии Верхнего Приамурья*. – 2014. – Т. 16. – С. 18–28.
14. Яцык, А. В. Экологические основы рационального водопользования / А. В. Яцык. – Киев : Издательство «Генеза», 1997. – 640 с.
15. Тимченко, З. В. Оценка геоэкологического состояния водных ресурсов малых рек (на примере малых рек северного макросклона Крымских гор): автореф. дис... канд. географ. наук: 18.01.2001/ Тимченко Зинаида Владимировна, Симферополь, 2000. – 29 с.
16. Власова, А. Н. Оценка экологического состояния ландшафтов бассейна реки Салгир / А. Н. Власова // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География*. – 2011. – Т. 24 (63). – № 1. – С. 66–71.
17. Дунаева, Е. А. Типизация бассейнов рек Крыма по агроландшафтам и экологической нагрузке на них / Е. А. Дунаева, П. И. Коваленко // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2013. – № 4 (12). – С. 157–167.
18. Подовалова, С. В. Использование современных методов при оценке экологического состояния малых водотоков в пределах урбанизированных территорий / С. В. Подовалова, Н. М. Иванютин, А. А. Манжос, А. А. Зубоченко, Л. В. Бояркина, Н. Ф. Резник // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. – 2018. – № 3 (71). – С. 79–89.
19. Иванютин, Н. М. Результаты комплексного экологического мониторинга реки Славянки / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. – 2018. – № 1 (69). – С. 34–42.
20. Данилов-Данильян, В. И. Оценка допустимого изъятия стока в бассейнах малых рек: основные методические положения / В. И. Данилов-Данильян, М. В. Болгов, В. Г. Дубинина,

- В. С. Ковалевский, А. Г. Кочарян, Н. М. Новикова // Водные ресурсы. – 2006. – № 2. – Т. 33. – С. 224–238.
21. Дубинина, В. Г. Методические основы нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска) / В. Г. Дубинина. – М.: Экономика и информатика, 2001. – 118 с.
22. Фащевский, Б. В. О допустимых преобразованиях в речных экосистемах / Б. В. Фащевский // Ученые записки Государственного гидрометеорологического университета. – 2014. – № 34. – С. 93–102.
23. Щедрин, В. Н. Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Слабунов, О. В. Воеводин, А. П. Кажанов, А. С. Штанько, С. П. Жук. – Новочеркасск: Российский НИИ проблем мелиорации, 2014. – 171 с.
24. Анищенко, Л. Я. Методология комплексной оценки воздействия гидротехнического строительства на окружающую среду / Л. Я. Анищенко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2005. – № 6. – С. 35–38.
25. Карпенко, Н. П. Теоретическое обоснование структуры классификатора критериев безопасности ГТС мелиоративного водохозяйственного комплекса / Н. П. Карпенко, И. Ф. Юрченко // Природообустройство – 2015. – № 1. – С. 12–15.
26. Косиниченко, Ю. М. Модель малого водохранилища как объекта проведения оценки целесообразности дальнейшего его использования / Ю. М. Косиниченко, М. Ю. Косиниченко, Е. А. Савенкова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 3. – С. 123–136.
27. Волкова, Н. Е. Методологические основы оценки уровня экологической безопасности функционирования водохозяйственных экосистем в Республике Крым / Н. Е. Волкова, Р. Ю. Захаров // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24. – № 4. – С. 46–52.
28. Саати, Т. Л. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Л. Саати, К. П. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
29. Трофимов, В. Т. Теория и методология экологической геологии / В. Т. Трофимов. – М.: Издательство МГУ, 1997. – 368 с.
30. Volkova, N. E. Ensuring the environmental safety of the Maliy Salgir river water ecosystem / N.E. Volkova, R.Y. Zakharov, L.R. Umerova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2020. – Volume 962. – Issue 4. – № 042041.

## ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF SMALL RIVER WATER ECOSYSTEMS

Zakharov R. Yu.<sup>1</sup>, Volkova N. Ye.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

<sup>2</sup> Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Crimea

**Annotation.** During hydraulic construction, most watercourses have become natural-technical systems. Their condition is gradually deteriorating due to anthropogenic activities. Small river water ecosystems are particularly affected by human impacts. Using the logical and mathematical expressions proposed in this work, reflecting the influence of anthropogenic activity on the level of environmental safety of these systems, will not only allow a comprehensive assessment of the actual situation, but also correctly prioritize actions when developing management decisions in the water sector.

**Keywords:** small river water ecosystem, anthropogenic load, assessment criteria, level of environmental safety, status identification scale.