

УДК 627.81.004

Ю. М. Косиченко (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

М. Ю. Косиченко (ФГБОУ ВПО «ЮРГТУ» (НПИ))

Е. А. Савенкова (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

МОДЕЛЬ МАЛОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КАК ОБЪЕКТА ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В статье представлена структурная схема вероятностно-экономического анализа выбора оптимального варианта дальнейшего использования или ликвидации малого водохранилища. Представлены пять вариантов для расчета модели. Дана целевая функция, позволяющая определить оптимальный вариант на основе анализа экономических и вероятностных показателей, социальных и природоохранных факторов. В табличной форме представлены сводные результаты расчетов при вероятностно-экономическом анализе вариантов модели водохранилища с использованием исходных данных условного объекта для расчета выбора оптимального варианта дальнейшего использования водохранилища.

Ключевые слова: малое водохранилище, модель водохранилища, риск аварии, целевая функция, вероятностно-экономический анализ, ликвидация.

Y. M. Kosichenko (FSBSE “RSRILIP”)

M. Y. Kosichenko (FSBEE HPE “SRSTU” (NPI))

Y. A. Savenkova (FSBSE “RSRILIP”)

SMALL RESERVOIR MODEL AS AN OBJECT OF ASSESSMENT FOR ITS FURTHER USE SUITABILITY

The paper offers the structural scheme for the optimal choice to further use and liquidation of small reservoir by probabilistic economic analysis. Five variants for model calculation are afforded. The target function for determine the optimal variant on the basis of economic and probabilistic indices as well as social and nature conservation factors is given. The summary calculation table for reservoir models by probabilistic economic analysis using initial data for conventional object for calculating the optimum variant to further reservoir use is presented.

Keywords: small reservoir, reservoir model, emergency risk, target function, probabilistic economic analysis, liquidation.

Основными типами малых водохранилищ и прудов на основе анализа сведений, представленных Донским бассейновым водным управлением Федерального агентства водных ресурсов являются пруды и малые водохранилища на непроточных (сухих) балках, ручьях и малых реках протяженностью до 100 км и площадью водосбора до 2000 км².

Значительная часть этих водохранилищ создавалась для целей орошения и сельскохозяйственного водоснабжения. За последние 15 лет орошение

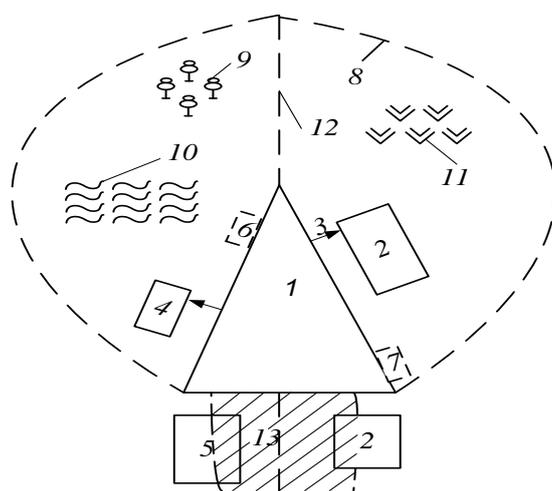
из малых водохранилищ и прудов практически прекратилось. При этом изменилось их первоначальное целевое назначение [1-6].

На базе водных ресурсов прудов и малых водохранилищ сформировались новые водопользователи и водопотребители. В связи с этим оценка водохранилищ с точки зрения сохранения или потери первоначального хозяйственного значения должна быть пересмотрена. Обоснование решения о сохранении или ликвидации должно проводиться на основании технической, экономической и экологической оценки [2].

Задачей настоящей работы является разработка модели малого водохранилища как объекта проведения оценки целесообразности дальнейшего его использования.

При описании и разработке модели малого водохранилища следует учесть обстоятельства, которые привели к потере собственника, использование прудов и водохранилищ в настоящее время, системное их окружение, степень их опасности для населенных пунктов и окружающей среды.

На рисунке 1 представлена структурная схема модели малого водохранилища, содержащая основные объекты окружения водохранилища и их влияния на водосборную площадь, примыкающую к сооружению.



- 1 – водохранилище; 2 – населенный пункт; 3 – подача воды на технические нужды и пожаротушение; 4 – животноводческая ферма; 5 – орошение сельскохозяйственных участков; 6 – водопой скота; 7 – зона отдыха; 8 – граница водосборной площади; 9 – лесные массивы; 10 – пашня; 11 – луга; 12 – тальвег балки; 13 – зона вероятного затопления при разрушении плотины

Рисунок 1 – Структурная схема модели малого водохранилища

На рисунке 2 представлена структура модели водохранилища для оценки целесообразности дальнейшего его использования или ликвидации.



Рисунок 2 – Структура модели малого водохранилища как объекта проведения оценки целесообразности использования или ликвидации

В расчетах модели водохранилища для принятия решения о выборе оптимального варианта дальнейшей эксплуатации или ликвидации водохранилища целесообразно рассмотреть пять основных вариантов:

- вариант I – современный уровень эксплуатации водоема без ремонта, не отвечающий требованиям безопасности;
- вариант II – частичный или текущий ремонт плотины и водосброса с сохранением эксплуатационных параметров пруда или водохранилища и уменьшением риска аварии;
- вариант III – капитальный ремонт плотины или водосброса с уменьшением риска аварии;

- вариант IV – реконструкция плотины и водосброса с уменьшением риска аварии до нормативного;

- вариант V – ликвидация водохранилища.

При проведении оценки целесообразности дальнейшего использования или ликвидации водохранилища могут быть использованы различные целевые функции, позволяющие определять оптимальный вариант на основе анализа экономических и вероятностных показателей, социальных и природоохранных факторов [7, 8].

В качестве целевой функции в разработанной модели авторами предлагается использовать функцию затрат на ремонт и поддержание сооружения в рабочем состоянии или затрат на его ликвидацию, суммы прибылей (доходов) от использования водных ресурсов всеми водопользователями и вероятный ущерб от аварии ГТС с учетом расчетной величины риска.

Общее выражение целевой функции, основанной на вероятностно-экономическом подходе, имеет следующий вид:

$$\bar{C}_f = \sum_{i=1}^n \bar{Z}_i - \sum_{i=1}^k R_i + \sum_{i=1}^m \lambda_i Y_i + \sum_{i=1}^l S_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^n \bar{Z}_i$ – сумма приведенных затрат по рассматриваемому варианту использования ГТС;

$\sum_{i=1}^k R_i$ – сумма прибылей (доходов) от использования воды всеми водопотребителями и водопользователями;

$\sum_{i=1}^m \lambda_i Y_i$ – сумма вероятных ущербов от аварии ГТС;

λ_i – риск (вероятность) аварии;

Y_i – ущерб, вызванный аварией, от затопления населенных пунктов и сельхозугодий.

Для сравнимости вариантов использования ГТС в целевой функции (1) учитывается коэффициент приведения (дисконтирования):

$$\bar{C}_f = \sum_{t=1}^{\tau} \left[\alpha_t \left(\sum_{i=1}^n \bar{Z}_i - \sum_{i=1}^k R_i + \sum_{i=1}^m \lambda_i Y_i \right) + \sum_{i=1}^l S_i \right] \rightarrow \min, \quad (2)$$

где α_t – коэффициент приведения (дисконтирования), определяемый по формуле:

$$\alpha_t = e^{-E_{\text{нп}} \cdot t},$$

где t – годы в течение всего срока службы (жизненного цикла) ГТС;

$E_{\text{нп}}$ – нормативное значение коэффициента приведения (0,06-0,10);

τ – год приведения затрат.

В модели ГТС при расчете целевой функции (2) учитываются следующие составляющие:

$$\sum_{i=1}^n \bar{Z}_i = \sum_{i=1}^n e_n K_i + I_i - \text{сумма приведенных затрат по рассматриваемому варианту использования ГТС, в которой:}$$

e_n – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности капиталовложений, принимаемый равным 0,10-0,15;

$K_i = K_{\text{пл}} + K_{\text{вс}}$ – капитальные затраты по рассматриваемому варианту;

$K_{\text{пл}}, K_{\text{вс}}$ – капитальные затраты на плотину и водосброс (капитальный ремонт или реконструкция);

$K_{\text{ликв}}$ – капитальные затраты на ликвидацию ГТС;

$I_i = I_{\text{экс}} + I_{\text{пл}} + I_{\text{вс}}$ – ежегодные текущие затраты по рассматриваемому варианту;

$I_{\text{экс}}$ – ежегодные эксплуатационные затраты;

$I_{\text{пл}}$ – затраты на текущий ремонт плотины;

$I_{\text{вс}}$ – затраты на текущий ремонт водосброса;

- сумма прибылей (дохода) от использования воды всеми водопотребителями и водопользователями:

$$\sum R_i = R_{\text{ор}} + R_{\text{вс}} + R_{\text{вп}} + R_{\text{рыб}} + R_{\text{рек}},$$

где $R_{\text{ор}}$ – прибыль от орошения;

$R_{\text{вс}}$ – прибыль от водоснабжения населения и сельхозпредприятий;

$R_{\text{вп}}$ – прибыль от водопоя скота;

$R_{\text{рыб}}$ – прибыль от рыборазведения;

$R_{\text{рек}}$ – прибыль от рекреации;

- сумма вероятных ущербов от аварии ГТС $\sum_{i=1}^n \lambda_i Y_i$ определяемая как

сумма ущербов основных рисков аварии грунтовой плотины:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i Y_i = \lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \lambda_3 Y_3,$$

где λ_1 – риск аварии грунтовой плотины при переливе через гребень вследствие волновых и нагонных явлений и недостаточном запасе отметки гребня над нормальным подпорным уровнем (НПУ);

λ_2 – риск разрушения грунтовой плотины от паводка, превышающего расчетный 1 % обеспеченности;

λ_3 – риск разрушения плотины вследствие фильтрационных процессов (суффозии грунта тела и основания плотины);

- сумма компенсаций потребителям при опорожнении пруда (водохранилища) при ликвидации ГТС:

$$\sum_{i=1}^l S_i = S_{\text{ор}} + S_{\text{вп}} + S_{\text{вс}} + S_{\text{рыб}} + S_{\text{рек}},$$

где $S_{\text{ор}}$, $S_{\text{вп}}$, $S_{\text{вс}}$, $S_{\text{рыб}}$, $S_{\text{рек}}$ – компенсационные выплаты водопользователям вследствие прекращения хозяйственной деятельности.

В предлагаемой авторами экономико-математической модели, основанной на целевой функции (2), принимаются следующие условия (таблица 1).

Таблица 1 – Основные условия, применяемые для расчета оптимального варианта модели водохранилища

Характеристика условия	Математическая запись
Минимизация приведенных затрат на ремонт и эксплуатацию плотины и водосброса	$\sum_{i=1}^n \bar{Z}_i \rightarrow \min$
Минимизация компенсаций водопользователям при ликвидации водохранилища	$\sum_{i=1}^k S_i \rightarrow \min$
Минимизация рисков разрушения грунтовой плотины и водосброса	$\sum_{i=1}^m \lambda_i \rightarrow \min$
Получение максимальной прибыли от использования водных ресурсов водохранилища всеми водопользователями	$\sum_{i=1}^f R_i \rightarrow \max$

Для реализации экономико-математической модели используются ограничения, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Принятые в модели ограничения

Наименование	Пределы ограничений
Затраты на ремонт и эксплуатацию плотины и водосброса	$0 \leq C_{\text{экс}i} \leq 0,02C_{\text{бал}}$ – эксплуатационные затраты на ГТС
	$0,02C_{\text{балпл}} \leq C_{\text{пл}i} < 0,20C_{\text{балпл}}$ – текущий ремонт
	$0,02C_{\text{балпл}} \leq K_{\text{пл}i} < 0,20C_{\text{балпл}}$ – капитальный ремонт
	$0,50C_{\text{балпл}} \leq K_{\text{рпл}i} \leq C_{\text{балпл}}$ – реконструкция
Затраты на ликвидацию ГТС	$0,20C_{\text{балпл}} \leq K_{\text{ликв}} \leq C_{\text{бал}}$ для вариантов дальнейшего использования ГТС – $K_{\text{ликв}} = 0$
Компенсационные выплаты всем водопользователям при ликвидации ГТС	$0 \leq S_i \leq 0,30C_{\text{бал}}$
Прибыли от использования водных ресурсов водохранилища	$0 \leq R \leq 0,50C_{\text{бал}}$
Риски разрушения грунтовой плотины и водосброса	$5 \cdot 10^{-3} \leq \lambda_i \leq 1,0$
Ущерб, вызванный аварией ГТС	$0 \leq Y_i \leq C_{\text{бал}}$

Значения рисков разрушений грунтовой плотины при переливе через гребень плотины вследствие волновых и нагонных явлений λ_1 , вследствие пропуска паводка с максимальным расходом, превышающем расчетный λ_2 , и при воздействии фильтрационных процессов λ_3 рассчитываются по отдельным компьютерным подпрограммам [9].

Ущерб от затопления населенных пунктов и сельхозугодий опреде-

ляется по формуле:

$$Y_1(\text{или } Y_2) = C_{\text{жил}} + Y_{\text{с.-х.}} = C_{\text{жил1чел.}} \cdot N_{\text{жит}} + Y_{\text{с.-х.1га}} \cdot F_{\text{зат}},$$

где $C_{\text{жил1чел.}}$ – стоимость жилья, имущества и земельных участков в расчете на 1 жителя;

$N_{\text{жит}}$ – число жителей, попадающих в зону затопления;

$Y_{\text{с.-х.1га}}$ – ущерб сельскохозяйственному производству в расчете на площадь в 1 га;

$F_{\text{зат}}$ – площадь сельскохозяйственных угодий, попадающих в зону затопления.

Реализация разработанной модели водохранилища как объекта проведения оценки целесообразности использования или ликвидации водохранилища путем выбора оптимального варианта наиболее эффективна при расчете большого количества вариантов, отвечающих определенным условиям и ограничениям.

В связи с этим рассмотрим пример расчета для пяти основных вариантов и более 100 подвариантов с фиксированными значениями задаваемых величин. Согласно структуре вероятностно-экономического анализа на рисунке 3 общая схема компьютерного моделирования включает ввод исходных данных с параметрами водохранилища, плотины, водосброса, данные о водопользователях и экономические показатели объекта – балансовой стоимости всего сооружения, плотины и водосброса.

Для каждого из подвариантов в компьютерной модели определяются составляющие целевой функции (2). Окончательный выбор оптимального варианта производится на основе минимизации целевой функции C_f .

В соответствии с общей структурной схемой вероятностно-экономического анализа выбора оптимального варианта дальнейшего использования водохранилища была составлена компьютерная программа в системе вычислений Mathcad, где все затраты, прибыли и ущербы рассчитывались за весь жизненный цикл пруда (водохранилища) и приводились к одному расчетному году – настоящему моменту эксплуатации водохранилища.

В таблице 3 представлены исходные данные условного объекта – малого водохранилища – для расчета выбора оптимального варианта его дальнейшего использования.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета модели

Наименование параметра	Обозначение, ед. изм.	Значение	Наименование параметра	Обозначение, ед. изм.	Значение
1	2	3	4	5	6
Объем воды в малом водохранилище	V , тыс. м ³	150	Количество жителей, попадающих в зону затопления:	-	-
Высота плотины	$H_{пл}$, м	7,5			
Длина плотины	$L_{пл}$, м	150	- для варианта 1 и 2	-	-
Глубина воды в верхнем бьефе	H_1 , м	6	при риске аварии 1, 2	$N_{жит}$, чел.	100
Балансовая стоимость плотины	$C_{балпл}$, млн руб.	50	- для варианта 3 и 4	-	-
Балансовая стоимость водосброса	$C_{балвс}$, млн руб.	5			
Площадь орошения	$F_{ор}$, га	10	при риске аварии 1-3	$N_{жит}$, чел.	0
Количество жителей	$N_{жит}$	1000	Эксплуатационные затраты	$C_{экс}$	$0,01C_{бал}$
Норма водоснабжения на 1 чел.	$Q_{вс}$, м ³ /сут.	0,15	Затраты на текущий ремонт:	-	-
Прибыль от орошения 1 га	$R_{ор1га}$, руб.	9672	- плотины	$C_{пл}$	$0,01C_{балпл}$
Прибыль от использования 1 м ³ воды	$R_{вод1м^3}$, руб.	22	- водосброса	$C_{вс}$	$0,015C_{балвс}$
Прибыль от рекреации на 1 чел.	$R_{рек1чел}$, руб.	1000	Затраты на капитальный ремонт:	-	-
Дополнительная прибыль после реконструкции	$R_{доп}$, млн руб.	1,6	- плотины	$K_{пл}$	$0,2C_{балпл}$
Ущерб от затопления 1 га сельхозугодий	$У_{с.-х.1га}$, тыс. руб.	52,0	- водосброса	$K_{вс}$	$0,4C_{балвс}$
Ущерб от затопления домовладения на 1 чел.	$C_{жил1чел}$, тыс. руб.	46,7	Затраты на реконструкцию:	-	-
Превышение гребня плотины над уровнем воды в верхнем бьефе:	-	-	- плотины	$K_{пл}$	$0,5C_{балпл}$
для варианта 1	d_1 , м	0,2	- водосброса	$K_{вс}$	$0,5C_{балвс}$
для варианта 2	d_2 , м	0,4	Затраты на ликвидацию	$K_{ликв}$	$0,4C_{бал}$

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
для варианта 3	d_3 , м	1,0	Дополнительные данные для расчета риска аварии:	-	-
для варианта 4	d_4 , м	2,0		- средняя глубина воды в водоеме	H_{cp} , м
Площадь затопления при аварии плотины	-	-	- длина разгона волны	L , м	500
- для варианта 1 и 2:	-	-	- максимальная скорость ветра	V_{max} , м/с	18
при риске затопления 1	$F_{зат}$, га	2000	- максимальный среднегогодежный расход паводка	Q_{maxca} , м ³ /с	6
при риске затопления 2	$F_{зат}$, га	100	- ширина плотины по гребню	$b_{гр}$, м	6
при риске затопления 3	$F_{зат}$, га	100	- коэффициент заложения откосов:	-	-
- для варианта 3:			верхового	m_1	3,0
при риске затопления 1	$F_{зат}$, га	100	низового	m_2	2,0
при риске затопления 2	$F_{зат}$, га	100	Критические градиенты напора:		
при риске затопления 3	$F_{зат}$, га	100			
- для варианта 4:			- в теле плотины	$I_{кр.г}$	1,0
при риске затопления 1	$F_{зат}$, га	10	- в основании плотины	$I_{кр.о}$	0,8
при риске затопления 2	$F_{зат}$, га	10	Мощность водопроницаемого основания	T , м	15

Сводные результаты расчетов приведены в таблице 4.

Анализ сводных результатов расчета показывает, что, несмотря на наиболее высокие приведенные затраты по варианту IV (реконструкция плотины и водосброса), данный вариант характеризуется минимумом целевой функции, а, следовательно, является оптимальным.

Вторым по оптимальности является вариант III (капитальный ремонт плотины и водосброса), где целевая функция составила 24,8 млн руб. против 16,7 млн руб. для оптимального варианта.

Все остальные варианты значительно уступают оптимальному и соответственно могут считаться заведомо невыгодными.

Таблица 4 – Сводные результаты расчетов при вероятностно-экономическом анализе вариантов модели водохранилища

Вариант ГТС	Содержание варианта	Суммарные приведенные затраты $\sum \bar{Z}_i$, млн руб.	Суммарные прибыли или компенсации $\sum R_i (\sum S_i)$, млн руб.	Риски аварии грунтовой плотины			Суммарный ущерб от затопления $\sum \lambda_i Y_i$, млн руб.	Целевая функция модели ГТС \bar{C}_f , млн руб.	Место варианта по минимуму целевой функции
				λ_1 , 1/год	λ_2 , 1/год	λ_3 , 1/год			
Вариант I	Современный уровень эксплуатации без ремонта	0,000	1,401	0,478	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	51,97	2811,0	5
Вариант II	Частичный (текущий) ремонт плотины и водосброса	1,125	1,401	0,102	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	5,81	307,6	4
Вариант III	Капитальный ремонт плотины и водосброса	1,750	1,401	0,013	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	0,097	24,8	2
Вариант IV	Реконструкция плотины и водосброса	3,300	3,001	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,0026	16,7	1
Вариант V	Ликвидация ГТС	2,200	0,262*	-	-	-	0,0	132,8	3

* – Компенсации потребителям

Таким образом, проведенные расчеты показали возможность применения разработанной модели для сравнительного анализа вариантов по выбору оптимального варианта дальнейшего использования водохранилища (пруда). Однако, при уточнении численных значений приведенных затрат, прибылей, убытков и компенсаций для реальных объектов возможен выбор любого варианта водохранилища в качестве оптимального, в том числе вариант ликвидации или вариант эксплуатации водохранилища без ремонта.

Список использованных источников

1 Прыткова, М. Я. Малые водохранилища лесостепной и степной зон СССР / М. Я. Прыткова. – Л.: Наука, 1979. – 172 с.

2 Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования / Б. М. Кизяев [и др.]; под ред. Б. М. Кизяева. – М.: ВНИИГиМ, 2006. – 586 с.

3 Щедрин, В. Н. О проблемах безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко // Гидротехническое строительство. – 2011. – № 5. – С. 33.

4 Каганов, Г. М. Анализ состояния низконапорных гидротехнических сооружений Российской Федерации на примере обследования гидроузлов Московской области / Г. М. Каганов, В. И. Волков, И. А. Секисова // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 8. – С. 26.

5 Савенкова, Е. А. Диагностика технического состояния прудов и малых водохранилищ и пути их эффективного использования / Е. А. Савенкова, Ю. М. Косиченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. – № 2. – С. 43.

6 Оценка технического состояния небольших (малых) плотин (по данным инвентаризации в Московской области) / Г. М. Каганов [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 42.

7 Золотов, Л. А. Качественная оценка надежности плотин / Л. А. Золотов, И. Н. Иващенко, В. М. Семенов // Гидротехническое строительство. – 1989. – № 7. – С. 8-11.

8 Экономика гидротехнического и водохозяйственного строительства / Д. С. Щавелев [и др.]; под ред. Д. С. Щавелева. – М.: Стройиздат, 1986. – 423 с.

9 Щедрин, В. Н. Безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Е. И. Шкуланов. – М.: Росинформагротех, 2011. – 267 с.

Косиченко Юрий Михайлович – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», заместитель директора.

Контактный телефон: 8-909-404-92-88, (8-8635) 26-51-11. E-mail: rosniipm@yandex.ru

Kosichenko Yuriy Mikhaylovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State Budget Scientific-Research Establishment “Russian Scientific-Research Institute of Land Improvement Problems”, Deputy Director for Science.

Contact telephone number: 8-909-404-92-88, (8-8635) 26-51-11. E-mail: rosniipm@yandex.ru

Косиченко Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», доцент кафедры.

Контактный телефон: 8-928-109-90-03. E-mail: rosniipm@yandex.ru

Kosichenko Mikhail Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Federal State Budget Educational Establishment of Higher Professional Education “South Russian State Technical University” (Novocherkassk Polytechnic Institute), Associate Professor.

Contact telephone number: 8-909-404-92-88, (8-8635) 26-51-11. E-mail: rosniipm@yandex.ru

Савенкова Елена Александровна – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», научный сотрудник.

Контактный телефон: 8-904-348-03-08. E-mail: rosniipm@yandex.ru

Savenkova Yelena Aleksandrovna – Federal State Budget Scientific-Research Establishment “Russian Scientific-Research Institute of Land Improvement Problems”, Researcher.

Contact telephone number: 8-904-348-03-08. E-mail: rosniipm@yandex.ru