Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 1. С. 23–42.
Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2025. Vol. 15, no. 1. P. 23–42.

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья
УДК 626.82
doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-23-42

Результаты оценки коэффициента полезного действия необлицованных мелиоративных каналов

Виктория Федоровна Талалаева[1], Олег Андреевич Баев[2]
[1,2]Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация
[1]vika-silchenko@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2541-204X
[2]oleg-baev1@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0142-4270

Аннотация. **Цель:** расчетная оценка коэффициента полезного действия необлицованных магистральных и оросительных каналов гидромелиоративных систем, а также определение влияния данного параметра на снижение эксплуатационной надежности и гидравлические характеристики каналов (расходно-скоростные, коэффициент фильтрации и шероховатость). **Материалы и методы.** Основой послужили данные, полученные авторами по результатам натурных исследований гидравлических и фильтрационных параметров ряда мелиоративных каналов Южного и Северо-Кавказского федерального округов. Для определения коэффициента полезного действия использовалась классическая эмпирическая зависимость А. Н. Костякова, а также расчетные формулы для определения фильтрационных потерь из каналов непрерывного действия в земляном русле при установившейся свободной фильтрации, рекомендуемые СП 100.13330.2016. **Результаты.** Нормативными документами установлены завышенные показатели коэффициентов полезного действия на уровне 0,90–0,93, на практике их достичь сложно, особенно для необлицованных каналов. Получены значения удельного веса причин снижения эксплуатационной надежности, которые оказывают наибольшее влияние на коэффициент полезного действия каналов. Ввиду того, что этот параметр для оросительных, магистральных и распределительных каналов является величиной непостоянной, при его установлении (или назначении для проектируемых каналов) необходимо учитывать возможные пределы его изменения в первые годы эксплуатации каналов и при их заполнении, когда процесс фильтрации является неустановившимся. **Выводы.** Установлены среднестатистические значения коэффициента полезного действия для необлицованных и облицованных каналов. Выявлено влияние расходно-скоростных и геометрических параметров на этот параметр. Сформулированы основные мероприятия, направленные на повышение коэффициента полезного действия необлицованных мелиоративных каналов.

Ключевые слова: коэффициент полезного действия, мелиоративный канал, гидротехническое сооружение, фильтрация, потери воды, коэффициент шероховатости

Для цитирования: Талалаева В. Ф., Баев О. А. Результаты оценки коэффициента полезного действия необлицованных мелиоративных каналов // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 1. С. 23–42. https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-1-23-42.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Results of the evaluation of the unlined reclamation canals efficiency

© Талалаева В. Ф., Баев О. А., 2025

Viktoria F. Talalaeva[1], Oleg A. Baev[2]
[1, 2]Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation
[1]vika-silchenko@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2541-204X
[2]Oleg-Baev1@ya.ru, https://orcid.org/0000-0003-0142-4270

Abstract. **Purpose:** to estimate the efficiency of the unlined main and irrigation canals of reclamation systems, and to determine the effect of this parameter on the reduction in operational reliability and hydraulic characteristics of the canals (flow rate-velocity, filtration coefficient and roughness). **Materials and methods.** The study is based on the data obtained by the authors in the field studies of hydraulic and filtration parameters of a number of reclamation canals in the Southern and North Caucasian Federal Districts. To determine the efficiency, the classical empirical dependence of A. N. Kostyakov was used, as well as calculation formulas for determining seepage losses from continuously operating canals in an earthen channel with steady free filtration, recommended by SP 100.13330.2016. **Results.** Regulatory documents set inflated efficiency values at the level of 0.90–0.93, which are difficult to achieve in practice, especially for unlined canals. The values of the specific share of the reasons for the decrease in operational reliability that have the greatest impact on the canal efficiency were obtained. Due to the fact that this parameter is not constant for irrigation, main and distribution canals, when establishing it (or assigning it to the designed canals), it is necessary to take into account the possible limits of its change in the first years of canal operation and during their filling, when the filtration process is unsteady. **Conclusions.** Average statistical values of the efficiency for unlined and lined canals were established. The influence of flow-velocity and geometric parameters on this parameter was revealed. The main measures aimed at increasing the efficiency of unlined drainage canals were formulated.

Keywords: efficiency, reclamation canal, waterworks, seepage, water loss, roughness coefficient

For citation: Talalaeva V. F., Baev O. A. Results of the evaluation of the unlined reclamation canals efficiency. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering.* 2025;15(1):23–42. (In Russ.). https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-1-23-42.

Введение. Основной характеристикой эффективности работы всех гидротехнических сооружений мелиоративных систем является коэффициент полезного действия (КПД). Это величина безразмерная и в расчетах, как правило, обозначается величиной η.

Еще ранее в 1925 г. в работе К. Г. Ризенкампфа [1], посвященной основам ирригации, было сделано заключение: «…*К вопросу оценки КПД каналов можно подойти с весьма грубым приближением*…» [1]. Все это объясняется сложностью достоверного учета всех видов потерь воды на мелиоративной системе: на фильтрацию через дно и откосы (борта) канала; потерь «*на всасывание*» [1] (для земляных каналов), которые вызываются действием капиллярных сил; на испарение с водной поверхности; потерь,

связанных с неправильным их учетом при водораспределении; потерь, направленных на поддержание горизонтов командования и уровней воды в каналах; потерь на холостые сбросы и др.

Натурные и теоретические исследования, выполненные Б. А. Шумаковым и позднее И. А. Долгушевым [2], показали, что «*...величина потерь и показатель КПД напрямую зависит от содержания каналов, степени их зарастания, заиления, своевременности проведения эксплуатационных и уходных работ*». Так, по нашему мнению, наибольшим потерям и низкому КПД подвержены малые и средние каналы (протяженность которых на мелиоративной сети составляет порядка 85–87 %), ввиду периодичности их работы, колебания и необходимости поддержания уровней воды. Все это вызывает определенные сложности при расчете параметра КПД.

В частности, А. Н. Костяковым [3] первоначально была предложена универсальная эмпирическая формула для определения КПД (Δ, %), процента потерь расхода на 1 км длины канала [3]:

$$\Delta = \frac{A}{Q^m}, \tag{1}$$

где Q – расчетный расход воды (нетто) в канале, м^3/с.

Коэффициенты A и m принимаются для грунтов с различной проницаемостью (мало-, средне- и сильно проницаемых по справочным данным).

Необходимо отметить, что зависимость (1) дает достаточно приближенные результаты, ввиду необходимости использования различных коэффициентов, и применима лишь для однослойных оснований каналов. Другие формулы, полученные В. А. Шаумяном, В. И. Алексеевым, Б. А. Глейзером, М. И. Каплинским, в качестве основных критериев включают длину канала, расходы и коэффициенты, характеризующие процесс просачивания.

В настоящее время на практике определение КПД мелиоративных систем производится двумя основными методами: 1) экспериментальным,

основанным на данных эксплуатационной гидрометрии; 2) теоретическим (по формулам) для различных гидрогеологических условий, при наличии многослойных оснований, противофильтрационных экранов в соответствии с СП 100.13330.2016 «Мелиоративные системы и сооружения»[1].

В научной работе Ю. М. Косиченко и О. А. Баева [4] приводятся обобщенные сведения о КПД оросительных систем юга России (для магистральных и распределительных каналов), составляющих в среднем для необлицованных каналов 0,754, а для облицованных 0,870. Такие осредненные результаты в основном были получены расчетным методом и не сопоставляются с нормативными требованиями к КПД мелиоративных каналов (в частности, СП 100.13330.2016[1]).

В статье Я. В. Кокарева, Ю. М. Косиченко, А. М. Кореновского [5] рассматривается вопрос создания противофильтрационных экранов с применением бетонопленочных облицовок из геомембран как возможный и обоснованный метод повышения КПД оросительных каналов. Приводятся примеры повышения КПД ряда каналов, например, распределительного Бг-Р-7 и магистрального БСК-3. Авторы делают выводы, что за счет применения экранов из геосинтетических материалов стало возможным повысить КПД каналов до 0,979 и 0,984 соответственно.

Результаты исследований [5] не обоснованы расчетами и натурными данными, а повышение КПД до указанных достаточно высоких значений (0,97 и выше) практически невозможно на открытых оросительных каналах даже с учетом применения современных строительных материалов. При этом повышение КПД до рекомендуемых авторами значений возможно только за счет создания закрытой мелиоративной сети с использованием трубопроводов, например, из полиэтилена и других материалов.

[1]Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85: СП 100.13330.2016: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-коммун. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.16: введ. в действие с 17.06.17. М.: Изд-во стандартов, 2017. 209 с.

В работах Э. П. Пашаева, Ю. М. Косиченко, Р. С. Масного, А. В. Бреевой, Н. П. Курбатова, F. Arslan и др. [6–11] также отмечается необходимость усовершенствования методов определения КПД оросительных каналов с учетом принципов рационального водопользования и водораспределения на мелиоративной сети.

Исходя из вышеизложенного, отметим, что подходы к определению и критериальные значения КПД мелиоративных каналов по данным различных исследователей значительно отличаются, а нормативную документацию в части требований к КПД следует усовершенствовать, все это говорит об актуальности настоящего исследования.

Материалы и методы. По данным Департамента мелиорации Минсельхоза России, общая протяженность каналов мелиоративных систем, находящихся в госсобственности, составляет порядка 38684 км (из которых 23253 км – оросительные каналы и 15431 км – осушительные). Согласно данным Водной стратегии, объем потерь воды при транспортировке в Российской Федерации составляет до 8 км^3/год. Непосредственно в орошаемом земледелии теряется до 4,8 км^3/год из-за низкого технического уровня и значительной степени износа мелиоративных систем и гидротехнических сооружений [12]. Общие же потери воды, транспортируемой по каналам, составляют от 25 до 40 % [13].

Основными факторами, влияющими на процессы фильтрации воды из необлицованных земляных каналов, являются: тип и физико-механическая характеристика грунта, его однородность, мощность подстилающего основания, состав фракции и пористость, степень уплотненности, гранулометрический состав. Только исходя из этого можно заключить, что фильтрационные потери воды из мелиоративных каналов, выполненных в земляном русле, напрямую зависят от гидрогеологических свойств грунтов, а иные факторы влияют на фильтрационные потери косвенно.

На рисунке 1 обобщены иные факторы, влияющие на фильтрацион-

ные потери воды из оросительных каналов и, как следствие, КПД мелиоративной системы в целом.

Рисунок 1 – Факторы, влияющие на фильтрацию из необлицованных мелиоративных каналов, и коэффициент полезного действия
Figure 1 – Factors affecting seepage from unlined reclamation canals and efficiency

Результаты и обсуждение. Как уже было сказано ранее, наиболее значительные потери воды из каналов приходятся именно на фильтрацию, они также включают в себя потери воды при замачивании каналов и поддержании необходимых уровней воды. Величина таких потерь для необлицованных мелиоративных каналов составляет, по данным различных исследователей в области теории фильтрации, от 25 до 50 % [14, 15], что оказывает наибольшее влияние на КПД системы.

Особо следует отметить показатель зарастаемости необлицованных земляных каналов, который находится на втором месте после фильтрационных явлений, оказывает негативное влияние на КПД всей мелиоративной системы. Это обусловлено тем, что зарастание русел каналов (прежде всего откосов) повышает коэффициент шероховатости (с 0,025 до 2,0 и более по шкале Гангилье – Куттера), снижаются скорости течения, пропускная и транспортирующая способности каналов (это вызывает их заиление), увеличиваются потери воды на испарение. При этом довольно мощная корневая система влаголюбивой растительности (тростника и рогоза) значительно нарушает структуру грунтов, увеличиваются поровое пространство и, соответственно, фильтрационные характеристики. В свою очередь

зарастаемость необлицованных мелиоративных каналов вызывает необходимость их работы при форсированных режимах.

Проведенные с участием авторов натурные исследования на магистральных каналах юга России показали снижение их транспортирующей способности до 42–45 % и более в случае непроведения уходных работ, направленных на борьбу с водной растительностью в руслах.

Отметим, что экспериментальный метод исследования имеет определенные недостатки, связанные с неточностью определения значений КПД мелиоративных каналов, это в большей степени связано с невозможностью точного учета потерь воды на испарение из открытых каналов.

Преимущество теоретического метода заключается в простоте расчета при минимальных исходных данных, получаемых в процессе натурных исследований (замеров геометрических параметров каналов и др.). В то же время такой метод характеризуется достаточно низкой точностью, ввиду принятия осредненных табличных данных о коэффициентах A и m, а также изменяющихся в процессе эксплуатации каналов уровней воды.

На рисунке 2 представлены обобщенные значения КПД мелиоративных каналов юга России (по данным эксплуатационных организаций).

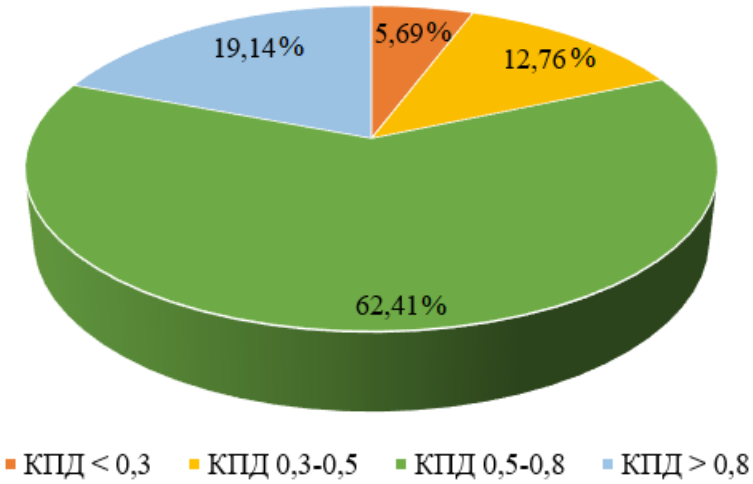


Рисунок 2 – Средние значения коэффициентов полезного действия мелиоративных каналов юга России

Figure 2 – Average values of reclamation canals efficiency in the south of Russia

В соответствии с требованиями нормативной документации[1] КПД мелиоративных каналов должен составлять от 0,90 до 0,93, что, по нашему мнению, является довольно завешенным показателем (особенно для необлицованных земляных магистральных каналов), а для оросителей (в т. ч. временных) КПД должен находиться в пределах 0,93, но они в подавляющем большинстве трассируются в земляном русле без проведения простейших противофильтрационных мероприятий, таких как уплотнение грунта, устройство глиняного экрана и др.

Наглядным примером повышения эффективности земляных необлицованных каналов при их длительной эксплуатации с течением времени является Каракумский канал протяженностью 1445 км, полностью протрассированный в земляном русле. В первые годы эксплуатации канала КПД варьировался в пределах 0,25–0,28, и за десятки лет за счет кольматации русла наносами данный показатель достиг значений 0,72–0,78. То есть исходя из этого можно сделать вывод, что показатель КПД каналов является величиной непостоянной, которая меняется не только с течением времени, но и в зависимости от сезона эксплуатации, испытывает влияние ряда различных факторов (в т. ч. и мутности водного потока, протекающего по руслу канала).

Необходимо отметить, что ранее проектирование мелиоративных каналов осуществлялось без должного научного обоснования и в условиях отсутствия недорогих и в то же время эффективных конструктивно-технических решений, позволяющих исключать потери воды на фильтрацию, это в последующем привело к большим потерям воды на каналах, значимо снижающим их эффективность и КПД.

При своевременном проведении комплекса эксплуатационных и противофильтрационных мероприятий потери воды на фильтрацию могут быть снижены на 25–30 %, что приведет к увеличению расхода воды, подаваемой по оросительным системам, росту площади земель, которые мо-

гут быть мелиорируемы за счет сэкономленной воды, и, соответственно, повышению урожайности [16].

В то же время потери воды при фильтрации из каналов гидромелиоративных систем зависят и от КПД, соответственно, чем выше КПД, тем меньше потери.

Анализ и обобщение полученных различными исследователями данных [17–20] о КПД мелиоративных каналов (преимущественно оросительных и магистральных) показывают, что среднестатистическое значение такого показателя в целом не превышает 0,8. Наименьшие средние значения в основном приводятся для крупных необлицованных длительно эксплуатируемых каналов, выполненных в сильно либо среднепроницаемых грунтах. На рисунке 3 представлены сведения о КПД мелиоративных каналов с учетом данных, полученных различными учеными, и Минсельхоза России за 2022 г.

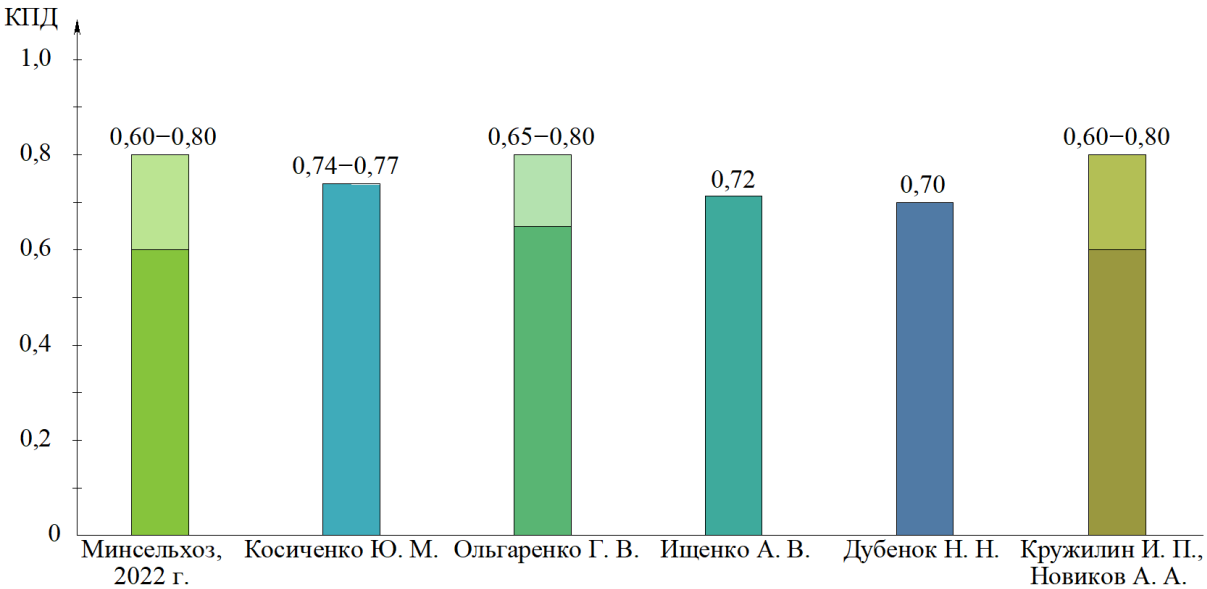


Рисунок 3 – Сведения о коэффициентах полезного действия мелиоративных каналов по данным различных ученых

Figure 3 – Information on the efficiency of reclamation canals according to data from various scientists

Проявление аварийных ситуаций и различного рода негативных явлений чаще присуще необлицованным земляным каналам (рисунок 4).

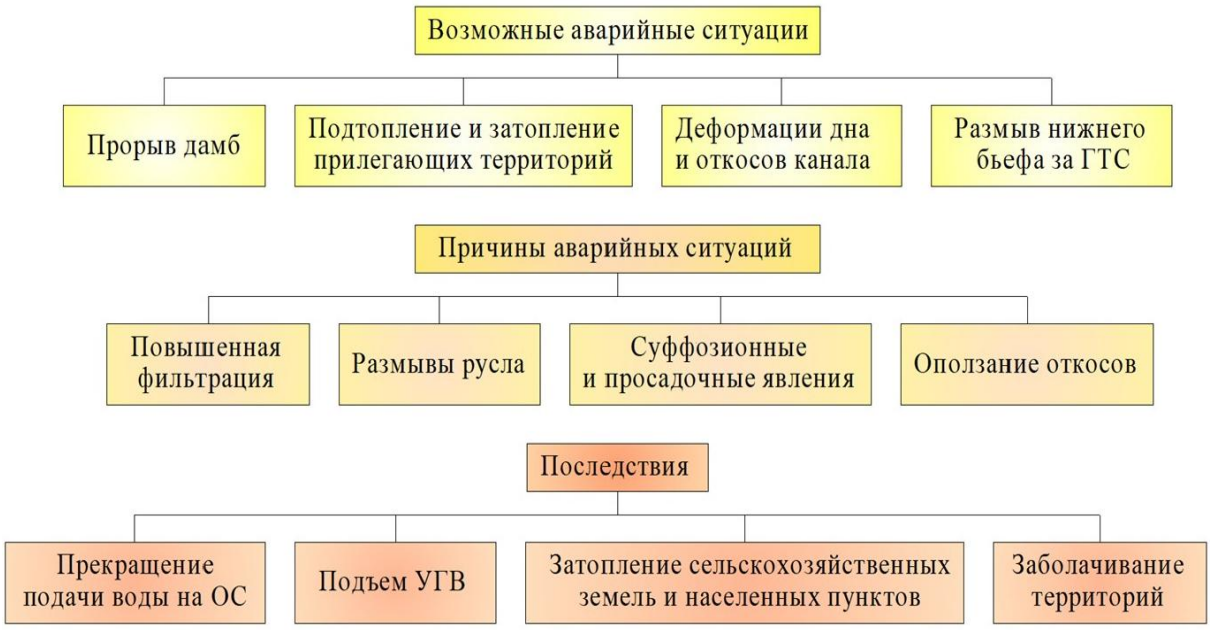


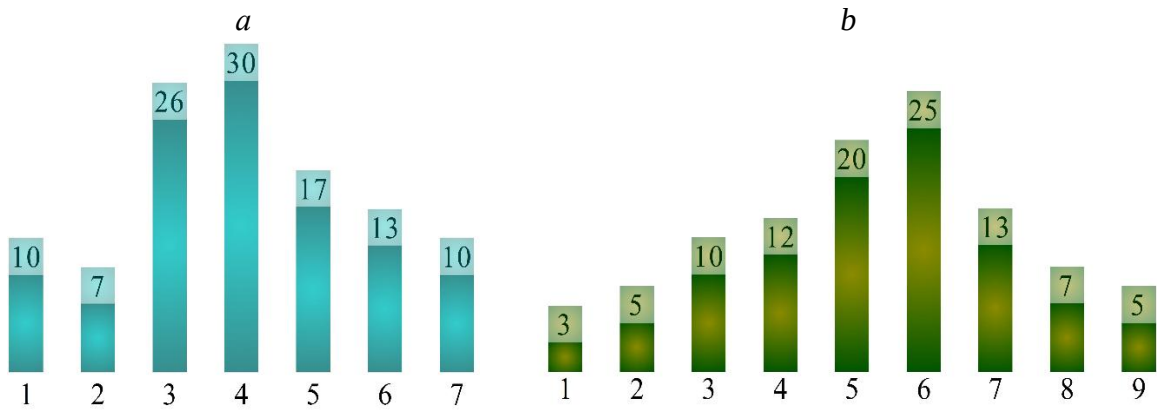
Рисунок 4 – Возможные аварийные ситуации, причины и их последствия при эксплуатации каналов в земляном русле

Figure 4 – Possible emergency situations, causes and their consequences during the canal operation in an earthen bed

По результатам выполненных натурных (визуальных и инструментальных) исследований путем обобщения данных о техническом состоянии мелиоративных каналов были получены значения удельного веса причин снижения эксплуатационной надежности каналов (рисунок 5).

В таблице 1 представлены обобщенные сведения о технических характеристиках каналов гидромелиоративных систем (с учетом работы Ю. М. Косиченко [20]), в т. ч. данные о протяженности каналов, расходах воды и КПД (проектном и фактическом значении, полученном по результатам расчета и натурных исследований).

При выполнении исследований в натурных условиях с использованием гидрометрического оборудования, а также по результатам определения коэффициентов шероховатости различных русел каналов было выявлено влияние расходно-скоростных и геометрических параметров (протяженности и коэффициента шероховатости) на КПД (рисунок 6).



a – каналы в земляном русле: *1* – прорыв бортов канала; *2* – несогласованность транспортирующей способности; *3* – фильтрация; *4* – деформация ложа из-за суффозионных, просадочных, оползневых явлений; *5* – зарастание растительностью; *6* – заиление; *7* – размывы

b – облицованные каналы: *1* – выпирание бетонных плит; *2* – трещинообразование бетона; *3* – заиление; *4* – подмыв и деформация плит; *5* – разрушение деформационных и температурных швов; *6* – повреждаемость экранов; *7* – зарастание растительностью; *8* – оползание защитного слоя; *9* – разрушение облицовок растительностью

a – earth channel: *1* – channel side breakthrough; *2* – inconsistency of carrying capacity; *3* – filtration (seepage); *4* – bed deformation due to suffusion, collapsible and landslide phenomena; *5* – overgrowing with vegetation; *6* – siltation; *7* – scours

b – lined channels: *1* – concrete slab bulging; *2* – concrete cracking; *3* – siltation; *4* – erosion and deformation of slabs; *5* – destruction of control and expansion joints; *6* – screen damage; *7* – overgrowing with vegetation; *8* – sliding of protective layer; *9* – destruction of linings by vegetation

Рисунок 5 – Удельный вес причин снижения эксплуатационной надежности каналов мелиоративных систем (%)

Figure 5 – The share of reasons for decreasing operational reliability of reclamation canals (%)

Таблица 1 – Сведения об оросительных и магистральных каналах и их технических характеристиках

Table 1 – Information on irrigation and main canals and their technical characteristics

Наименование системы	Наименование канала	Протяженность*, км	Пропускная способность*, м^3/с	Тип русла	КПД*	*n***
1	2	3	4	5	6	7
Сулу-Чубутлинская	Сулу-Чубутла	135	12,5	Земляное	0,6	0,0374
Черноземельская	Чограйский сбросной	126	10,3	Земляное	0,3	0,0365
Сарпинская	Р-1	114,6	5,0	Земляное	0,62	0,0382
Верхне-Сальская	Верхне-Сальский	98,8	30,0	Земляное	0,7	0,0310
Баксанская	Баксан-Малка	27,2	40,0	Земляное	0,77	0,0270

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5	6	7
Право-Егорлыкская	Право-Егорлыкский	126,3	45,0	Частично облицованное	0,7	0,0227
Кумо-Манычская	Кумо-Манычский	96,2	60,0	Частично облицованное	0,82	0,0268
Прикаспийская	МК Прикаспийской ООС	111,5	30,0	Земляное	0,6	0,0317
Право-Егорлыкская	Невинномысский	55,0	75,0	Земляное	0,95	0,0225
Пролетарская	Пролетарский	83,4	54,0	Частично облицованное	0,85	0,0236

Примечания
*По сведениям из паспорта мелиоративной системы.
**По расчетным значениям и данным, полученным Ю. М. Косиченко, О. А. Баевым [4, 21].

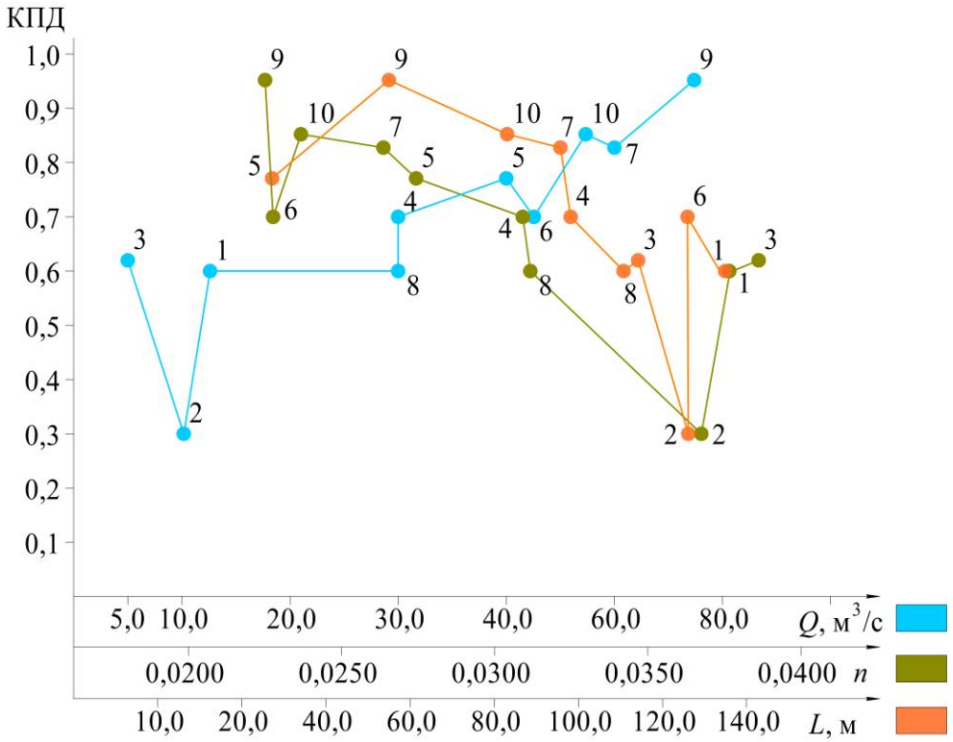
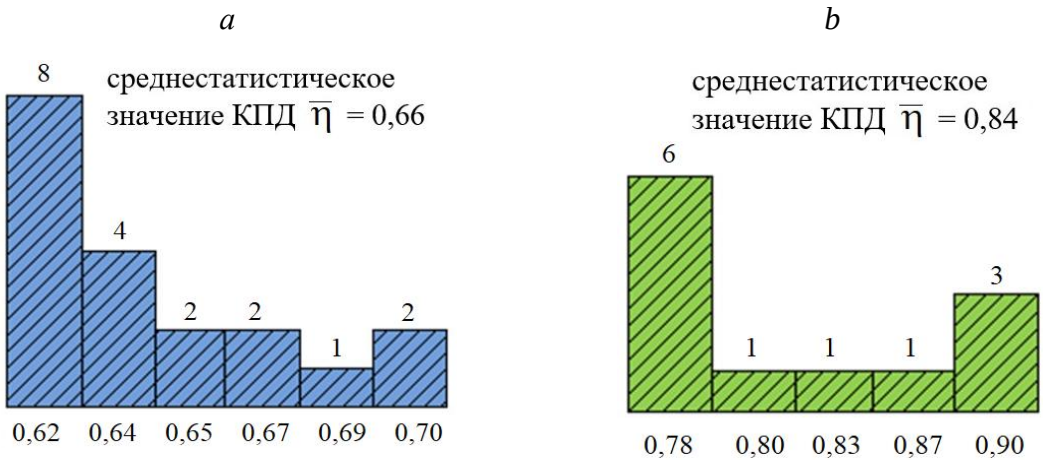


Рисунок 6 – Графики зависимости коэффициентов полезного действия от расходно-скоростных и геометрических параметров рассматриваемых каналов: расхода *Q*, коэффициента шероховатости *n*, длины *L*

Figure 6 – Graphs of the dependence of the efficiency coefficients on the flow-speed and geometric parameters of the channels under consideration: flow rate *Q*, roughness coefficient *n*, length *L*

По результатам анализа и обобщения сведений о КПД мелиоративных каналов, полученных в натурных условиях, расчетным и аналитическим методом, с учетом сведений, представленных эксплуатационными организациями на информационном портале ФГБНУ ВНИИ «Радуга», были получены среднестатистические значения КПД каналов (преимущественно оросительных и магистральных) гидромелиоративных систем (рисунок 7).



a – необлицованные; *b* – облицованные

a – unlined; *b* – lined

Рисунок 7 – Среднестатистические данные о коэффициентах полезного действия каналов, полученные по результатам расчетов и натурных исследований

Figure 7 – Average statistical data on channels efficiency, obtained from the results of calculations and field studies

На основании выполненного анализа сведений о КПД, проведенных натурных исследований на оросительных и магистральных каналах, направленных на определение КПД в натурных условиях, а также выполненных расчетов сформулированы основные мероприятия, направленные на повышение КПД мелиоративных каналов.

1 Своевременное проведение планово-предупредительных, ремонтных и уходных работ, в т. ч. очистка каналов от наносов, водной и древесной растительности.

2 Оснащение каналов мелиоративных систем средствами водоучета и автоматизации водораспределения [22, 23].

3 Снижение потерь воды на фильтрацию за счет создания противофильтрационных экранов, что позволит повысить КПД до нормативных (регламентированных СП 100.13330.2016[1]) значений 0,90–0,93.

4 Создание закрытой оросительной сети из полимерных труб большого диаметра на участках каналов с расходами воды до 25 м^3/с, что позволит исключить потери воды на испарение и фильтрацию, повысить КПД до нормативных значений (регламентированных СП 100.13330.2016[1]) 0,93–0,95.

5 Применение водосберегающих технологий орошения и принципов рационального водопользования, в частности, внедрение капельного полива сельскохозяйственных культур.

6 Поддержание в нормативном состоянии межхозяйственной и внутрихозяйственной сети, а также всех гидротехнических сооружений, обеспечивающих функционирование каналов.

7 При эксплуатации каналов необходимо обеспечить: необходимую пропускную способность, надежное регулирование уровней и расходов воды, безотказную работу запорно-регулирующих устройств, эффективное гашение потока [24] в нижнем бьефе сопрягающих гидротехнических сооружений.

Выводы

1 Ввиду длительной эксплуатации (45–50 лет и более) подавляющего большинства мелиоративных каналов они характеризуются неудовлетворительным техническим состояниям, что в главной мере влияет на значения КПД мелиоративных систем в целом. В то же время отметим, что КПД оросительных, магистральных и распределительных каналов является величиной непостоянной, следовательно, при его установлении (или назначении для проектируемых каналов) необходимо учитывать возможные пределы его изменения, особенно в первые годы эксплуатации каналов и отдельно при их заполнении, когда процесс фильтрации является неустановившимся.

2 Совершенно так же очевидно, что значения КПД каналов будут изменяться не только за период эксплуатации системы, но и в течение каждого эксплуатационного сезона (например, весной или летом). Во время наиболее интенсивной работы мелиоративной системы летом наблюдается незначительное колебание смоченной поверхности каналов, соответственно, процесс фильтрации является установившимся и объемы фильтрационных потерь уменьшаются. КПД достигает своей максимальной величины именно в период полной работы системы, когда каналы работают в режиме максимальной пропускной способности (без резкого колебания уровней воды). В то же время уменьшаются потери при водораспределении, так как нет необходимости постоянно изменять (или поддерживать) высокий горизонт воды в каналах.

3 Полученные обобщенные данные о среднестатистических параметрах КПД земляных (необлицованных) мелиоративных каналов (преимущественно магистральных и оросительных) находятся в пределах 0,66. Установлено влияние пропускаемых по каналам расходов, протяженности и параметров гидравлической шероховатости русел необлицованных каналов на КПД.

4 Несомненно, значения КПД многих каналов могут быть существенно увеличены за счет создания противофильтрационных экранов (для каналов открытого поперечного сечения) или перевода мелиоративной сети в закрытое русло, что позволит практически полностью исключить потери воды на фильтрацию. Потери воды на испарение из мелиоративных каналов, как правило, невелики и, по данным исследований А. Н. Костякова, К. Г. Ризенкампфа и авторским расчетам, колеблются в пределах 3–5 % в зависимости от параметров каналов (их глубины, скорости течения, климатических условий и др.). Такие незначительные показатели испаряемости из открытых каналов объясняются относительно небольшой площадью их зеркала. В регионах с жарким климатом (например, в Республике Кал-

мыкия и др.) потери воды на испарение из каналов могут достигать значений 8–12 % и более.

Список источников

1. Ризенкампф Г. К. Основы ирригации. Т. 1. Л.: 2-я тип. Транспечати НКПС им. тов. Лоханкова, 1925. 604 с.

2. Долгушев И. А. Повышение эксплуатационной надежности оросительных каналов. М.: Колос, 1975. 135 с.

3. Костяков А. Н. Основы мелиораций. М.: Сельхозгиз, 1951. 750 с.

4. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Гидравлическая эффективность оросительных каналов при эксплуатации // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 8. С. 1147–1162. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1147-1162. EDN: OUXBGA.

5. Кокарев Я. В., Косиченко Ю. М., Кореновский А. М. Способы строительства противофильтрационных облицовок на каналах оросительных систем // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. Новочеркасск, 2014. № 54. С. 27–37. EDN: SZOHGJ.

6. Пашаев Э. П. Еще раз о коэффициенте полезного действия (КПД) оросительных систем // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 120–122. EDN: ZCHSTD.

7. Косиченко Ю. М., Иовчу Ю. И., Косиченко М. Ю. Вероятностная модель эксплуатационной надежности крупных каналов // Гидротехническое строительство. 2007. № 12. С. 39–45. EDN: ICBTGN.

8. Масный Р. С., Сенчуков Г. А., Абраменко И. П. Актуальные вопросы эффективности водопользования в мелиоративном комплексе современной России // Экология и водное хозяйство. 2023. Т. 5, № 2. С. 1–13. DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-2-1-13. EDN: ZPPDFK.

9. Бреева А. В., Кузьмичев А. А. Оценка эффективности водораспределения на мелиоративных системах // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия [Электронный ресурс]. 2024. Т. 93, № 2. С. 106–115. URL: https:www.rosniipm-sm1.ru/article?n=293 (дата обращения: 15.01.2025). EDN: AKDXQM.

10. Курбатов Н. П. Оценка эффективности работы мелиоративного канала // Научный альманах. 2020. № 11-3(73). С. 51–54. EDN: DSZZVK.

11. Arslan F., Zema D. A. Performance indicators for improving irrigation management in Aegean district // Black Sea Journal of Agriculture. 2024. Vol. 7(6). P. 703–709. DOI: 10.47115/bsagriculture.1533322. EDN: ZUDJEK.

12. Бакланова Д. В., Колганов А. В., Баев О. А. Расчетное исследование потерь воды из необлицованных каналов с учетом геолого-почвенных особенностей севера Калмыкии // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 2. С. 281–298. URL: https:rosniipm-sm.ru/article?n=1368 (дата обращения: 15.01.2025). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-281-298. EDN: GHWJXC.

13. Доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2020 году». М.: Росводресурсы, НИА-Природа, 2022. 510 с.

14. Кизяев Б. М., Исаева С. Д. К решению проблемы водообеспечения регионов России в условиях аридизации климата // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 29–30 марта 2016 г. М.: ВНИИ агрохимии, 2016. С. 9–17. EDN: WZOUCL.

15. Грунтовые воды и их влияние на водообеспеченность орошаемых земель / Е. Д. Жапаркулова, К. А. Анзельм, Н. Р. Бекбаев, К. Курмашев // Мелиорация и водное хо-

зяйство: проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 29–30 марта 2016 г. Москва: ВНИИ агрохимии, 2016. С. 222–225. EDN: WZOVBV.

16. Wahyuni A., Sujono J., Istiarto. Evaluation of irrigation channels in the dry season at Dadahup swamp irrigation area to strengthen food security // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2024. Vol. 1311. 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/1311/1/012046. EDN: LHYNMV.

17. Эффективность использования водных ресурсов в орошаемом земледелии / Н. Н. Дубенок, Д. А. Болотин, А. А. Новиков, А. Г. Болотин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3(51). С. 83–90. EDN: YQTCPB.

18. Методика определения нормативных затрат на эксплуатацию гидромелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений: науч.-метод. изд. / Г. В. Ольгаренко, В. Н. Краснощеков, Т. А. Капустина, М. П. Замаховский, О. Ю. Гришаева, В. В. Муравлева; под ред. Г. В. Ольгаренко. М.: Русайнс, 2022. 282 с. EDN: ANLERF.

19. Баев О. А. Расчеты установившейся свободной фильтрации из необлицованных каналов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 227–243. URL: https:rosniipm-sm.ru/article?n=1303 (дата обращения: 15.01.2025). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-227-243. EDN: TGXTOJ.

20. Косиченко Ю. М. Исследования фильтрационных потерь из каналов оросительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 6. С. 24–25. EDN: HYKQON.

21. Косиченко Ю. М. Обобщение данных по шероховатости русел каналов в земляном русле и облицовке // Экология и водное хозяйство. 2020. № 2(5). С. 155–168. DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-155-168. EDN: VYYGVM.

22. Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 1–23. URL: https:rosniipm-sm.ru/article?n=1192 (дата обращения: 15.01.2025). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23. EDN: NTRFMJ.

23. Ткачев А. А. Расчет переходных процессов в бьефах магистрального канала при различных схемах регулирования для способа активного управления водораспределением // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2011. № 3(161). С. 86–90. EDN: MMDQTO.

24. Курбанов С. О., Ханов Н. В. Основы оптимизации полигональных сечений гидротехнических каналов // Гидротехническое строительство. 2008. № 12. С. 27–31. EDN: JWCMZJ.

References

1. Riesenkampf G.K., 1925. *Osnovy melioratsiy* [Fundamentals of Irrigation]. Vol. 1, Leningrad, 2nd typography of Transprint NKPS named by Lokhankov, 604 p. (In Russian).

2. Dolgushev I.A., 1975. *Povyshenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti orositel'nykh kanalov* [Improving the Operational Reliability of Irrigation Canals]. Moscow, Kolos Publ., 135 p. (In Russian).

3. Kostyakov A.N., 1951. *Osnovy melioratsiy* [Fundamentals of Reclamation]. Moscow, Selkhozgiz Publ., 750 p. (In Russian).

4. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2020. *Gidravlicheskaya effektivnost' orositel'nykh kanalov pri ekspluatatsii* [Hydraulic efficiency of irrigation channels in the course of operation]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], vol. 15, no. 8, pp. 1147-1162, DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1147-1162, EDN: OUXBGA. (In Russian).

5. Kokarev Ya.V., Kosichenko Yu.M., Korenovsky A.M., 2014. *Sposoby stroitel'stva protivofil'tratsionnykh oblitsovok na kanalakh orositel'nykh sistem* [Methods of construction

of anti-seepage linings on irrigation canals]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sb. nauch. tr.* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: coll. of sci. works]. Novocherkassk, vol. 54, pp. 27-37, EDN: SZOHGJ. (In Russian).

6. Pashaev E.P., 2015. *Yeshche raz o koeffitsiente poleznogo deystviya (KPD) orositel'nykh sistem* [Once more about the efficiency coefficient (EC) of irrigation systems]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of Belarusian State Agricultural Academy], no. 4, pp. 120-122, EDN: ZCHSTD. (In Russian).

7. Kosichenko Yu.M., Iovchu Yu.I., Kosichenko M.Yu., 2007. *Veroyatnostnaya model' ekspluatatsionnoy nadezhnosti krupnykh kanalov* [Probabilistic model of operational reliability of large canals]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 12, pp. 39-45, EDN: ICBTGN. (In Russian).

8. Masny R.S., Senchukov G.A., Abramenko I.P., 2023. *Aktual'nye voprosy effektivnosti vodopol'zovaniya v meliorativnom komplekse sovremennoy Rossii* [Current issues of water use efficiency in the reclamation complex of contemporary Russia]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 5, no. 2, pp. 1-13, DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-2-1-13, EDN: ZPPDFK. (In Russian).

9. Breeva A.V., Kuzmichev A.A., 2024. [Evaluation of the efficiency of water distribution in reclamation systems]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*, vol. 93, no. 2, pp. 106-115, available: https:www.rosniipm-sm1.ru/article?n=293 [accessed 15.01.2025], EDN: AKDXQM. (In Russian).

10. Kurbatov N.P., 2020. *Otsenka effektivnosti raboty meliorativnogo kanala* [Evaluation of the efficiency of the reclamation canal]. *Nauchnyy al'manakh* [Scientific Almanac], no. 11-3(73), pp. 51-54, EDN: DSZZVK. (In Russian).

11. Arslan F., Zema D.A., 2024. Performance indicators for improving irrigation management in Aegean district. Black Sea Journal of Agriculture, vol. 7(6), pp. 703-709, DOI: 10.47115/bsagriculture.1533322, EDN: ZUDJEK.

12. Baklanova D.V., Kolganov A.V., Baev O.A., 2023. [Computational study of water loss from unlined canals taking into account the geological and soil features of the North of Kalmykia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 2, pp. 281-298, available: https:rosniipm-sm.ru/article?n=1368 [accessed 15.01.2025], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-281-298, EDN: GHWJXC. (In Russian).

13. *Doklad «O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu»* [Report "On the State and Use of Water Resources of the Russian Federation in 2020"]. Moscow, Rosvodresursy, NIA-Priroda, 2022, 510 p. (In Russian).

14. Kizyaev B.M., Isaeva S.D., 2016. *K resheniyu problemy vodoobespecheniya regionov Rossii v usloviyakh aridizatsii klimata* [To solving the problem of water supply to Russian regions in the context of climate aridization]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: problemy i puti resheniya: materialy Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Land Reclamation and Water Management: Problems and Solutions: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute of Agrochemistry, pp. 9-17, EDN: WZOUCL. (In Russian).

15. Zhaparkulova E.D., Anzelm K.A., Bekbaev N.R., Kurmashev K., 2016. *Gruntovye vody i ikh vliyanie na vodoobespechennost' oroshaemykh zemel'* [Groundwater and its impact on water availability of irrigated lands]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: problemy i puti resheniya: materialy Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Land Reclamation and Water Management: Problems and Solutions: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute of Agrochemistry, pp. 222-225, EDN: WZOVBV. (In Russian).

16. Wahyuni A., Sujono J., Istiarto, 2024. Evaluation of irrigation channels in the dry season at Dadahup swamp irrigation area to strengthen food security. IOP Conference Series:

Earth and Environmental Science, vol. 1311, 012046, DOI: 10.1088/1755-1315/1311/1/012046, EDN: LHYNMV.

17. Dubenok N.N., Bolotin D.A., Novikov A.A., Bolotin A.G., 2018. *Effektivnost' ispol'zovaniya vodnykh resursov v oroshaemom zemledelii* [Efficiency of water resources use in irrigated agriculture]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(51), pp. 83-90, EDN: YQTCPB. (In Russian).

18. Olgarenko G.V., Krasnoshchekov V.N., Kapustina T.A., Zamakhovsky M.P., Grishaeva O.Yu., Muravleva V.V., 2022. *Metodika opredeleniya normativnykh zatrat na ekspluatatsiyu gidromeliorativnykh sistem i otdel'no raspolozhennykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: nauchno-metod. izd.* [Methodology for Determining the Standard Costs of Operating Irrigation and Drainage Systems and Separately Located Hydraulic Structures: scientific and methodological ed.]. Moscow, Rusains Publ., 282 p., EDN: ANLERF. (In Russian).

19. Baev O.A., 2022. [Calculations of steady free seepage from unlined canals]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 227-243, available: https:rosniipm-sm.ru/article?n=1303 [accessed 15.01.2025], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-227-243, EDN: TGXTOJ. (In Russian).

20. Kosichenko Yu.M., 2006. *Issledovaniya fil'tratsionnykh poter' iz kanalov orositel'nykh sistem* [Research of filtration losses from canals of irrigation systems]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 24-25, EDN: HYKQON. (In Russian).

21. Kosichenko Yu.M., 2020. *Obobshchenie dannykh po sherokhovatosti rusel kanalov v zemlyanom rusle i oblitsovke* [Integrating data on the roughness of canal beds in an earthen channel and lining]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], no. 2(5), pp. 155-168, DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-155-168, EDN: VYYGVM. (In Russian).

22. Tkachev A.A., Olgarenko I.V., 2021. [Urgent problems of water distribution management in main canals of irrigation systems]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, vol. 11, no. 2, pp. 1-23, available: https:rosniipm-sm.ru/article?n=1192 [accessed 15.01.2025], DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23, EDN: NTRFMJ. (In Russian).

23. Tkachev A.A., 2011. *Raschet perekhodnykh protsessov v byefakh magistralnogo kanala pri razlichnykh skhemakh regulirovaniya dlya sposoba aktivnogo upravleniya vodoraspredeleniem* [Calculation of transients in reach of the main canal under different schemes for the regulation of the method of active management of water distribution]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences], no. 3(161), pp. 86-90, EDN: MMDQTO. (In Russian).

24. Kurbanov S.O., Khanov N.V., 2008. *Osnovy optimizatsii poligonal'nykh secheniy gidrotekhnicheskikh kanalov* [Fundamentals of optimization of polygonal sections of hydraulic canals]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 12, pp. 27-31, EDN: JWCMZJ. (In Russian).

Информация об авторах

В. Ф. Талалаева – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, vika-silchenko@mail.ru, AuthorID: 988798, ORCID: 0000-0002-2541-204X;

О. А. Баев – ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, Oleg-Baev1@ya.ru, AuthorID: 699695, ORCID: 0000-0003-0142-4270.

Information about the authors

V. F. Talalaeva – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement

Problems, Novocherkassk, Russian Federation, vika-silchenko@mail.ru, AuthorID: 988798, ORCID: 0000-0002-2541-204X;
O. A. Baev – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, OlegBaev1@ya.ru, AuthorID: 699695, ORCID: 0000-0003-0142-4270.

Вклад авторов: В. Ф. Талалаева – получены новые сведения по КПД каналов, выполнены расчеты, построены графики, сформулированы выводы. О. А. Баев – сформулирована концепция статьи, поставлены задачи по определению КПД в натурных условиях, проанализированы методы оценки.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.
Contribution of the authors: V. F. Talalaeva – obtained new information on the efficiency of channels, performed calculations, constructed graphs, formulated conclusions. O. A. Baev – formulated the concept of the article, set tasks for determining the efficiency in natural conditions, analyzed the evaluation methods.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.01.2025; одобрена после рецензирования 13.02.2025; принята к публикации 14.03.2025.
The article was submitted 20.01.2025; approved after reviewing 13.02.2025; accepted for publication 14.03.2025.