

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,  
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 626.826

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-390-402

**Теоретические исследования фильтрации из оросительных каналов**

**Фярид Кинжаевич Абдразаков<sup>1</sup>, Ольга Валентиновна Михеева<sup>2</sup>,  
Елена Николаевна Миркина<sup>3</sup>, Андрей Алексеевич Рукавишников<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация

<sup>1</sup>abdrzakov.fk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>

<sup>2</sup>omuk@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7375-0281>

<sup>3</sup>docentmirkina@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3867-1937>

<sup>4</sup>andreirukavishn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>

**Аннотация. Цель:** теоретический анализ фильтрационных потерь из оросительных каналов при применении противofильтрационных материалов. **Материалы и методы.** Базировались на теоретической составляющей исследований таких ученых, как С. Ф. Аверьянов, А. Н. Костяков, Г. К. Ризенкамф, В. Н. Лазовой, А. П. Васильченко, М. С. Вызго и др. Рассматривалась фильтрация при использовании традиционных способов облицовки оросительных каналов, а также через естественный грунт. В работе показаны гидравлические методы расчета потерь воды на фильтрацию, приведены формулы для расчета защитного (противofильтрационного) слоя из местных (грунтовых) материалов. Отмечена необходимость использования химических способов уменьшения потерь воды из каналов. В качестве основных методов исследования использовали методы формализации и обобщения. **Результаты.** Даны сведения о возможном снижении потерь воды из канала и корреляции между показателями фильтрационных потерь и коэффициента фильтрации. В работе приводится сравнительный расчет потерь по двум методикам, с учетом толщины противofильтрационного слоя, а также наличия и отсутствия облицовки. **Выводы.** Поддерживать эффективное функционирование оросительных каналов возможно только при применении современных облицовочных материалов и своевременном их обслуживании. Большой выбор и доступность облицовочных материалов обеспечивают возможность повышения эффективности транспортировки водных ресурсов практически в том же объеме и без потерь. Основные преимущества современных облицовок заключаются в том, что они намного экономичнее и нацелены на исключение потерь оросительной воды.

**Ключевые слова:** оросительные каналы, фильтрация, оросительная система, противofильтрационные материалы, строительство и реконструкция

**Для цитирования:** Теоретические исследования фильтрации из оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, О. В. Михеева, Е. Н. Миркина, А. А. Рукавишников // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 390–402. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-390-402>.

HYDRAULIC ENGINEERING,  
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Theoretical studies of filtration from irrigation channels**



**Fyarid K. Abdrazakov<sup>1</sup>, Olga V. Mikheeva<sup>2</sup>, Elena N. Mirkina<sup>3</sup>,  
Andrey A. Rukavishnikov<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after  
N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

<sup>1</sup>abdrazakov.fk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>

<sup>2</sup>omuk@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7375-0281>

<sup>3</sup>docentmirkina@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3867-1937>

<sup>4</sup>andreirukavishn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>

**Abstract. Purpose:** theoretical analysis of filtration losses in irrigation channels when using impervious materials. **Materials and methods.** The study is based on the theoretical component of the research of such scientists as S. F. Averyanov, A. N. Kostyakov, G. K. Rizenkampf, V. N. Lazovoy, A. P. Vasilchenko, M. S. Vyzgo and others. Filtration was considered using traditional methods of lining irrigation canals, as well as through natural soil. The hydraulic methods for calculating water filtration losses are described, and the formulas for calculating the protective (impervious) layer from local (ground) materials are provided. The need to use chemical methods to reduce water losses from channels is noted. Formalization and generalization were the main research methods. **Results.** Information on possible reduction of water losses from the channel and the correlation between the indicators of filtration losses and the filtration coefficient is given. A comparative calculation of losses by two methods, taking into account the impervious layer thickness, as well as the presence or absence of lining is provided. **Conclusions.** Maintaining the efficient operation of irrigation channels is possible only with the use of modern lining materials and their timely maintenance. A large selection and availability of lining materials provides the possibility of increasing the efficiency of water transportation in almost the same volume and without losses. The main advantages of modern linings are that they are much more economical and are aimed at eliminating the irrigation water losses.

**Keywords:** irrigation channels, filtration, irrigation system, impervious materials, construction and reconstruction

**For citation:** Abdrazakov F. K., Mikheeva O. V., Mirkina E. N., Rukavishnikov A. A. Theoretical studies of filtration from irrigation channels. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(4):390–402. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-390-402>.

**Введение.** В зависимости от уровня грунтовых вод формируется фильтрационный поток из каналов оросительной системы. Капиллярная кайма при низком уровне грунтовых вод не достигает дна канала, в соответствии с этим фильтрация происходит в неувлажненный грунт. Если капиллярная кайма достигает поверхности земли, при сравнительно небольшой глубине грунтовых вод фильтрация из канала будет происходить во влажный грунт. С. Ф. Аверьянов в своих работах отмечал три стадии фильтрации (рисунок 1) [1].

В работах А. Н. Костякова, Г. К. Ризенкампа, В. Н. Лазового, А. П. Васильченко выделяют два вида фильтрации: с подпором и без подпора [1].

Стадии фильтрации из каналов по С. Ф. Аверьянову		
<b>Первая стадия</b> Первая стадия смачивания грунта характеризуется впитыванием воды из канала в сухой грунт и отсутствием связи между опускающимся из канала фильтрационным потоком и бассейном грунтовых вод. Вода в основном движется в вертикальном направлении.	<b>Вторая стадия</b> Вторая стадия – образование капиллярно-грунтового потока – начинается с момента, когда фронт фильтрационного потока смыкается с капиллярной каймой грунтовых вод. Тогда равновесие бассейна грунтовых вод нарушается, и они приходят в движение.	<b>Третья стадия</b> Третья стадия – сплошной поток грунтовых вод. В этом случае возможны три основных способа расходования грунтовой воды: на повышение уровня грунтовых вод, на подземный отток, на испарение и транспирацию. Обычно наблюдается совместное действие всех трех факторов.

**Рисунок 1 – Стадии фильтрации из оросительного канала**  
**Figure 1 – Filtration stages from an irrigation channel**

Для каналов в земляном русле процесс перехода от свободной фильтрации к подпертой занимает несколько суток или недель. Фильтрация переходит в подпертое состояние в тот момент, когда уровень грунтовых вод соединяется с фронтом поверхностного смачивания. В соответствии с этим фильтрационные потери со временем снижаются, при этом оставаясь значительными [1].

Для облицованных каналов ситуация обстоит немного иначе, при этом сохраняются две фазы: фаза аэрации и подъем грунтовых вод под каналом. Свободная фильтрация также сохраняется до тех пор, пока уровень грунтовых вод не достигнет дна канала, после этого фильтрация становится подпертой. Величина потерь зависит от проницаемости облицовки канала [2].

Целью исследования является теоретический анализ фильтрационных потерь из оросительных каналов при применении противифльтрационных материалов.

**Материалы и методы.** Остановимся на гидравлическом расчете потерь через защитный слой из грунта с коэффициентом фильтрации ( $K_c$ ) меньшим, чем коэффициент фильтрации основного грунта ( $K$ ).

Из-за значительной разницы между  $K_c$  и  $K$  непосредственно за проти-

вофильтрационным слоем не будет полного заполнения водой пор грунта, и, более того, в грунте под этим слоем давление будет приближаться (равно) к атмосферному (считаем возможным не учитывать капиллярный отсос). Тогда при принятом направлении осей координат  $z$  и  $\chi$  будем иметь на смоченном периметре напорную функцию, равную  $\varphi_0 = 0$ , а на другой поверхности противофильтрационного слоя (со стороны грунта) на откосе  $m$  [3]:

$$\varphi_c = -\left(z + \frac{m\delta}{\sqrt{1+m^2}}\right), \quad (1)$$

и на дне  $h$ :

$$\varphi_c = -(h + \delta). \quad (2)$$

Будем также считать, что противофильтрационный слой имеет по всему контуру одинаковую толщину  $\delta$ . Тогда гидравлический градиент в любом месте равен [3]:

$$I = \frac{\Delta\varphi}{\delta} = \frac{\varphi_0 - \varphi_c}{\delta}. \quad (3)$$

Расход воды при фильтрации через элементарную площадку  $d\chi L$  равен  $dQ_{\phi.} = K_c I d\chi L$ , а расход через весь контур (периметр) равен при расстоянии ( $L = 1$  м) [3]:

$$Q_{\phi.} = \int_{\chi} dQ_{\phi.} = \frac{K_c}{\delta} \int_{\chi} (\varphi_0 - \varphi_c) d\chi. \quad (4)$$

Рассмотрим трапециевидальное сечение канала. Фильтрация через дно канала при его ширине ( $b$ , м):

$$Q_{\phi.д.} = 2 \frac{K_c}{\delta} \int_0^{b/2} (h + \delta) db = \frac{K_c b}{\delta} (h + \delta). \quad (5)$$

Здесь  $\varphi_0 - \varphi_c = h + \delta = \text{const}$  и  $d\chi = db$ .

Фильтрация через откосы [3]:

$$Q_{\phi.о.} = 2 \frac{K_c}{\delta} \int_{z=0}^{z=h} \sqrt{1+m^2} \left(z + \frac{m\delta}{\sqrt{1+m^2}}\right) dz = \frac{2K_c \sqrt{1+m^2}}{\delta} \left(\frac{h^2}{2} + \frac{mbh}{\sqrt{1+m^2}}\right) \quad (6)$$

или

$$Q_{\text{ф.о.}} = \frac{2K_c h \sqrt{1+m^2}}{\delta} \left( \frac{h}{2} + y \right), \quad (7)$$

так как здесь  $d\chi = dz\sqrt{1+m^2}$  и  $y = \frac{m\delta}{\sqrt{1+m^2}}$ .

Весь расход равен (на 1 м длины канала при ширине по урезу воды,  $B$ , м) [3]:

$$Q_{\text{ф.}} = K_c \left[ \frac{b(h+\delta)}{\delta} + 2h\sqrt{1+m^2} \left( \frac{h}{2\delta} + \frac{y}{\delta} \right) \right] = K_c \left[ B + \frac{h}{2\delta} (b + \chi) \right]. \quad (8)$$

Для расчета фильтрации через заcolmатированный слой можно пользоваться формулой:

$$Q_{\text{ф.}} = \frac{K_c}{\delta} \left[ (h + \delta + h_v)b + 2h\sqrt{1+m^2} \left( \frac{h}{2} + \delta + h_v \right) \right], \quad (9)$$

где  $h_v$  – вакуум в основании заcolmатированного слоя, величина которого принимается равной высоте капиллярного поднятия  $h_k$  заcolmатированного грунта (для песчаных грунтов  $h_k = 0,4 \dots 0,6$  м).

Фильтрация из заcolmатированных каналов не зависит от положения уровня грунтовых вод, если последний находится на глубине  $t$  большей, чем двойная высота капиллярного поднятия ( $t \geq 2h_v$ ). В этих случаях формула имеет вид:

$$Q_{\text{ф.}} = \frac{K_c}{\delta} \left[ (h + \delta)b + 2h\sqrt{1+m^2} \left( \frac{h}{2} + \delta \right) \right]. \quad (10)$$

Как видим, эта формула отличается от выведенной выше формулы тем, что в нее вместо величины  $y$  включена величина  $\delta$ , м. Если величина  $y$  мала (при условии  $0,5h \cdot 0,5A$ ), а это возможно при крутых откосах), то наша формула приобретает вид:

$$Q_{\text{ф.}} = K_c \left[ \frac{b(h+\delta)}{\delta} + \frac{h^2\sqrt{1+m^2}}{\delta} \right]. \quad (11)$$

Эти формулы позволяют найти толщину слоя  $\delta$  и коэффициент фильтрации слоя  $K_c$  в целях получения желаемого эффекта – защиты от фильтрации в естественный грунт, коэффициент фильтрации которого в  $n$  раз больше, чем для слоя, т. е.  $\frac{K}{K_c} = n$ .

**Результаты и обсуждение.** Гидравлический расчет показывает, что вполне реально достижимо уменьшение потерь на фильтрацию во столько же раз, во сколько раз уменьшен коэффициент фильтрации  $K_c$ . Это видно непосредственно из формулы [4]:

$$Q_{\phi.} = K_c \int_x \frac{\Delta\varphi \cdot d\chi}{\delta}. \quad (12)$$

В таблице 1 приведен расчет для канала трапецеидального сечения с шириной по дну  $b = 5,0$  м,  $h = 1,0$  м,  $m = 1,5$  при различных  $\delta$  и при постоянном коэффициенте фильтрации  $K_c$ .

**Таблица 1 – Расчет потерь из канала трапецеидального сечения**  
**Table 1 – Calculation of losses from a trapezoidal cross-section channel**

Толщина противofильтрационного слоя $\delta$ , см	$Q_{\phi.}, K_c$ по формуле (4)	По Аравину
2	345	408
5	141	168
10	73	88
15	50	62
50	18	24

Приведем сравнение расхода воды на фильтрацию из этого канала без облицовки при водопроницаемом слое на глубине  $t = 3$  м, считая грунт, имеющий коэффициент фильтрации  $K = 0,2$  м/сут =  $0,00023$  см/с =  $0,0000023$  м/с, и с облицовкой противofильтрационным слоем с коэффициентом фильтрации  $K_c = 0,1 K$  (оптимальная смесь того же грунта с добавкой глины, уплотненная вибратором). Данные приводим на 1000 м длины канала. Влияние капиллярных сил будем считать одинаковым в обоих случаях, поэтому его в расчеты не вводим.

Без противодиффузионного слоя находим  $Q_{\phi.} = 0,025 \text{ м}^3/\text{с}$  (100 %).

С противодиффузионным слоем толщиной  $\delta = 0,15$   $Q_{\phi.} = 0,011 \text{ м}^3/\text{с}$  (45 %). Уменьшение составляет 55 %, или более чем в 2 раза. При слое толщиной 50 см получаем  $Q_{\phi.} = 0,004 \text{ м}^3/\text{с}$  (16 %). Уменьшение на 84 %, или более чем в 6 раз. В данном случае потери учитываем на 1 км, принимая во внимание заданные параметры канала.

Для канала сравнительно большого размера, например с расходом  $Q_{\phi.} = 50 \text{ м}^3/\text{с}$ , при  $i = 0,0001$ , с шероховатостью  $n = 0,02$ , откосами  $m = 1,0$  имеем:

- относительная ширина:  $\frac{b}{h} = \beta = 3\sqrt[4]{Q} - m = 7$ ;

- площадь живого сечения:  $\omega = (\beta + m)h^2 = 8h^2$ ;

- смоченный периметр:  $\chi = (\beta + 2\sqrt{1 + m^2})h = 9,83h$ ;

- гидравлический радиус:  $R = \omega / \chi = 0,814h$ ;

- коэффициент Шези:  $C = \frac{1}{n} R^{1/6} = 47,7h^{1/6}$ ;

- скорость течения:  $V = C\sqrt{Ri} = Q / \omega$ ;

- расход в канале:  $Q = V \cdot \omega = \omega \cdot C\sqrt{Ri} = 3,47h$ .

При расходе  $Q_{\phi.} = 50 \text{ м}^3/\text{с}$  находим глубину  $h = 2,71 \text{ м}$  и ширину по дну  $b = \beta \cdot h = 18,97 \text{ м}$ .

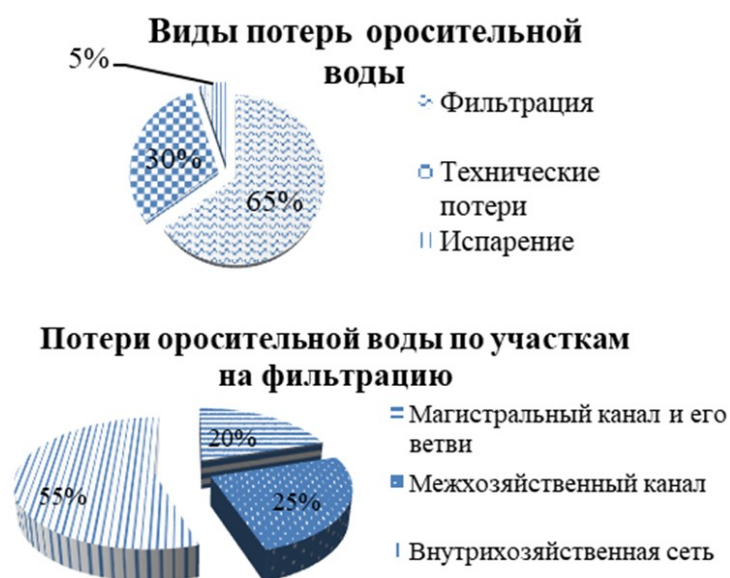
При достаточно большом расстоянии до водопоглощающего слоя, т. е. при большой величине  $t \rightarrow \infty$ , находим  $\frac{Q_{\phi.}}{KL} = \chi = 26,5 \text{ м}$ . При  $L = 1000 \text{ м}$  и  $K = 0,2 \text{ м/сут}$  потери на 1 км будут равны:  $Q_{\phi.} = 0,0116 \cdot 0,2 \times 26,5 \cong 0,062 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Эксплуатация гидротехнических сооружений, в частности мелиоративных систем, показывает, что повышение эффективности оросительных

систем напрямую связано с разработкой и внедрением мер по снижению фильтрации оросительной воды через каналы [5]. Ранее представленные виды облицовочных покрытий для каналов классифицированы в соответствии с уровнем технического прогресса в области материалов. Грунтовые противофильтрационные экраны оказываются малоэффективными в долгосрочной перспективе, так как со временем они разуплотняются и требуют регулярного конструктивного и технологического восстановления. В течение 40–50 лет эксплуатации необходимо через каждые три сезона проводить мероприятия по повторному уплотнению, что экономически нецелесообразно [6].

Применение бетонных плит и монолитного покрытия в мелиоративном строительстве стало предпосылкой для перехода на использование пленочных экранов и геомембран [7, 8]. На сегодняшний день, с учетом широкого выбора облицовочных материалов, возможно как индивидуальное, так и комплексное проведение работ по облицовке оросительных каналов в зависимости от особенностей каждого конкретного проекта.

Наиболее полные данные о потерях оросительной воды приводят ученые Ю. М. Косиченко, О. А. Баев и др. (рисунок 2) [9].



**Рисунок 2 – Потери оросительной воды по элементам системы**  
**Figure 2 – Irrigation water losses by system elements**

Для определения фильтрационных потерь в зависимости от различных условий существует много формул, представим основные из них.

При свободной фильтрации и установившемся режиме используют формулу Г. К. Ризенкампа:

$$Q = 0,0116k_{\phi}\mu \cdot (B + 2h_0), \quad (13)$$

где  $Q$  – расход воды на фильтрацию, м<sup>3</sup>/с на 1 км длины канала;

$k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации грунтов;

$\mu$  – коэффициент, зависящий от параметров канала;

$B$  – смоченный периметр канала, м;

$h_0$  – глубина наполнения канала, м.

В данном случае формула не учитывает естественные противифльтрационные свойства русла за счет кольматации, соответственно, потери будут с небольшой погрешностью [10].

Также можно использовать формулу А. Н. Костякова:

$$\sigma = \frac{A}{Q^m}, \quad (14)$$

где  $\sigma$  – процент потерь от расхода воды на 1 км длины канала;

$Q$  – расход воды нетто (расчетный расход), м<sup>3</sup>/с.

Коэффициент  $A$  и показатель степени  $m$  принимаются в зависимости от грунтов (маловодопроницаемых, средних по водопроницаемости, сильноводопроницаемых).

При свободной фильтрации и неустановившемся режиме используют следующую формулу А. Н. Костякова:

$$Q = \frac{0,0116k_1}{t^{0.5}} \cdot (b + 2\gamma\sqrt{1 + m^2})h_0, \quad (15)$$

где  $Q$  – расход воды на фильтрацию, м<sup>3</sup>/с на 1 км длины канала;

$k_1$  – коэффициент, вычисляющийся как отношение скорости поглощения грунтом воды к единице времени, м/сут;

$t$  – время запуска воды в канал, сут;

$b$  – ширина канала по дну.

$\gamma$  – капиллярная фильтрация воды в откосы;

$m$  – коэффициент заложения откосов;

$h_0$  – глубина наполнения канала, м.

Подпертую установившуюся фильтрацию можно определить по формуле Дюпюи:

$$Q = 2k_{\phi} \cdot \frac{H_0^2 - h_0^2}{2l}, \quad (16)$$

где  $Q$  – расход воды на фильтрацию, м<sup>3</sup>/с на 1 км длины канала;

$k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации грунтов;

$H_0 - h_0$  – напор, под воздействием которого происходит фильтрация, м;

$l$  – коэффициент распространения фильтрационного потока.

Расход воды на фильтрацию при неустановившемся режиме фильтрации можно определять по формулам С. Ф. Аверьянова.

**Выводы.** Мы рассмотрели теоретические аспекты расчета фильтрационных потерь воды из оросительных каналов. Величина потерь на фильтрацию для каналов, как в земляном, так и в облицованном русле, определяется в зависимости от режима работы канала и характера фильтрационного процесса. Анализ фильтрационных потерь позволил разделить их на свободные и подпертые. В каждом случае фильтрационный поток может быть как установившимся, так и неустановившимся, что связано с постоянным или переменным режимом эксплуатации канала. Полученные данные о потерях оросительной воды на фильтрацию имеют значительную теоретическую и практическую ценность, что делает их важными при проведении полевых, натурных и лабораторных исследований. Эти материалы могут стать надежной основой для последующих исследований и разработки более эффективных методов борьбы с фильтрацией.

### Список источников

1. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. М.: Колос, 1982. 237 с.
2. Абдразаков Ф. К., Рукавишников А. А. Актуальные вопросы обслуживания оросительных каналов и рациональное управление водными ресурсами // Основы рационального природопользования: материалы IX Нац. конф. с междунар. участием, г. Саратов, 12–13 окт. 2023 г. Саратов: Вавил. ун-т, 2023. С. 7–15. EDN: ZXMGDR.
3. Вызго М. С. Гидравлический расчет фильтрации из каналов и противодиффузионного слоя / Акад. наук Казахской ССР, Ин-т энергетики. Алма-Ата, 1959. 60 с.
4. Фильтрация в каналах с земляным руслом и новые методы крепления откосов / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников, О. В. Михеева, Е. Н. Миркина // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 107–114. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp107-114. EDN: XVBLLTA.
5. Баев О. А., Гезин А. О. Сравнительная оценка применения новых материалов для противодиффузионных целей // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 2(70). С. 35–39. EDN: USJZTS.
6. Скляренко Е. О., Вертыганова Э. Н. Методы экранирования оросительных каналов и водоемов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 2(70). С. 29–34. EDN: XRHSN.
7. Гарбуз А. Ю., Баев О. А. Ремонт бетонных облицовок каналов полимерными композициями // Проблемы и перспективы развития мелиорации в современных условиях: сб. науч. тр. по материалам Науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 50-летию образования ФГБНУ «ВолжНИИГиМ», г. Энгельс, 25–27 мая 2016 г. Энгельс: Орион плюс, 2016. С. 169–174. EDN: YVPOVG.
8. Пленочные противодиффузионные устройства гидротехнических сооружений / В. Н. Глебов, И. Е. Кричевский, В. Б. Судаков, В. П. Лысенко, Л. А. Толкачев. М., 1976. 207 с.
9. Косиченко Ю. М., Баев О. А., Ищенко А. В. Современные методы борьбы с фильтрацией на оросительных системах // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2. С. 74–87. EDN: TFXGBF.
10. Технология подготовки русла каналов под бетонопленочную облицовку / С. А. Апальков, А. Ф. Апальков, С. Г. Курень, Н. П. Погорелов // Инженерный вестник Дона. 2019. № 2(53). С. 61–69. EDN: ZMNXOU.

### References

1. Averyanov S.F., 1982. *Fil'tratsiya iz kanalov i yeye vliyanie na rezhim gruntovykh vod* [Filtration from the Canals and Its Influence on the Groundwater Regime]. Moscow, Kolos Publ., 237 p. (In Russian).
2. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A., 2023. *Aktual'nye voprosy obsluzhivaniya orositel'nykh kanalov i ratsional'noe upravlenie vodnymi resursami* [Current issues of irrigation canal maintenance and rational water resources management]. *Osnovy ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy IX Nats. konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Fundamentals of Rational Nature Management: Proc. of the IX National Conference with International Participation]. Saratov, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, pp. 7-15, EDN: ZXMGDR. (In Russian).
3. Vyzgo M.S., 1959. *Gidravlicheskiy raschet fil'tratsii iz kanalov i protivofil'tratsionnogo sloya* [Hydraulic Calculation of Filtration from Channels and Impervious Layer]. Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Institute of Energy, Alma-Ata, 60 p. (In Russian).
4. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A., Mikheeva O.V., Mirkina E.N., 2023.

*Fil'tratsiya v kanalakh s zemlyanym ruslom i novye metody krepleniya otkosov* [Filtration in canals with an earthen bed and new methods of slope stabilization]. *Agrarnyy nauchnyi zhurnal* [The Agricultural Scientific Journal], no. 6, pp. 107-111, DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp107-114, EDN: XBBLTA. (In Russian).

5. Baev O.A., Gezin A.O., 2018. *Sravnitel'naya otsenka primeneniya novykh materialov dlya protivofil'tratsionnykh tseley* [Comparative assessment of new materials application for anti-filtration objectives]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(70), pp. 35-39, EDN: USJZTS. (In Russian).

6. Sklyarenko E.O., Vertyganova E.N., 2018. *Metody ekranirovaniya orositel'nykh kanalov i vodoemov* [Screening methods of irrigating canals and water reservoirs]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(70), pp. 29-34, EDN: XRHSH. (In Russian).

7. Garbuz A.Yu., Baev O.A., 2016. *Remont betonnykh oblitsovok kanalov polimernymi kompozitsiyami* [Repair of concrete lining of canals with polymer compositions]. *Problemy i perspektivy razvitiya melioratsii v sovremennykh usloviyakh: sb. nauch. trudov po materialam Nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashch. 50-letiyu obrazovaniya FGBNU "VolzhNIIGiM"* [Problems and Prospects of Land Reclamation Development in Modern Conditions: Collection of Scientific Papers on the Materials of Scientific-Practical Conference with International Participation, Dedicated to the 50<sup>th</sup> Anniversary of the Formation of FGBNU "VolzhNIIGiM"]. Engels, Orion Plus Publ., pp. 169-174, EDN: YVPOVG. (In Russian).

8. Glebov V.N., Krichevskiy I.E., Sudakov V.B., Lysenko V.P., Tolkachev L.A., 1976. *Plenochnye protivofil'tratsionnye ustroystva gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Film Anti-Filtration Devices of Hydraulic Structures]. Moscow, 207 p. (In Russian).

9. Kosichenko Y.M., Baev O.A., Ischenko A.V., 2014. *Sovremennyye metody bor'by s fil'tratsiyey na orositel'nykh sistemakh* [Modern methods of filtration control in irrigation systems]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], no. 2, pp. 74-87, EDN: TFXGBF. (In Russian).

10. Apalkov S.A., Apalkov A.F., Kuren S.G., Pogorelov N.P., 2019. *Tekhnologiya podgotovki rusla kanalov pod betonplenochnuyu oblitovku* [Technology preparation of riverbed channels for lining concrete with film]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], no. 2(53), pp. 61-69, EDN: ZMHXOU. (In Russian).

---

#### **Информация об авторах**

**Ф. К. Абдразаков** – профессор, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки РФ, профессор, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация, abdrakov.fk@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3247-5257;

**О. В. Михеева** – доцент, кандидат технических наук, доцент, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация, omuk@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-7375-0281;

**Е. Н. Миркина** – доцент, кандидат технических наук, доцент, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация, docentmirkina@rambler.ru, ORCID: 0000-0003-3867-1937;

**А. А. Рукавишников** – доцент, кандидат технических наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация, andreirukavishn@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8294-881X.

#### **Information about the authors**

**F. K. Abdrazakov** – Professor, Doctor of Technical Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engi-

neering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, abdrzakov.fk@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3247-5257;

**O. V. Mikheeva** – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, omuk@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-7375-0281;

**E. N. Mirkina** – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, docentmirkina@rambler.ru, ORCID: 0000-0003-3867-1937;

**A. A. Rukavishnikov** – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, andreirukavishn@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8294-881X.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

*Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.*

*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 03.05.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 01.10.2024.*

*The article was submitted 03.05.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 01.10.2024.*