

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-12-17>

УДК 631.67:631.4:532.543



## МЕТОДОЛОГИЯ ВЛИЯНИЯ СВОБОДНОЙ ПОРОЗНОСТИ И ВОДООТДАЧИ НА ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ПОЧВОГРУНТАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ С ЗЕМЛЯНЫМ РУСЛОМ

О.В. Михеева , А.В. Кравчук, С.С. Орлова, Е.Н. Миркина, Т.А. Панкова

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, Россия

**Аннотация.** Цель исследований – изучение влияния свободной порозности и водоотдачи на явление фильтрации воды через земляное русло канала. При проведении исследований использованы теоретические методы расчета фильтрации в каналах с земляным дном. В статье представлен расчет потерь фильтрационного расхода на 1 км длины при устойчивой свободной поверхности для различных типов поперечного сечения канала, рассмотрены основные формулы, доказывающие, что расход воды меняется с изменением поперечного сечения канала, показано изменение устойчивости откосов канала, представлен проверочный расчет канала на фильтрационную прочность в соответствии с экстремальными градиентами давления, рассмотрена необходимость сравнения превышения критического градиента давления фильтрации с допустимым градиентом давления. Представлено соотношение между полной, капиллярной и наименьшей влагемкостями и водоотдачей в толще почвогрунтов, рассмотрены зависимость свободной порозности от уровня грунтовых вод, изменение водопроницаемости почвогрунтов с течением времени. В результате исследований собран материал влияния свободной порозности и водоотдачи на движение воды в почвогрунтах и влияния на повышение уровня грунтовых вод в зоне влияния каналов, представлена методология влияния свободной порозности и водоотдачи на процессы, происходящие в почвогрунтах оросительных каналов в земляном русле, что позволит использовать его для моделирования данных процессов на ЭВМ. Свободная порозность и потери воды играют важную роль на первом и втором этапах фильтрации воды из каналов. Обобщен имеющийся материал о процессах, происходящих в почвах, и его применении для дальнейшей разработки программ, описывающих и использующих теоретические данные на практике.

**Ключевые слова:** порозность, водоотдача, фильтрация, оросительный канал, стадии фильтрации, земляное русло, коэффициент фильтрации, градиент напора, наименьшая влагемкость, полная влагемкость

**Формат цитирования:** Михеева О.В., Кравчук А.В., Орлова С.С., Миркина Е.Н., Панкова Т.А. Методология влияния свободной порозности и водоотдачи на процессы, происходящие в почвогрунтах оросительных каналов с земляным руслом // Природообустройство. 2024. № 1. С. 12-17. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-12-17>

Original article

## METHODOLOGY OF INFLUENCE OF FREE POROSITY AND WATER LOSS ON THE PROCESSES OCCURRING IN THE SOILS OF IRRIGATION CHANNEL WITH AN EARTH BED

O.V. Mikheeva , A.V. Kravchuk, S.S. Orlova, E.N. Mirkina, T.A. Pankova

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Saratov, Ave. Petra Stolypin, Russia

**Abstract.** Purpose of the research: to consider the influence of free porosity and water loss on the filtration of water from channels with an earthen bed. Explore existing calculation methods taking into account the parameters of free porosity and fluid loss. Collect calculation material that can form the basis of a program for calculating the filtration of channels with an earthen bed, taking into account the factors influencing the first and second stages of filtration in the channels. Materials and research methods: The work used theoretical methods for calculating filtration in channels with an earthen bed, presented the calculation of the loss of flow rate  $Q_f$  for filtration per 1 km of length with a steady free surface for different types of channel cross-sections, considered the basic formulas

proving that water supply changes with changes in transverse cross-section of the canal, the change in the stability of the canal slopes is shown, a test calculation of the canal for filtration strength according to the maximum pressure gradients is presented, the need to compare the excess of the critical filtration pressure gradient with the permissible pressure gradient is considered. Results and its discussion. The relationship between the total, capillary and minimum moisture capacity and water yield in the thickness of soils is presented, the dependence of free porosity on the groundwater level, and the change in water permeability of soils over time are considered. As a result of the research, material was collected on the influence of free porosity and water loss on the movement of water in soils and the influence on the increase in groundwater levels in the zone of influence of canals, a methodology was presented for the influence of free porosity and water loss on the processes occurring in the soils of irrigation canals in an earthen channel, which will allow its use for modeling these processes on a computer.

**Keywords:** porosity, water loss, filtration, irrigation channel, filtration stages, earth channel, filtration coefficient, pressure gradient, minimum water capacity, total water capacity

**Format of citation:** Mikheeva O.V., Kravchuk A.V., Orlova S.S., Mirkina E.N., Pankova T.A. Methodology of the influence of free porosity and water loss on the processes occurring in the soils of irrigation channels with an earth bed // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 12-17. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-12-17>

**Введение.** Три стадии фильтрации воды можно выделить при рассмотрении каналов, расположенных в земляном русле. Первая стадия характеризуется смачиванием грунта и впитыванием воды из канала в сухой грунт. Вода в данном случае будет двигаться преимущественно в вертикальном направлении до тех пор, пока не достигнет капиллярной каймы. Далее равновесие бассейна грунтовых вод будет нарушаться, и они будут приходить в движение. Это начало второй стадии фильтрации воды из оросительных каналов, расположенных в земляном русле.

На первых двух стадиях большую роль играют порозность почвы и водоотдача. В связи с цифровизацией сельского хозяйства необходимо обобщение имеющегося материала, происходящих в почвогрунтах процессов и его применение для дальнейшей разработки программ, описывающих и использующих теоретические данные на практике.

В статье собран материал о влиянии свободной порозности и водоотдачи на движение воды в почвогрунтах и на повышение уровня грунтовых вод в зоне влияния каналов, представлена методология влияния свободной порозности и водоотдачи на процессы, происходящие в почвогрунтах оросительных каналов в земляном русле.

**Цель исследований:** изучение влияния свободной порозности и водоотдачи на явление фильтрации воды через земляное русло канала.

**Материалы и методы исследований.** Определение фильтрационных потерь воды из оросительного канала является основным при проведении фильтрационного расчета каналов. Если канал расположен в земляном русле (рис. 1), то потери расхода  $Q_{\phi}$  при фильтрации

на устойчивой свободной поверхности на 1 км длины можно определить по формулам (1-4).

Потери расхода для канала трапециевидного сечения можно определить как

$$Q_{\phi} = 0,0116 k_{\phi} \mu (B + 2h). \quad (1)$$

Если сечение полигональное и параболического сечения, формула будет преобразована в следующий вид:

$$Q_{\phi} = 0,0116 k_{\phi} (B + 2h), \quad (2)$$

где  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации грунтов ложа канала, м/сут.;  $B$  – ширина канала по урезу воды, м;  $\mu$  – коэффициент, зависящий от размеров канала;  $h$  – глубина воды в канале, м

В основании ложа канала коэффициент фильтрации будет равен

$$k_{\text{осн}} = t_1 + t_2 + t_3 / (t_1 / k_1 + t_2 / k_2 + t_3 / k_3), \quad (3)$$

где  $t_1, t_2, t_3$  – мощность слоев грунта;  $k_1, k_2, k_3$  – коэффициент фильтрации по слоям.



Рис. 1. Пример оросительного канала, расположенного в земляном русле

Fig. 1. Example of an irrigation channel located in the earthen channel

При расчете на 1 км длины по дну потери расхода на фильтрацию в канале определяются по формуле:

$$Q_{\phi} = 0,0116 k_{\text{осн}} (B + 2h), \quad (4)$$

где  $B$  – ширина канала по дну, м

Рассматривая изменение потерь фильтрационного потока, можно сделать вывод о том, что с изменением поперечного сечения канала изменится и расход воды, и это повлечет за собой изменение устойчивости откосов канала. Таким образом, для каналов параболического сечения устойчивость откосов будет обеспечиваться степенью параболы, а при многоугольной форме устойчивость откосов будет тем выше, чем меньше ширина канала в верхней части по сравнению с трапецевидным сечением. Трапецевидальная форма сечения канала будет наиболее устойчивой, стабильность этой формы будет обеспечиваться заданным коэффициентом заложения откоса [1-6].

Проверка оросительных каналов на фильтрационную прочность по предельному градиенту давления обязательна в связи с тем, что они подвергаются фильтрации. Градиент давления можно определить [3-8] по формуле:

$$I = H/l, \quad (5)$$

где  $H$  – напор, м;  $l$  – длина участка, м

На дно канала будут воздействовать вертикальные и горизонтальные силы. Гидравлические воздействия будут направлены вертикально, а фильтрационные силы – по касательной. Этот процесс характеризуется явлением суффозии, то есть удалением мелких частиц из почвенной массы.

Нарушение ложа и откосов канала будет наблюдаться, когда критический градиент давления превысит допустимые значения. Если канал трапецевидального сечения, то со временем его поперечное сечение превратится в многоугольное, а затем в параболическое. Неоднородность грунта обеспечит возможную вариабельность параметров фильтрации. Сравнение критического градиента фильтрационного давления с допустимым градиентом давления может быть достигнуто с использованием формулы:

$$I_{\text{доп}} \leq 1/m [\gamma_1/\gamma_0 - (1 - n)], \quad (6)$$

где  $m$  – коэффициент запаса,  $\gamma_1$  – масса сухого грунта,  $\gamma_0$  – масса воды;  $n$  – пористость грунта.

Результаты и их обсуждение. Одними из важнейших характеристик грунта являются свободная порозность (при поднятии уровня грунтовых вод) и водоотдача, если уровень грунтовых

вод будет опускаться. В случае подъема уровня грунтовых вод будет происходить капиллярное насыщение менее влажных пластов грунта. Свободная порозность зависит от соотношения скорости подъема грунтовых вод и скорости капиллярного поднятия.

Водоотдачу, зависящую от уровня грунтовых вод и коэффициента фильтрации, можно определить по формуле [3, 11, 12]:

$$\delta = 16,5 k^{1/2} a^{1/3}, \quad (7)$$

где  $\delta$  – водоотдача;  $k$  – коэффициент фильтрации, м/с;  $a$  – уровень грунтовых вод, м

Разность между полной (ПВ) и наименьшей (НВ) влагоемкостью определяет значение максимальной величины (МВО) водоотдачи исследуемого слоя.

Максимальную водоотдачу можно определить по формуле:

$$\text{МВО} = \text{ПВ} - \text{НВ}. \quad (8)$$

Фактическая величина максимальной водоотдачи будет несколько меньше расчетной. Это объясняется тем, что полное насыщение почвы или грунта до полной влагоемкости – довольно редкое явление в естественных условиях, так как в почвогрунте имеется определенное количество заземленного воздуха.

Максимальной величины водоотдача достигает в том случае, если слой оказывается расположенным над верхней границей капиллярной каймы. Когда слой почвы окажется в пределах капиллярной каймы, а уровень вод остановится где-то в промежуточном положении, то водоотдача в этом случае будет меньше, и ее можно определить по формуле (9):

$$\text{ВО} = \text{ПВ} - \text{КВ}, \quad (9)$$

где  $\text{КВ}$  – величина капиллярной влагоемкости слоя при данном его положении над зеркалом грунтовых или почвенно-грунтовых вод. Чем ниже опускается уровень грунтовых вод, тем меньше будет капиллярная влагоемкость почвы, а значение водоотдачи слоя будет стремиться к своему максимальному значению.

На рисунке 2 [13, 14] представлено соотношение между полной, капиллярной и наименьшей влагоемкостями и водоотдачей в толще почвогрунтов, которая располагается над уровнем грунтовых вод. Показатели взяты для песчаных грунтов. Влажность, % от объема почвы или грунта, расположена по оси  $X$ , а по оси  $Y$  представлена глубина залегания слоя. Элементарные почвенные слои обозначены как 0, I, II, III, IV... VIII. Эти слои предполагаются достаточно тонкими, поэтому капиллярную влагоемкость в пределах каждого слоя будем полагать постоянной.

Имеются данные о том, что фактическое значение водоотдачи и свободной порозности, определенные в полевых и лабораторных условиях для высоких грунтовых вод, составляют от 0,01 до 0,1. Зависимость свободной порозности от расположения уровня грунтовых вод можно установить, зная, каким образом распределяется значение влажности при капиллярном поднятии.

Текущую свободную порозность можно определить по уравнению:

$$m_y = w_1 - w_y, \tag{8}$$

где  $m_y$  – средняя свободная порозность при подъеме уровня грунтовых вод до глубины  $y$  от поверхности земли;  $w_y$  – влажность на высоте  $y$  от поверхности грунтовых вод;  $w_1$  – полная влагоемкость с учетом заземленного воздуха.

Скорость впитывания воды, то есть расход, впитывающийся через единицу площади за время  $t$  суток после начала впитывания, может быть определен по формуле [3, 8-11]:

$$Vt = k_b [0,75 + 0,25(1 + (16b^2/t))^{1/2}], \tag{9}$$

где  $k_b$  – коэффициент водопроницаемости при полном насыщении с учетом заземленного воздуха, м/сут.;

$$b = 0,6\beta [(w_1 h_k + 1,4h_0/\beta)/k_b]^{1/2}, \text{ сут.}^{1/2}; \tag{10}$$

$$\beta = (w_1 - w)/(w_1 - w_0), \tag{11}$$

где  $h_0$  – глубина воды в канале;  $w$  – исходная влажность перед началом впитывания.

Зависимость  $m_y/w_1$  от  $\beta$  представлена в таблице 1.

Длительная фильтрация из каналов протекает в условиях трех качественно отличающихся друг от друга стадий.

Первая стадия продолжается до смыкания фронта опускающегося фильтрационного потока с капиллярной каймой грунтовых вод.

Приблизительно продолжительность первой стадии для крупных каналов без учета растекания равна

$$t_1 = (H_0 - h_k) \delta / k_b, \tag{12}$$

где  $H_0$  – превышение дна канала над уровнем грунтовых вод;  $h_k$  – высота капиллярного поднятия.

Для канала трапецеидального сечения с размерами  $b = 9$  м,  $h = 1$  м,  $m = 1,5$  скорость просачивания для разных типов грунтов представлена в таблице 2.

Для крупных каналов первая стадия весьма непродолжительна, и фронт опускающегося фильтрационного потока вскоре после начала работы канала достигает капиллярной каймы грунтовых вод.

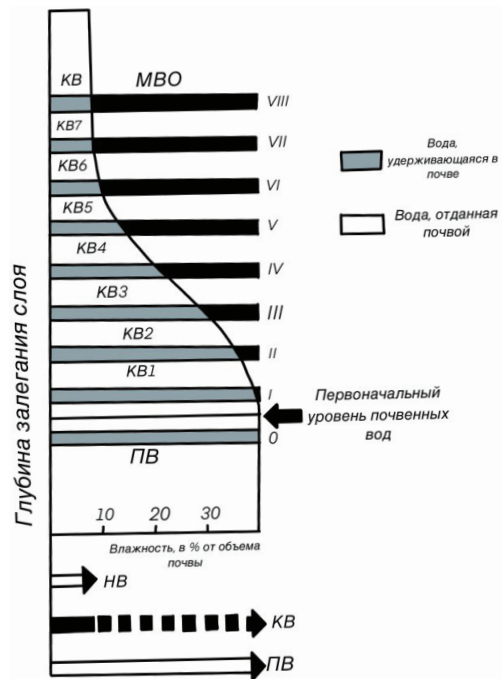


Рис. 2. Соотношение между полной, капиллярной и наименьшей влагоемкостями и водоотдачей

Fig. 2. The ratio between the total, capillary and smallest moisture capacity and water loss

Таблица 1. Зависимость  $m_y/w_1$  от  $\beta$  при колебаниях уровня грунтовых вод [3]

Table 1. Dependence of  $m_y/w_1$  on  $\beta$  under fluctuations in the groundwater level [3]

$\beta$	$m_y/w_1$
0	0
0,05	0,025
0,1	0,051
0,15	0,078
0,2	0,100
0,25	0,134
0,3	0,163

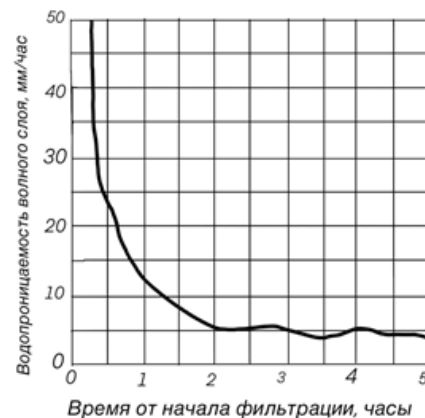


Рис. 3. Изменение водопроницаемости почвогрунтов с течением времени

Fig. 3. Changes in the water permeability of soils over time

Таблица 2. Зависимость скорости просачивания от разных типов грунтов  
Table 2. Dependence of the infiltration rate on different types of soils

Грунт ложа канала <i>Soil channel bed</i>	Скорость просачивания воды, м/сут <i>Water infiltration rate, m/day</i>
Тяжелая глина / <i>Heavy clay</i>	0,05
Средняя глина / <i>Medium clay</i>	0,12
Суглинок тяжелый / <i>Heavy loam</i>	0,18
Супесь / <i>Sandy loam</i>	0,4
Песок крупный / <i>Coarse sand</i>	0,6

Стадия капиллярно-грунтового потока является второй стадией фильтрации воды из каналов. Она начинается с момента, когда фронт фильтрационного потока смыкается с капиллярной каймой грунтовых вод.

Третья стадия – стадия сплошного потока грунтовых вод – осуществляется при полной гидравлической связи фильтрационного потока в зоне канала и потока грунтовых вод [3]. Так, для оросительного канала, имеющего параметры  $b = 5$  м,  $h = 1,5$  м,  $m = 1$ , грунт суглинок с коэффициентом фильтрации  $0,2$  м/сут. фильтрационный расход на 1 км длины для третьей стадии фильтрации составит около  $0,026$  м<sup>3</sup>/сут.

### Выводы

Таким образом, в начале эксплуатации оросительного канала наблюдается быстрый подъем грунтовых вод в скважинах,

#### Список использованных источников

1. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. М.: Колос, 1979. 379 с.
2. Розанов Ю.А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика: учебник для вузов. 2-е изд., доп. М.: Наука, 1989. 320 с.
3. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. М.: Колос, 1982. 237 с.
4. Janosi I.M., Jan D., Szabo K.G. and TEL T. 2004 Turbulent drag reduction in dam-break flows. *Experiments in Fluids*. 2004. № 37. Pp. 219-224.
5. Панкова Т.А., Михеева О.В., Орлова С.С. Оценка надежности работы каналов // *Научная жизнь*. 2013. № 5. С. 29-32.
6. Ильичева И.А., Михеева О.В., Шмагина Э.Ю. К вопросу об эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений Саратовской области // *Техническое регулирование в транспортном строительстве*. 2013. № 2 (2). С. 28-34.
7. Yabe T., Ogata Y. Conservative semi-Lagrangian CIP technique for the shallow water equations // *Computational Mechanics*. 2010. Vol. 46, No 1. Pp. 125-134.
8. Suwandana E., Kawamura K., Sakuno Y. and Kustiyanto E. Thematic information content assessment of the ASTER GDEM: A case study of watershed

расположенных в нескольких километрах от канала, и значительное падение уровня воды в отдельных котлованах при быстром вводе в эксплуатацию канала. При изменении уровня грунтовых вод, расположенных близко к поверхности земли в зоне капиллярного подъема, свободная пористость будет зависеть от положения уровня грунтовых вод, то есть чем выше уровень грунтовых вод, тем ниже значение свободной пористости.

Зависимость свободной пористости от местоположения уровня грунтовых вод может быть определена по распределению влаги во время капиллярного подъема. При медленном изменении уровня грунтовых вод и их глубоком расположении свободную пористость можно считать постоянной для нестационарного потока. Свободная пористость и водоотдача играют большую роль на первом и втором этапах фильтрации воды из каналов.

Обобщен имеющийся материал, процессы, происходящие в почвах, и его применение для дальнейшей разработки программ, описывающих и использующих теоретические данные на практике. В статье содержится собранный материал о влиянии свободной порозности и водоотдачи на движение воды в почвах, на повышение уровня грунтовых вод. Представлена методология влияния свободной порозности и водоотдачи на процессы, происходящие в почвах оросительных каналов с земляным ложем, что позволит использовать его для моделирования этих процессов на компьютере.

#### References

1. Mirtskhulava T.E. Reliability of irrigation and drainage structures. M.: Kolos, 1979. 379 p.
2. Rozanov Yu.A. Probability theory, random processes and mathematical statistics: a textbook for universities. 2nd ed., add. M.: Science. Ch. ed. physics and mathematics Lit., 1989. 320 p.
3. Averyanov S.F. Filtration from canals and its influence on the groundwater regime. M.: Kolos, 1982. 237 p.
4. Janosi I.M., Jan D., Szabo K.G. and TEL T 2004 Turbulent drag reduction in dam-break flows. *Experiments in Fluids* 37: pp 219-224
5. Pankova T.A. Assessing the reliability of channel operation / Pankova T.A., Mikheeva O.V., Orlova S.S. // *Scientific life*. 2013. No. 5. P. 29-32
6. Plyicheva I.A. On the issue of operational reliability of hydraulic structures in the Saratov region / Plyicheva I.A., Mikheeva O.V., Shmagina E.Yu. // *Technical regulation in transport construction*. 2013. No. 2 (2). pp. 28-34.
7. Yabe T., Ogata Y. Conservative semi-Lagrangian CIP technique for the shallow water equations // *Computational Mechanics*. 2010. V. 46. No. 1. P. 125-134.
8. Suwandana E., Kawamura K., Sakuno Y. and Kustiyanto E. 2012 Thematic information content assessment of the ASTER GDEM: A case study of watershed

delineation in West Java, Indonesia // Remote Sensing Letters. 2012. Vol. 3 (5). Pp. 423-432.

9. **Omid M.H., Karbasi M. and Farhoudi J.** Effects of bed-load movement on flow resistance over bed forms // Sadhana. 2010 Vol. 35, № 6. Pp. 681-691.

10. **Lai J-S., Guo W-D., Lin G-F. and Tan Y-C.** A well-balanced upstream flux-splitting finite-volume scheme for shallow-water flow simulations with irregular bed topography // International Journal for Numerical Methods in Fluids. 2010. Vol. 62, № 8. Pp. 927-944.

11. **Kesserwani G. and Liang Q.** Well-balanced RKDG2 solutions to the shallow water equations over irregular domains with wetting and drying // Computers & Fluids. 2010. Vol. 39, № 10. Pp. 2040-2050.

12. **Абдразаков Ф.К.** Исследование изменения уровня грунтовых вод в зоне влияния водохранилища / Михеева О.В., Панкова Т.А., Орлова С.С., Миркина Е.Н. // Аграрный научный журнал. 2018. № 9. С. 50-55.

13. **Панкова Т.А., Михеева О.В., Орлова С.С.** Исследование эксплуатационного состояния оросительных каналов // Аграрный научный журнал. 2015. № 6. С. 64-68.

14. Официальный сайт «Земледелие от «А» до «Я». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://racechrono.ru/vodnye-svoystva-pochv/4747-vodoot-dacha-i-poroznost-aeracii.html>.

#### Об авторах

**Ольга Валентиновна Михеева**, канд. техн. наук., доцент; <https://orcid.org/0000-0001-7375-0281>, [omuk@inbox.ru](mailto:omuk@inbox.ru)

**Алексей Владимирович Кравчук**, д-р.техн. наук, профессор <https://orcid.org/0000-0002-5692-8655>; [aleks100sgau@yandex.ru](mailto:aleks100sgau@yandex.ru)

**Светлана Сергеевна Орлова**, канд. техн. наук., доцент; <https://orcid.org/0000-0002-9350-0893>; [orlovass77@mail.ru](mailto:orlovass77@mail.ru)

**Елена Николаевна Миркина**, канд. техн. наук., доцент; <https://orcid.org/0000-0003-3867-1937>; [docentmirkina@rambler.ru](mailto:docentmirkina@rambler.ru)

**Татьяна Анатольевна Панкова**, канд. техн. наук., доцент; <https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>; [vtanja@mail.ru](mailto:vtanja@mail.ru)

#### Критерии авторства / Authorship criteria

Михеева О.В., Кравчук А.В., Орлова С.С., Миркина Е.Н., Панкова Т.А. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of Interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest

#### Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors have contributed equally to the preparation of the publication.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 15.06.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 10.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.12.2023

delineation in West Java, Indonesia // Remote Sensing Letters. – V. 3(5) pp 423-432

9. Omid M H, Karbasi M and Farhoudi J 2010 Effects of bed-load movement on flow resistance over bed forms // Sadhana. V. 35. No. 6 pp 681-691

10. Lai J-S, Guo W-D, Lin G-F and Tan Y-C 2010 A well-balanced upstream flux-splitting finite-volume scheme for shallow-water flow simulations with irregular bed topography // International Journal for Numerical Methods in Fluids. V. 62. N8. pp 927-944.

11. Kesserwani G and Liang Q 2010 Well-balanced RKDG2 solutions to the shallow water equations over irregular domains with wetting and drying // Computers & Fluids. V. 39. – N10. pp 2040-2050.

12. **Abdrazaqov F.K.** Study of changes in groundwater levels in the zone of influence of the reservoir / Abdrazakov F.K., Mikheeva O.V., Pankova T.A., Orlova S.S., Mirkina E.N. // Agrarian scientific journal. 2018. No. 9. P. 50-55.

13. **Pankova T.A.** Study of the operational state of irrigation canals / Pankova T.A., Mikheeva O.V., Orlova S.S. // Agrarian scientific journal. 2015. No. 6. P. 64-68.

14. Official website Agriculture from “A” from “Z” [Electronic resource] – access mode: <https://racechrono.ru/vodnye-svoystva-pochv/4747-vodoot-dacha-i-poroznost-aeracii.html>

#### Author information

**Olga V. Mikheeva**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0001-7375-0281>; [omuk@inbox.ru](mailto:omuk@inbox.ru)

**Alexey V. Kravchuk**, Doctor of Technical Sciences, Professor <https://orcid.org/0000-0002-5692-8655>; [aleks100sgau@yandex.ru](mailto:aleks100sgau@yandex.ru)

**Svetlana S. Orlova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor <https://orcid.org/0000-0002-9350-0893>; [orlovass77@mail.ru](mailto:orlovass77@mail.ru)

**Elena N. Mirkina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0003-3867-1937>; [docentmirkina@rambler.ru](mailto:docentmirkina@rambler.ru)

**Tatyana A. Pankova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>; [vtanja@mail.ru](mailto:vtanja@mail.ru)

O.V. Mikheeva, A.V. Kravchuk, S.S. Orlova, E.N. Mirkina, T.A. Pankova carried out theoretical and practical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have the copyright to the article and are responsible for plagiarism.