

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,  
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 626.826

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-228-242

**Оценка коэффициента фильтрации грунта  
основания оросительного канала**

**Олег Андреевич Баев<sup>1</sup>, Виктория Федоровна Талалаева<sup>2</sup>,  
Дарья Викторовна Бакланова<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

<sup>1</sup>Oleg-Baev1@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

<sup>2</sup>vika-silchenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2541-204X>

<sup>3</sup>d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

**Аннотация.** **Цель:** количественная оценка коэффициента фильтрации связанных грунтов основания действующего оросительного канала. **Материалы и методы.** Исходными материалами для проведения исследований послужила предпроектная, эксплуатационная и другая техническая документация по Черноземельской обводнительно-оросительной системе, а также данные натурных обследований технического состояния системы в Яшкульском районе Калмыкии. При выполнении измерений использовалось следующее оборудование: мерная емкость, металлические линейки, цифровой термометр с игольчатым щупом, инфильтрометр двухкольцевой, часы для учета времени. **Результаты.** Значение коэффициента фильтрации (при установившемся расходе) изменялось в пределах 0,24–0,27 м/сут (или 0,17–0,19 мм/мин). Среднее значение для коэффициента фильтрации по данным натурных измерений составило 0,18 мм/мин, что соответствует 0,255 м/сут. Согласно классификации Н. А. Качинского, грунты исследуемого района характеризуются как среднесуглинистые (с преобладанием песчаной фракции). Диапазон значений коэффициента фильтрации для данных грунтов составляет от 0,005 до 0,4 м/сут. По результатам расчета коэффициент фильтрации составил 0,238 м/сут, или 0,165 мм/мин. **Выводы.** Сравнение расчетного и опытного значений показывает, что расчетный коэффициент фильтрации хорошо совпадает с опытным (полученным в полевых условиях). Расхождение значений составило 7,1 %. Тем не менее расчетная оценка коэффициента фильтрации по эмпирическим зависимостям носит приближенный характер, поэтому в дальнейших фильтрационных расчетах насыпного участка Яшкульского распределительного канала будут учтены данные полевых измерений коэффициента фильтрации грунта основания рассматриваемого канала.

**Ключевые слова:** оросительный канал, коэффициент фильтрации, водопроницаемость, инфильтрометр, фильтрация, коэффициент полезного действия

**Для цитирования:** Баев О. А., Талалаева В. Ф., Бакланова Д. В. Оценка коэффициента фильтрации грунта основания оросительного канала // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 3. С. 228–242. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-228-242>.

HYDRAULIC ENGINEERING,  
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Soil filtration coefficient assessment of the irrigation canal base**

**Oleg A. Baev<sup>1</sup>, Viktoria F. Talalaeva<sup>2</sup>, Darya V. Baklanova<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocheerkassk, Russian Federation

<sup>1</sup>Oleg-Baev1@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

<sup>2</sup>vika-silchenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2541-204X>

<sup>3</sup>d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

**Abstract. Purpose:** quantitative assessment of the filtration coefficient of coherent soils of the existing irrigation canal base. **Materials and methods.** The initial materials for the research were pre-design, operational and other technical documentation on the Chernozemelskaya environmental protection system, as well as field survey data of the system technical condition in the Yashkul district of Kalmykia. When performing measurements, the following equipment was used: a measuring container, metal rulers, a digital thermometer with a needle probe, a two-ring infiltrometer, a time clock. **Results.** The value of the filtration coefficient (at steady flow) varied within 0.24–0.27 m/day (or 0.17–0.19 mm/min). The average value for the filtration coefficient according to field measurements was 0.18 mm/min, which corresponds to 0.255 m/day. According to the N. A. Kachinsky classification, the soils of the studied area are characterized as medium loamy (with a predominance of sand fraction). The range of values of the filtration coefficient for these soils is from 0.005 to 0.4 m/day. According to the calculation results, the filtration coefficient was 0.238 m/day or 0.165 mm/min. **Conclusions.** Comparison of the calculated and experimental values shows that the calculated filtration coefficient coincides with the experimental one (obtained in the field) well. The discrepancy between the values was 7.1 %. Nevertheless, the estimated estimation of the filtration coefficient according to empirical dependencies is approximate, therefore, in further filtration calculations of the bulk section of the Yashkul distribution canal, data from field measurements of the soil filtration coefficient of the channel base under consideration will be taken into account.

**Keywords:** irrigation canal, filtration coefficient, water permeability, infiltrometer, filtration, efficiency

**For citation:** Baev O. A., Talalaeva V. F., Baklanova D. V. Soil filtration coefficient assessment of the irrigation canal base. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(3):228–242. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-228-242>.

**Введение.** Одной из основных характеристик грунтов является коэффициент фильтрации, который служит базовым параметром для фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений (ГТС).

Под коэффициентом фильтрации  $k$ , м/сут, понимают параметр, характеризующий проницаемость грунтов в отношении фильтрации воды при полном насыщении, численно равный скорости фильтрации при единичном градиенте напора<sup>1</sup>. Его величина зависит от множества факторов: гранулометрического и минералогического состава грунта, его пористости и слоистости, ширины раскрытия трещин, температуры и гидростатическо-

---

<sup>1</sup>ГОСТ 23278-2014. Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости. Введ. 2015-07-01. М.: Стандартинформ, 2015. 30 с.

го напора [1–5]. Коэффициент фильтрации может определяться различными исследованиями: полевыми (опытными откачками, наливками воды в шурф), геофизическими, лабораторными, аналитическими (расчетными) и др.

Определение коэффициента фильтрации связных грунтов является особенно актуальной практической задачей, а ее решение позволяет оценить потери и рационально использовать водные ресурсы при орошении, особенно на системах, каналы которых проложены в земляных руслах без применения противифльтрационных экранов. Так, в Республике Калмыкия все каналы обводнительно-оросительных систем (ООС) (Сарпинской, Калмыцко-Астраханской, Черноземельской, Право-Егорлыкской и Каспийской) устроены в земляных руслах без противифльтрационных облицовок и находятся в эксплуатации с 60–80-х гг. прошлого века (более 50 лет) [6, 7]. В настоящее время в регионе наблюдается дефицит пресной воды требуемого качества, в т. ч. для орошения сельскохозяйственных угодий. Это обстоятельство обусловлено комплексом причин, среди которых: загрязнение имеющихся водных объектов, изношенность действующей оросительной сети, подтопление приканальных территорий и населенных пунктов фильтрационными водами [8, 9].

На этапе предварительных исследований установлено, что в пределах Черноземельской ООС максимальные значения потерь в отдельные годы достигали 40,8–41,7 % от общего объема забора воды в систему. В среднем за рассматриваемый десятилетний период ежегодно в системе теряется 31–34 % подаваемой в нее воды. Таким образом, определение коэффициента фильтрации грунтов основания является важным этапом при обосновании и выборе противифльтрационных мероприятий на каналах оросительной сети [10].

Изучением фильтрационных свойств грунтов и вопросами фильтрации в различных ГТС занимались Н. Н. Павловский [11], С. Ф. Аверьянов [12], В. С. Алтунин [13], Ю. М. Косиченко [7], С. В. Сольский [14] и другие ученые [15–18].

Целью настоящих исследований являлась количественная оценка коэффициента фильтрации связных грунтов основания действующего оросительного канала.

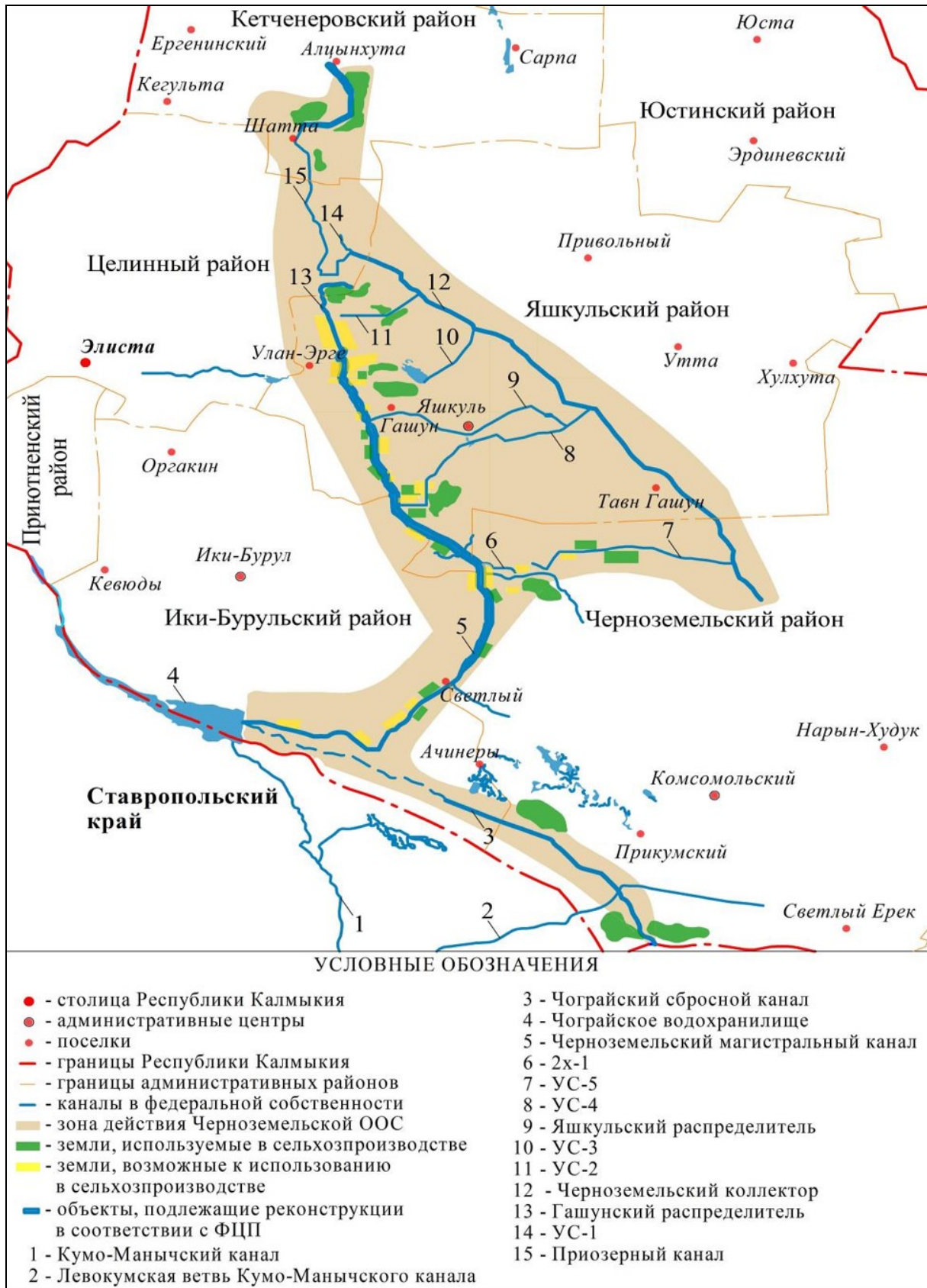
Объектом исследования являлся Яшкульский распределительный канал (РК) Черноземельской ООС в Яшкульском районе Калмыкии.

Черноземельская ООС – самая крупная ООС региона, введена в эксплуатацию в 1970 г. для обводнения, водоснабжения и орошения засушливых районов [6, 19].

Водоисточник системы – наливное Чограйское водохранилище [7], расположенное в бассейне р. Восточный Маныч и пополняемое стоком р. Кума и Терек, а также местным стоком. По состоянию на 25.05.2023 Черноземельская ООС обеспечивает водой 32 хозяйства Калмыкии. Общая площадь орошаемых земель в 2022 г. составила 23481 га.

По данным автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов, участки и ГТС магистральных, распределительных, межхозяйственных и сбросных каналов рассматриваемой системы требуют проведения текущего ремонта, а некоторые нуждаются в реконструкции.

**Материалы и методы.** Яшкульский РК – объект капитального строительства в составе Черноземельской ООС, эксплуатируется ФГБУ «Управление «Калммелиоводхоз» (протяженность – 56,5 км, пропускная способность по проекту до 3 м<sup>3</sup>/с, русло – земляное). Канал берет начало на ПК 1399 + 80 Черноземельского магистрального канала, его назначением является орошение, обводнение земель, а также водоснабжение населенных пунктов. Водоприемниками канала являются оз. Бузга и Черноземельский сбросной канал. План-схема Черноземельской ООС представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – План-схема Черноземельской обводнительно-оросительной системы**

**Figure 1 – Layout of the Chernozemelskaya irrigation system**

Почвообразующими породами на Черноземельской ООС служат дельтово-морские суглинки, подстилаемые супесями, песками с прослоями глин, а также тяжелыми суглинками, глинами с прослоями песков. Почвы представлены суглинистыми в разной степени солонцеватыми светло-каштановыми почвами в комплексе с солонцами, луговато-каштановыми и бурыми полупустынными почвами различной степени солонцеватости.

Бурые пустынно-степные почвы, наряду с солонцами, являются преобладающим типом почв на системе (в т. ч. в Яшкульском районе), их использование под сельскохозяйственные культуры возможно только при условии орошения с внесением гипса, органических и минеральных удобрений.

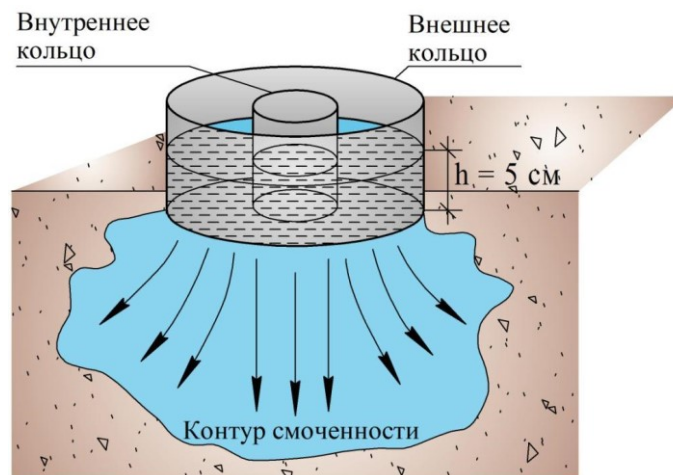
Механический состав почвогрунтов на орошаемых участках характеризуется как средне- и легкосуглинистый. Преобладающими фракциями являются фракции мелкого песка и крупной пыли (частицы диаметром 0,25–0,05 и 0,05–0,01 мм).

Исходными материалами для проведения исследований послужила предпроектная, эксплуатационная и другая техническая документация по Черноземельской ООС, а также данные натурных обследований технического состояния системы в Яшкульском районе Калмыкии, полученные коллективом авторов в июне 2023 г.

В полевых условиях процесс инфильтрации воды в грунт основания канала исследовался на ПК 9 + 00 Яшкульского распределителя по методу заливаемых площадей с учетом рекомендаций Н. И. Барац, В. Н. Шестакова [20].

При выполнении измерений использовалось следующее оборудование: мерная емкость (1000 мл), металлические линейки (2 шт.), цифровой термометр с игольчатым щупом, инфильтрометр двухкольцевой с диаметрами внешнего и внутреннего колец 45 и 23 см (радиус  $r = 11,5$  см) соответственно, часы для учета времени. Внешнее и внутреннее кольца инфильтрометра устанавливались на предварительно подготовленный участок канала с заглублением (врезкой) на глубину 8–10 см. Учет водопроницаемости

выполнялся во внутреннем кольце. Внешнее кольцо – защитное, его назначение – снижение бокового растекания воды в грунте (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Схема наливов воды в кольца инфильтрометра**  
**Figure 2 – Scheme of water input into the infiltrometer rings**

Учетное и защитное кольца наполнялись одновременно до уровня 5 см, для этого в каждом кольце была установлена металлическая линейка. Далее проводился учет подливаваемой воды во внутреннее кольцо с использованием мерной емкости. При этом во внешнем кольце уровень воды также поддерживался постоянным (5 см). Подача воды и поддержание заданного уровня осуществлялись вручную (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Процесс определения коэффициента фильтрации на участке Яшкульского распределительного канала (автор фото Д. В. Бакланова)**

**Figure 3 – Process of determining the filtration coefficient on the section of the Yashkul distribution canal (photo by D. V. Baklanova)**

Измерения завершились после стабилизации значений коэффициента фильтрации (с изменчивостью до 5 %) и выхода графика зависимости коэффициента фильтрации от времени на прямую линию.

Коэффициент фильтрации  $k_i$  (мм/мин) вычислялся для каждого интервала времени по формуле:

$$k_i = \frac{V_i \cdot 10}{S \cdot t_i},$$

где  $V_i$  – объем учтенной просочившейся воды за промежуток времени между замерами, мл ( $\text{см}^3$ );

10 – переводной коэффициент (см в мм);

$S$  – площадь зумпфа,  $\text{см}^2$ ;

$t_i$  – время между замерами, мин.

Площадь зумпфа определялась следующим образом:

$$S = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 11,5^2 = 415,27,$$

где  $\pi$  – математическая постоянная;

$r$  – радиус внутреннего кольца инфильтрометра,  $r = 11,5$  см.

**Результаты и обсуждения.** Результаты измерений и расчета водопроницаемости отражены в таблице 1.

**Таблица 1 – Данные измерений и расчета коэффициента фильтрации на Яшкульском распределительном канале Черноземельской обводнительно-оросительной системы**

**Table 1 – Measurement data and the filtration coefficient calculation on the Yashkul distribution canal of the Chernozemelskaya irrigation system**

| Время от начала испытания, мин | Промежуток времени между замерами $t_i$ , мин | Объем поглощенной воды                          |                        | Площадь зумпфа $S$ , $\text{см}^2$ | Коэффициент фильтрации за промежуток времени между замерами |       |
|--------------------------------|---|---|------------------------|------------------------------------|---|-------|
|                                |   | за промежуток времени между замерами $V_i$ , мл | с начала испытания, мл |                                    | мм/мин  | м/сут |
| 1                              | 2   | 3   | 4                      | 5                                  | 6   | 7     |
| 0–1                            | 1   | 757,87  | 757,87                 | –                                  | 18,25   | 26,28 |
| 1–5                            | 4   | 901,97  | 1659,75                | 415,27                             | 5,43  | 7,82  |

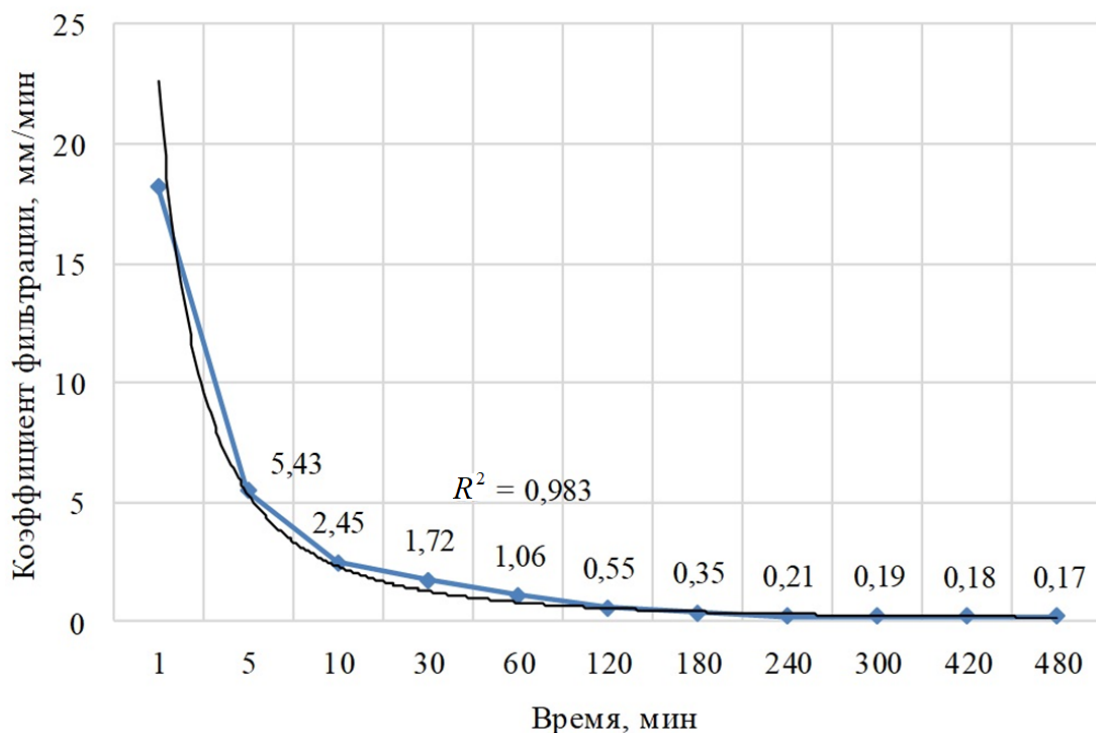


Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

| 1       | 2   | 3       | 4       | 5      | 6    | 7    |
|---------|-----|---------|---------|--------|------|------|
| 5–10    | 5   | 508,71  | 2168,46 | 415,27 | 2,45 | 3,53 |
| 10–30   | 20  | 1428,53 | 3596,99 | 415,27 | 1,72 | 2,48 |
| 30–60   | 30  | 1320,56 | 4917,55 | 415,27 | 1,06 | 1,53 |
| 60–120  | 60  | 1370,38 | 6287,93 | 415,27 | 0,55 | 0,79 |
| 120–180 | 60  | 872,07  | 7160,00 | 415,27 | 0,35 | 0,50 |
| 180–240 | 60  | 523,24  | 7683,24 | 415,27 | 0,21 | 0,30 |
| 240–300 | 60  | 473,41  | 8156,65 | 415,27 | 0,19 | 0,27 |
| 300–420 | 120 | 896,98  | 9053,63 | 415,27 | 0,18 | 0,26 |
| 420–480 | 60  | 423,57  | 9477,20 | 415,27 | 0,17 | 0,24 |

Значение коэффициента фильтрации (при установившемся расходе) изменялось в пределах 0,24–0,27 м/сут (или 0,17–0,19 мм/мин). Среднее значение для коэффициента фильтрации по данным натурных измерений составило 0,18 мм/мин, что соответствует 0,255 м/сут. По полученным данным построен график изменения коэффициента фильтрации (водопроницаемости) грунта во времени (рисунок 4).



**Рисунок 4 – График зависимости коэффициента фильтрации от времени наблюдения**

**Figure 4 – Dependency graph of the filtration coefficient on observation time**

В целях оценки достоверности результатов определения коэффициента фильтрации в натуральных условиях его значение также было определено расчетным методом с использованием данных о гранулометрическом составе почвогрунтов Яшкульского района Калмыкии (2022 г.) [21].

Расчет выполнен по эмпирической зависимости Крюгера [20]:

$$k_{18} = 1,44 \cdot 10^6 \cdot \frac{p}{\Theta^2},$$

где  $k_{18}$  – коэффициент фильтрации при 18 °С (м/сут);

$p$  – пористость грунта ( $p = 0,4$  д. ед., или 40 %);

$\Theta$  – суммарная поверхность частиц, заключенных в 1 см<sup>2</sup> грунта, см<sup>2</sup>.

Суммарная поверхность частиц, заключенных в 1 см<sup>2</sup> грунта, определяется как:

$$\Theta = 6 \cdot (1 - p) \cdot \sum \frac{q}{d},$$

где  $q$  – содержание фракций, д. ед.;

$d$  – средний диаметр частиц грунта, мм.

Порядок и результаты определения коэффициента фильтрации расчетным методом представлены в таблице 2, где  $k_{10}$  – коэффициент фильтрации при 10 °С, м/сут.

**Таблица 2 – Определение коэффициента фильтрации по формуле Крюгера**

**Table 2 – Determination of the filtration coefficient using the Kruger formula**

| Группа частиц грунта | Наименование частиц | Фракция частиц, см |                     | Содержание фракций $q$ , д. ед. | $\frac{q}{d}$ | Суммарная поверхность частиц $\Theta$ , см <sup>2</sup> | Коэффициент фильтрации, м/сут |          |
|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|---------------|---|-------------------------------|----------|
|                      |                     | Предел диаметров   | Средний диаметр $d$ |                                 |               |   | $k_{18}$                      | $k_{10}$ |
|                      |                     |                    |                     |                                 |               |   |                               |          |
| Физическая глина     | Ил                  | < 0,001            | 0,0005              | 0,18                            | 360,00        | 1398,4  | 0,295                         | 0,238    |
|                      | Пыль                | 0,001–0,005        | 0,003               | 0,04                            | 13,33         |   |                               |          |
|                      |                     | 0,005–0,01         | 0,0075              | 0,05                            | 6,67          |   |                               |          |
| Физический песок     | Песок               | 0,01–0,05          | 0,030               | 0,18                            | 6,00          |   |                               |          |
|                      |                     | 0,05–0,25          | 0,150               | 0,31                            | 2,07          |   |                               |          |
|                      |                     | 0,25–1,0           | 0,625               | 0,24                            | 0,38          |   |                               |          |

Содержание илстых частиц в грунте составляет 18,4 %. Содержание физической глины (суммарно) не превышает 30 %. Таким образом, согласно классификации Н. А. Качинского, грунты исследуемого района характеризуются как среднесуглинистые (с преобладанием песчаной фракции). Диапазон значений коэффициента фильтрации для данных грунтов составляет от 0,005 до 0,4 м/сут. По результатам расчета коэффициент фильтрации составил 0,238 м/сут, или 0,165 мм/мин.

### **Выводы**

1 В целях оценки потерь из канала Черноземельской ООС было определено значение коэффициента фильтрации связного грунта основания Яшкульского РК в натуральных условиях, которое составило 0,255 м/сут.

2 Для оценки достоверности полученного результата было определено расчетное значение коэффициента фильтрации с использованием данных о гранулометрическом составе почвогрунтов по эмпирической зависимости Крюгера. При этом значение данного показателя составило 0,238 м/сут.

3 Сравнение полученных значений показывает, что расчетный коэффициент фильтрации в целом сопоставим с опытным (полученным в натуральных условиях). Расхождение значений составило 7,1 %. Тем не менее расчетная оценка коэффициента фильтрации по эмпирическим зависимостям носит приближенный характер, поэтому в дальнейших фильтрационных расчетах насыпного участка Яшкульского РК будут учтены данные опытных измерений коэффициента фильтрации грунта основания рассматриваемого участка канала.

### **Список источников**

1. Гольдберг В. М., Скворцов Н. П. Проницаемость и фильтрация в глинах. М.: Недра, 1986. 160 с.
2. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1952. 676 с.
3. Волосенко А. А. Водопроницаемость грунтов // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений: сб. науч. тр. 4-й Всерос. науч.-практ. конф., г. Курск, 22 нояб. 2022 г. Курск: ЮЗГУ, 2022. С. 136–138. EDN: KZMSLI.

4. Курбанов С. О., Ханов Н. В. Основы оптимизации полигональных сечений гидротехнических каналов // Гидротехническое строительство. 2008. № 12. С. 27–31. EDN: JWCMZJ.
5. Ткачев А. А., Прочий Д. В. Анализ методов исследования и борьба с фильтрацией с применением глиноцементбетонного материала // Вестник мелиоративной науки. 2020. № 1. С. 32–39. EDN: WOOSPD.
6. Кадаева А. Г. К вопросу о качестве оросительных вод в Калмыкии // Вестник Калмыцкого института гуманитарных исследований РАН. 2013. № 6(1). С. 158–160. EDN: RAFTFD.
7. Косиченко Ю. М., Колганов А. В. Геоэкологическое состояние водных объектов в Республике Калмыкия // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 291–304. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1307> (дата обращения: 15.03.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-291-304. EDN: CTRVGB.
8. Колганов А. В., Баев О. А., Бакланова Д. В. Результаты натурных исследований магистрального канала в Республике Калмыкия // Природообустройство. 2022. № 3. С. 108–114. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-108-114. EDN: FWYGJS.
9. Намруева Л. В. Экологическая ситуация в современной Калмыкии: междисциплинарный анализ // Новые исследования Тувы. 2022. № 2. С. 102–114. DOI: 10.25178/nit.2022.2.7. EDN: UCOQDB.
10. Еремеев А. В., Гурьев А. П., Ханов Н. В. Исследование фильтрационных характеристик геомата с наполнителем из щебня и битум-полимера // Природообустройство. 2018. № 4. С. 48–53. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-4-48-53. EDN: YMBONJ.
11. Павловский Н. Н. Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные приложения. М.; Л., 1956. 771 с. (Собр. соч. Т. 2).
12. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. М.: Колос, 1982. 237 с.
13. Алтунин В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. М.: Колос, 1979. 255 с.
14. Сольский С. В., Лопатина М. Г., Домбска А. Лабораторные исследования фильтрационной прочности тонких прослоев несвязных грунтов // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. 2015. Т. 275. С. 59–67. EDN: UAAUYBT.
15. Береславский Э. Н., Лихачева Н. В. Математическое моделирование фильтрации из каналов и оросителей // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2012. № 3. С. 10–21. EDN: PCIUNL.
16. Анахаев К. Н. Свободная фильтрация из водотоков // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2004. № 5. С. 94–99. EDN: OVYFZZ.
17. Анискин Н. А., Антонов А. С. Исследование фильтрационного режима оснований высоких плотин на математических моделях // Гидротехническое строительство. 2016. № 10. С. 4–9. EDN: WZTNKZ.
18. Barkhordari S., Hashemy Shahdany S. M. A systematic approach for estimating water losses in irrigation canals // Water Science and Engineering. 2022. Vol. 15, iss. 2. P. 161–169. DOI: 10.1016/j.wse.2022.02.004. EDN: PUVRAQ.
19. Чижевская Н. А. Черноземельская обводнительно-оросительная система для Калмыкии // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки [Электронный ресурс]: сб. ст. по материалам LXXVIII Междунар. студенч. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2019. № 7(77). С. 31–33. URL: [https://sibac.info/archive/nature/7\(77\).pdf](https://sibac.info/archive/nature/7(77).pdf) (дата обращения: 15.03.2024). EDN: XBZZCL.

20. Барац Н. И., Шестаков В. Н. Определение коэффициента фильтрации грунтов: метод. указания к лаб. работе по механике грунтов. Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. 20 с.

21. Физико-химическое состояние почв Республики Калмыкия на примере Яшкульского района / А. Б. Адьянова, Н. В. Джимбеев, В. Т. Саянов, Р. А. Мукабенова, С. С. Манджиева // Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки: материалы Междунар. молодеж. науч. шк., г. Ростов-на-Дону, Таганрог, 27–30 сент. 2022 г. Ростов н/Д.: ЮФУ, 2022. С. 21–27. EDN: LPBARA.

## References

1. Goldberg V.M., Skvortsov N.P., 1986. *Pronitsaemost i filtratsiya v glinakh* [Permeability and Filtration in Clays]. Moscow, Nedra Publ., 160 p. (In Russian).

2. Polubarinova-Kochina P.Ya., 1952. *Teoriya dvizheniya gruntovykh vod* [Theory of Groundwater Movement]. Moscow, Technical-Theoretical Literature State Publ., 676 p. (In Russian).

3. Volosenko A.A., 2022. *Vodopronitsaemost' gruntov* [Water permeability of soils]. *Innovatsionnye metody proektirovaniya stroitel'nykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy: sb. nauch. trudov 4-y Vseros. nauchno-prakt. konferentsii* [Innovative Methods for Designing Building Structures of Buildings and Structures: Proc. of the 4<sup>th</sup> All-Russian Scientific-Practical Conference]. Kursk, South-West State University, pp. 136-138, EDN: KZMSLI. (In Russian).

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

5. Tkachev A.A., Prochiy D.V., 2020. *Analiz metodov issledovaniya i bor'ba s fil'tratsiyey s primeneniem glinotsementbetonnogo materiala* [Analysis of research methods and control of filtration using clay-cement concrete material]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bulletin of Reclamation Science], no. 1, pp. 32-39, EDN: WOCPD. (In Russian).

6. Kadaeva A.G., 2013. *K voprosu o kachestve orositel'nykh vod v Kalmykii* [On the issue of irrigation water quality in Kalmykia]. *Vestnik Kalmytskogo instituta gumanitarnykh issledovaniy RAN* [Bulletin of the KIH of the RAS], no. 6(1), pp. 158-160, EDN: RAFTFD. (In Russian).

7. Kosichenko Yu.M., Kolganov A.V., 2022. [Geoecological state of water bodies in the Republic of Kalmykia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 291-304, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1307> [accessed 15.03.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-291-304, EDN: CTRVGB. (In Russian).

8. Kolganov A.V., Baev O.A., Baklanova D.V., 2022. *Rezultaty naturnykh issledovaniy magistral'nogo kanala v Respublike Kalmykiya* [Results of field studies of the main canal in the Republic of Kalmykia]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 3, pp. 108-114, DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-108-114, EDN: FWYGJS. (In Russian).

9. Namrueva L.V., 2022. *Ekologicheskaya situatsiya v sovremennoy Kalmykii: mezhdistsiplinarynyy analiz* [Environmental situation in contemporary Kalmykia: interdisciplinary analysis]. *Novye issledovaniya Tuvy* [New Research of Tuva], no. 2, pp. 102-114, DOI: 10.25178/nit.2022.2.7, EDN: UCOQDB. (In Russian).

10. Ereemeev A.V., Guryev A.P., Khanov N.V., 2018. *Issledovanie fil'tratsionnykh kharakteristik geomata s zapolnitelem iz shchebnya i bitum-polimera* [Research of filtration characteristics of geomat with a crushed stone and bitum-polymer filler]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 48-53, DOI: 10.26897/1997-6011/2018-4-48-53, EDN: YMBOHJ. (In Russian).

11. Pavlovsky N.N., 1956. *Teoriya dvizheniya gruntovykh vod pod gidrotekhnicheskimi sooruzheniyami i yeye osnovnye prilozheniya (Sobr. soch. T. 2)* [Theory of Groundwater Movement under Hydraulic Structures and Its Main Applications: coll. ed., vol. 2]. Moscow, Leningrad, 771 p. (In Russian).
12. Averyanov S.F., 1982. *Fil'tratsiya iz kanalov i yeye vliyanie na rezhim gruntovykh vod* [Filtration from Canals and Its Influence on the Groundwater Regime]. Moscow, Kolos Publ., 237 p. (In Russian).
13. Altunin V.S., 1979. *Meliorativnye kanaly v zemlyanykh ruslakh* [Reclamation Canals in Earth Channels]. Moscow, Kolos Publ., 255 p. (In Russian).
14. Solsky S.V., Lopatina M.G., Domska A., 2015. *Laboratornye issledovaniya fil'tratsionnoy prochnosti tonkikh prosloev nesvyaznykh gruntov* [Laboratory studies of the filtration strength of thin layers of non-cohesive soils]. *Izvestiya Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B. Ye. Vedeneeva* [Proc. of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedeneev], vol. 275, pp. 59-67, EDN: UAA YBT. (In Russian).
15. Bereslavsky E.N., Likhacheva N.V., 2012. *Matematicheskoe modelirovanie fil'tratsii iz kanalov i orositeley* [Mathematical modeling of filtration flows from canals and sprinklers]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 10. Prikladnaya matematika. Informatika. Protsessy upravleniya* [Bull. of St. Petersburg University. Series 10. Applied Mathematics. Computer Science. Management Processes], no. 3, pp. 10-21, EDN: PCIUNL. (In Russian).
16. Anakhaev K.N., 2004. *Svobodnaya fil'tratsiya iz vodotokov* [Free filtration from watercourses]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Mekhanika zhidkosti i gaza* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Mechanics of Liquid and Gas], no. 5, pp. 94-99, EDN: OVYFZZ. (In Russian).
17. Aniskin N.A., Antonov A.S., 2016. *Issledovanie fil'tratsionnogo rezhima osnovnykh vysokikh plotin na matematicheskikh modelyakh* [Studying the filtration mode of large dams foundations on mathematical models]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 10, pp. 4-9, EDN: WZTNKZ. (In Russian).
18. Barkhordari S., Hashemy Shahdany S.M., 2022. A systematic approach for estimating water losses in irrigation canals. *Water Science and Engineering*, vol. 15, iss. 2, pp. 161-169, DOI: 10.1016/j.wse.2022.02.004, EDN: PUVRAQ.
19. Chizhevskaya N.A., 2019. *Chernozemel'skaya obvodnitel'no-orositel'naya sistema dlya Kalmykii* [Chernozemelskaya watering and irrigation system for Kalmykia]. *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Yestestvennyye nauki: sb. st. po materialam LXXVIII Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific Community of Students of the XXI Century. Natural Sciences: Collection of Articles Based on Proc. of the LXXVIII International Student Scientific-Practical Conference]. Novosibirsk, no. 7(77), pp. 31-33, available: [https://sibac.info/archive/nature/7\(77\).pdf](https://sibac.info/archive/nature/7(77).pdf) [accessed 15.03.2024], EDN: XBZZCL. (In Russian).
20. Barats N.I., Shestakov V.N., 2006. *Opredelenie koeffitsiyenta fil'tratsii gruntov: metod. ukazaniya k lab. rabote po mekhanike gruntov* [Determination of Soil Filtration Coefficient: Method. Guide to the Laboratory Work on Soil Mechanics]. Omsk, SibADI Publ., 20 p. (In Russian).
21. Adyanova A.B., Dzhimbeev N.V., Sayanov V.T., Mukabenova R.A., Mandzheva S.S., 2022. *Fiziko-khimicheskoe sostoyanie pochv Respubliki Kalmykiya na primere Yashkul'skogo rayona* [Physico-chemical state of soils in the Republic of Kalmykia using the example of the Yashkul region]. *Monitoring, okhrana i vosstanovlenie pochvennykh ekosistem v usloviyakh antropogennoy nagruzki: materialy Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy shkoly* [Monitor-

ing, Protection and Restoration of Soil Ecosystems under Anthropogenic Load: Proc. of the International Youth Scientific School]. Rostov-on-Don, Southern Federal University, pp. 21-27, EDN: LPBARA. (In Russian).

---

### ***Информация об авторах***

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

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

**Д. В. Бакланова** – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, d.baklanova@bk.ru, AuthorID: 618663, ORCID ID: 0000-0002-6149-5073.

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

**O. A. Baev** – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, Oleg-Baev1@ya.ru, AuthorID: 699695, ORCID ID: 0000-0003-0142-4270;

**V. F. Talalaeva** – Junior Researcher, Postgraduate Student, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, vika-silchenko@mail.ru, AuthorID: 988798, ORCID ID: 0000-0002-2541-204X;

**D. V. Baklanova** – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, d.baklanova@bk.ru, AuthorID: 618663, ORCID ID: 0000-0002-6149-5073.

*Вклад авторов: О. А. Баев – участие в формировании цели и задач исследования, участие в написании статьи; В. Ф. Талалаева – сбор и анализ данных, подготовка статьи, подготовка иллюстративного материала; Д. В. Бакланова – подготовка выводов, выполнение расчетов, участие в написании статьи.*

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

*Authors' contribution: O. A. Baev – participation in the formation of purposes and objectives of the research, participation in writing the article; V. F. Talalaeva – data collection and analysis, article and illustrative material preparation; D. V. Baklanova – conclusions preparation, calculations performance, participation in writing the 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 14.03.2024; одобрена после рецензирования 25.04.2024; принята к публикации 14.05.2024.*

*The article was submitted 14.03.2024; approved after reviewing 25.04.2024; accepted for publication 14.05.2024.*