

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научная статья

УДК 626.826

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-281-298

Расчетное исследование потерь воды из необлицованных каналов с учетом геолого-почвенных особенностей севера Калмыкии

Дарья Викторовна Бакланова¹, Александр Васильевич Колганов²,
Олег Андреевич Баев³

^{1, 2, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

²kolganov49@mail.ru

³Oleg-Baev1@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

Аннотация. Цель: проведение фильтрационных расчетов магистральных каналов (МК) и сопоставление (сравнительный анализ) полученных значений. **Материалы и методы.** Объектом исследования является водопроводящая сеть Сарпинской обводнительно-оросительной системы (СООС) на севере Калмыкии. Исходными данными для проведения исследования послужили материалы натурных обследований каналов системы, а также материалы служебного пользования, полученные в эксплуатирующей организации. При выполнении фильтрационных расчетов была учтена физико-географическая характеристика района расположения оросительной сети и использована методика расчета подпертой фильтрации из канала (в земляном русле) в условиях установившегося движения фильтрационного потока. Расчет основывался на применении метода фильтрационных сопротивлений. **Результаты и обсуждение.** С учетом особенностей геолого-почвенных условий северных районов Калмыкии определены расчетные значения фильтрационных потерь из МК системы, которые составили 2,7–6,51 л/(сут·кв. м) для расчетных участков МК ВР-1 и 5,46 л/(сут·кв. м) – для МК Р-1. Сопоставление полученных данных для МК СООС с результатами исследований необлицованных участков Большого Ставропольского канала, проложенных в схожих геологических условиях, подтвердило предположение авторов о том, что на значения фильтрационных расходов из МК значительное влияние оказало присутствие в основании каналов глинистых отложений. **Выводы.** В результате исследований установлено, что на величину фильтрационных потерь из МК СООС значительное влияние оказывают геолого-почвенные особенности участка размещения системы, и в частности малая водопроницаемость покровных суглинков, а также присутствие водоупорных хвалынских глин морского происхождения. Исследованиями других авторов подтверждено, что близкое залегание данных глин к дневной поверхности способствует подтоплению и засолению земель, это не было учтено при развитии орошения на севере региона.

Ключевые слова: оросительные системы, орошение, грунтовые воды, подпертая фильтрация, коэффициент фильтрации, магистральный канал, земляное русло, режим грунтовых вод, хвалынские глины

Для цитирования: 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. 2023. Т. 13, № 2. С. 281–298. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-281-298>.



HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Computational study of water loss from unlined canals taking into account the geological and soil features of the North of Kalmykia

Darya V. Baklanova¹, Aleksandr V. Kolganov², Oleg A. Baev³

^{1, 2, 3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

²kolganov49@mail.ru

³Oleg-Baev1@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

Abstract. Purpose: carrying out filtration calculations of the main canals (MC) and comparison (comparative analysis) of the obtained values. **Materials and methods.** The object of study is the water supply network of the Sarpinsky irrigation and watering system (SOOS) in the North of Kalmykia. The initial data for the study were the field survey data of the system canals, as well as materials for official use obtained in the operating organization. When performing filtration calculations, the physical and geographical features of the irrigation network location area were taken into account and the method for calculating backed filtration from a canal (in an earth channel) was used under conditions of a steady movement of the seepage discharge. The calculation was based on the application of the filtration resistance method. **Results and discussion.** Taking into account the features of the geological and soil conditions of the northern regions of Kalmykia, the calculated values of filtration losses from the MC system were determined, which amounted to 2.7–6.51 l/(day sq. m) for the calculated sections of the MC VR-1 and 5.46 l/(day sq. m) – for MC R-1. Comparison of the data obtained for the MC SOOS with the results of studies of unlined sections of the Great Stavropol Canal, laid in the similar geological conditions, confirmed the authors' assumption that the values of seepage flow rates from the MC were significantly affected by the presence of clay soils at the canal bottom. **Conclusions.** As a result of the research, it was found that the value of filtration losses from MC SOOS is significantly affected by the geological and soil features of the system location area, and in particular the low permeability of mantle loams, as well as the presence of impervious Khvalyn clays of marine origin. The studies of other authors have confirmed that the close occurrence of these clays to the day surface contributes to flooding and land salinization, this was not taken into account when developing irrigation in the north of the region.

Keywords: irrigation systems, irrigation, groundwater, backed seepage, filtration coefficient, main canal, earth channel, groundwater regime, Khvalyn clays

For citation: Baklanova D. V., Kolganov A. V., Baev O. A. Computational study of water loss from unlined canals taking into account the geological and soil features of the North of Kalmykia. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(2):281–298. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-281-298>.

Введение. Оросительные каналы Калмыкии введены в эксплуатацию более 40–60 лет назад, ввиду этого их русла и элементы гидротехнических сооружений (ГТС) нуждаются в восстановлении [1, 2]. Так, Сарпинская обводнительно-оросительная система (СООС) эксплуатируется с 1960 г. и

обеспечивает водоподачу в лиманы и рисовые карты-чеки, расположенные в Малодербетовском и Октябрьском районах Калмыкии. Опираясь на данные технико-эксплуатационных карт СООС (за 2017–2021 гг.), установили, что объемы потерь воды при ее транспортировке водопотребителю достигают 23–37,5 % от общего годового объема водозабора в систему [3]. Ввиду того, что значительные потери воды способствуют развитию негативных явлений (поднятие уровня грунтовых вод, подтопление, заболачивание, засоление приканальных территорий), оценка фильтрационных потерь из необлицованных каналов СООС является актуальной задачей.

Целью исследований являлось проведение фильтрационных расчетов на примере магистральных каналов (МК) СООС и сопоставление (сравнительный анализ) полученных значений.

Исследованиям фильтрации из каналов посвящены работы Н. Н. Павловского [4], Е. А. Замарина [5], В. В. Ведерникова, Н. Н. Веригина [6], В. С. Алтунина [7], С. Ф. Аверьянова [8], П. Я. Полубариновой-Кочиной [9], А. Я. Олейника [10] и др. [11–17].

Материалы и методы. Объектом исследования является водопроводящая сеть МК ВР-1 и Р-1 СООС. Исходными данными для проведения исследования послужили материалы натурных обследований каналов и ГТС СООС [2], а также материалы служебного пользования по рассматриваемой системе, полученные в эксплуатирующей организации.

При выполнении фильтрационных расчетов была учтена нижеследующая физико-географическая характеристика района расположения СООС.

Рельеф. Рассматриваемые МК СООС расположены в пределах Малодербетовского и Октябрьского районов Республики Калмыкия. Территория данных районов представлена преимущественно плоским однообразным рельефом местности, который характерен для всей Сарпинской низменности. Поверхность местности имеет слабые уклоны, общее падение на протяжении 240 км составляет примерно 30 м ($i = 0,00012$).

Климатическая характеристика района исследований. Сарпинская низменность относится к зоне недостаточного увлажнения и характеризуется резко континентальным семиаридным и аридным климатом с сухим жарким летом и малоснежной умеренно холодной зимой. Средняя температура января составляет минус 8 °С, июля – плюс 27 °С. Количество осадков не превышает $P = 243...278$ мм/год, а количество испарившейся влаги доходит до $E_o = 1100...1180$ мм/год [18]. То есть разница между испаряемостью и количеством выпавших осадков может достигать 857–902 мм/год, а средний коэффициент увлажнения KY_{cp} , согласно данным Г. Н. Высоцкого, Н. А. Шумовой [19, 20], составит $KY_{cp} = P / E_o = 0,23$, что соответствует экстрааридным территориям и подтверждает дефицит влаги в данном районе [21].

Геология исследуемой территории во многом определяет характер и специфику выполненных фильтрационных расчетов, так как район исследований сложен мощной толщей осадочных песчано-глинистых отложений. Значительного развития в них достигают шоколадные хвалынские глины, преобладающие на глубинах от 0 до 10 м. Согласно данным Доклада об использовании Сарпинской низменности под рисосеяние¹, почвообразующими породами служат покровные суглинки тяжелого механического состава с содержанием физической глины 50–60 %, низкой водопроницаемостью 0,1 мм/мин. Мощность покровных суглинков, которые залегают под маломощным гумусным слоем (до 0,3 м), колеблется в пределах $T_{суг} = 1,5...2,5$ м. На глубине 2,0–2,5 м покровные суглинки подстилаются шоколадными хвалынскими глинами [22], которые отличаются высокой плотностью, вязкостью, тяжелым механическим составом и высокой степенью засоления. Более подробно сведения о структуре, мощности и ко-

¹Доклад об использовании Сарпинской низменности под рисосеяние / Госземводхоз РСФСР, Южгипроводхоз. Ростов н/Д., 1964.

эфицентах фильтрации отдельных слоев грунтов, залегающих в основании каналов, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Общие сведения о грунтах основания

Table 1 – General information about the bottom soils

Грунт	Мощность (толщина) слоя T_n , м	Коэффициент фильтрации k_n , м/сут
Покровные суглинки (с высоким содержанием глины до 50–60 %)	1,5–2,5	0,144
Шоколадные глины	7–10	$\leq 0,001$

Почвенно-мелиоративные условия в зоне действия СООС непростые, массивы возделывания риса расположены на светло-каштановых и бурых полупустынных почвах в комплексе с солонцами. Согласно данным В. В. Бородычева, Э. Б. Дедовой, Ю. И. Сухарева [18], только 43 % от общей площади орошаемых земель степной части Сарпинской низменности находятся в удовлетворительном состоянии, остальные (57 %) подвержены вторичному засолению и осолонцеванию. В исследовании Е. И. Кравченко, Н. Б. Хитровой, И. Н. Гороховой [23] отмечено, что в районе Сарпинской ложбины Прикаспийской низменности преобладает естественное засоление почв преимущественно глубже 1 м, связанное с близким залеганием хвалынских шоколадных глин морского происхождения.

Гидрографическая сеть рассматриваемого района характеризуется застойными условиями водообмена. Имеющиеся озера интенсивно зарастают, а летом пересыхают и превращаются в солонцово-солончаковые лиманные урочища.

В исследованиях В. А. Александрова² отмечено, что СООС находится на слабодренированной территории с близким залеганием водоупора (шоколадных глин), повсеместно проявляются негативные явления подтопления и засоления прилегающих к системе территорий, подтапливают-

²Александров В. А. Методы регионального контроля мелиоративного состояния орошаемых земель Калмыкии на основе комплексного использования наземной и аэрокосмической информации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02. М., 1995. 27 с.

ся населенные пункты. Сбросные воды Волгоградской области также существенно ухудшают мелиоративную и экологическую обстановку северных районов Калмыкии.

Верхняя граница залегания грунтовых вод в пределах Сарпинской низменности расположена на глубинах 1,8–2,2 м [18], нижняя граница расположения грунтового потока составляет 15 м. Зеркало грунтовых вод имеет слабый уклон в сторону Каспия. Воды минерализованы (до 10 г/л), чаще преобладают воды гидрокарбонатно-натриевого состава, реже хлоридно-натриевые.

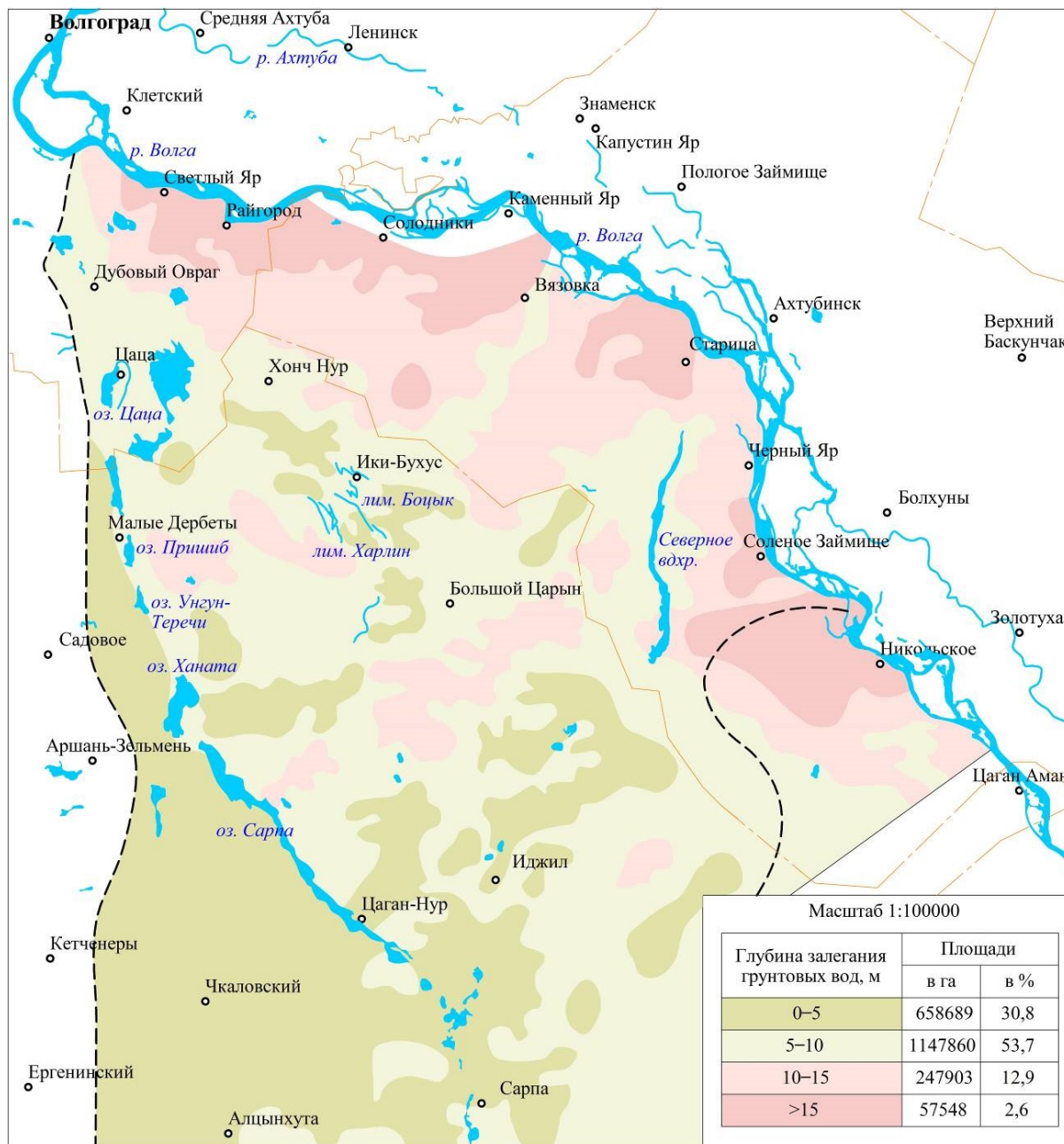
Пологий рельеф в сочетании с малой водопроницаемостью шоколадных глин определяет высокий естественный уровень грунтовых вод [24], ввиду чего при определении фильтрационных потерь была рассмотрена расчетная схема подпертой фильтрации, где роль водоупора выполняют шоколадные хвалынские глины. При определении фильтрационного расхода на отдельных участках каналов СООС глубина залегания грунтовых вод оценивалась по карте, приведенной на рисунке 1.

Принятые допущения при выполнении фильтрационных расчетов:

- грунт в основании каналов считается однородным изотропным (т. е. коэффициент фильтрации во всех направлениях и в любых точках области фильтрации постоянный);
- водоупор принимается теоретически водонепроницаемым;
- принятая в расчетах глубина наполнения канала не изменяется во времени, т. е. рассматривается установившаяся фильтрация;
- движение фильтрационного потока подчиняется закону Дарси [7];
- подпор грунтовых вод симметричен относительно оси канала.

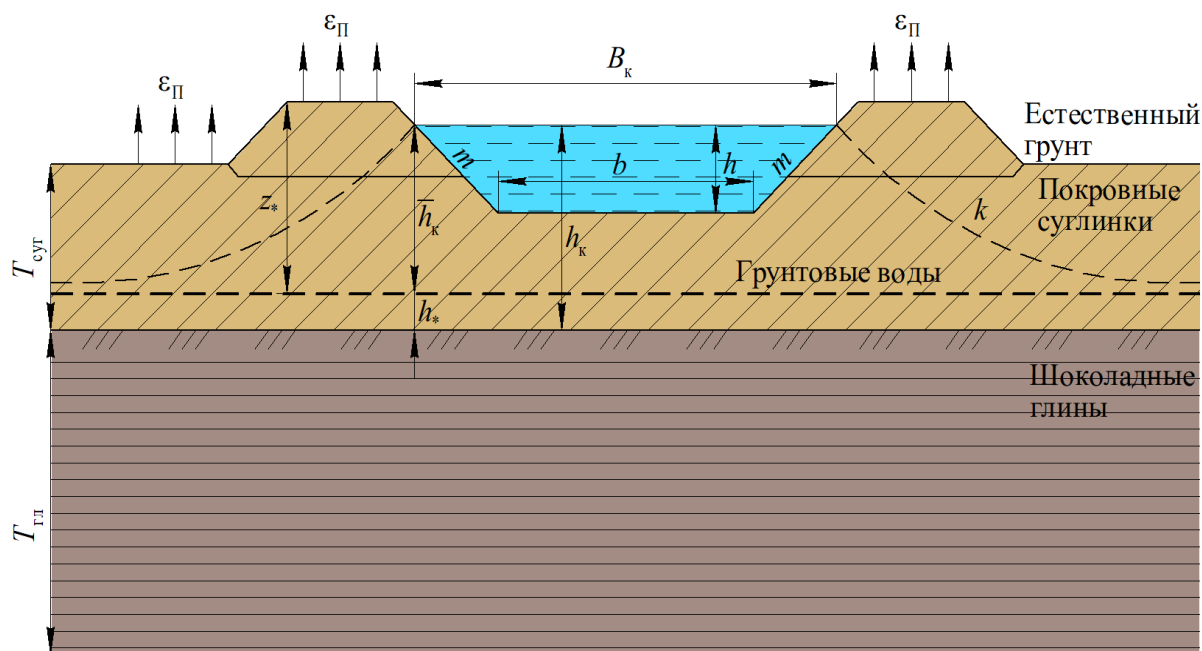
Методика фильтрационных расчетов и расчетная схема. Для выполнения расчетов была использована методика расчета подпертой фильтрации из канала (в земляном русле) в условиях установившегося движения фильтрационного потока. Расчет основывался на применении метода

фильтрационных сопротивлений А. Я. Олейника [10] при условии, что глубина воды в канале по сравнению с его шириной по урезу мала. Применительно к каналам СООС их основание учитывалось как однослойное, а хвалынские (шоколадные) глины, подстилающие покровные суглинки, учитывались как первый от поверхности земли водоупор. Расчетная схема для основания канала в полувыемке-полунасыпи представлена на рисунке 2.



**Рисунок 1 – Карта глубин залегания грунтовых вод
в пределах Сарпинской низменности**

Figure 1 – Map of the groundwater depth within the Sarpinsky lowland



B_k – ширина канала по урезу воды, м; b – ширина канала по дну, м; h – глубина воды в канале, м; m – коэффициент заложения откоса; ε_{Π} – интенсивность испарения с поверхности земли, м/сут; $T_{\text{гл}}$ – мощность слоя глин, м; $T_{\text{суг}}$ – мощность слоя покровных суглинков, м; h_* – мощность естественного уровня грунтовых вод до подошвы первого слоя, м; h_k – глубина от уровня воды в канале до водоупора, м; $\bar{h}_k$ – разность уровней воды в канале и уровня грунтовых вод (по отношению к водоупору), м; z_* – критическая глубина грунтовых вод, м; k – коэффициент фильтрации грунта, м/сут

Рисунок 2 – Расчетная схема подпертой фильтрации из канала Сарпинской обводнительно-оросительной системы

Figure 2 – Calculation scheme of backed filtration from the Sarpinsky irrigation system canal

Расчетная зависимость для определения одностороннего удельного расхода из канала в земляном русле q_k , м²/сут, имеет вид [10, 25]:

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_{\Pi}}}}, \quad (1)$$

где T – средняя проводимость водоносной толщи, м²/сут;

$\bar{h}_k$ – разность уровней воды в канале и уровня грунтовых вод (по отношению к водоупору), м;

Φ_k – фильтрационное сопротивление, обусловленное гидродинамическим несовершенством канала, м;

z_* – критическая глубина грунтовых вод, при которой $\varepsilon = 0$, м;

ε_{Π} – интенсивность испарения с поверхности земли, м/сут;

ε – интенсивность испарения с поверхности грунтовых вод, м/сут, находится как:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\Pi} \left(1 - \frac{z}{z_*} \right), \quad (2)$$

где z – глубина грунтовых вод, м.

Если рассматривать основание канала как однослойное, среднюю проводимость водоносной толщи T , м²/сут, можно определить по формуле:

$$T = k \left(h_* + \frac{\bar{h}_k}{2} \right), \quad (3)$$

где k – коэффициент фильтрации грунта основания канала (покровные суглинки), м/сут;

h_* – мощность естественного уровня грунтовых вод до подошвы первого слоя, м.

При этом $\bar{h}_k$, м, определяется по формуле:

$$\bar{h}_k = h_k - h_*, \quad (4)$$

где h_k – глубина от уровня воды в канале до водоупора, м.

Фильтрационное сопротивление Φ_k , м, обусловленное гидродинамическим несовершенством канала, определяется суммой фильтрационных сопротивлений дна Φ'_k , м, и откосов Φ''_k , м, канала [25, 26]:

$$\Phi_k = \Phi'_k + 2\Phi''_k. \quad (5)$$

В формуле (5) размерные фильтрационные сопротивления дна и откосов канала определяются по зависимостям [10]:

$$\Phi'_k = h_k f'_k, \quad \Phi''_k = h_k f''_k, \quad (6)$$

$$f'_k = \frac{B_k}{2h_k} - 1,466 \lg \operatorname{ch} \frac{\pi B_k}{4h_k}, \quad f''_k = 0,733 \lg \operatorname{cth} \frac{\pi B_k}{4h_k}, \quad (7)$$

где B_k – ширина канала по урезу воды, м;

f'_k, f''_k – безразмерные фильтрационные сопротивления.

Общий (двухсторонний) удельный расход на фильтрацию из канала Q_ϕ , м²/сут, определяется по формуле³:

$$Q_\phi = 2 \cdot q_k. \quad (8)$$

Тогда:

- потери на фильтрацию на 1 м² $Q_{\phi 1 \text{ м}^2}$, л/(сут·м²), составят:

$$Q_{\phi 1 \text{ м}^2} = \frac{Q_\phi}{\chi} \cdot 1000, \quad (9)$$

где χ – смоченный периметр канала, м, который определяется по СП 100.13330.2016⁴:

$$\chi = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}, \quad (10)$$

где b – ширина канала по дну, м;

h – глубина воды в канале, м;

m – коэффициент заложения откоса;

- потери на фильтрацию на всем расчетном участке составят Q_{ϕ_i} , м³/сут:

$$Q_{\phi_i} = Q_\phi \cdot l_i, \quad (11)$$

где l_i – длина расчетного участка, м.

Результаты и обсуждение. Расчеты подпертой установившейся фильтрации из канала в земляном русле при отсутствии приканального дренажа выполнены по формулам (1)–(11) для расчетных участков МК ВР-1 и Р-1. Расчеты были автоматизированы в программном комплексе Mathcad

³Угроватова Е. Г. Экспериментально-расчетное обоснование гидравлических и фильтрационных сопротивлений крупных магистральных каналов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.16. Новочеркасск, 2017. 23 с.

⁴Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85: СП 100.13330.2016: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.16: введ. в действие с 17.06.17. М.: Стандартинформ, 2016. 229 с.

с учетом длины каждого отдельного участка, ширины канала по основанию, глубины наполнения, глубины залегания грунтовых вод. Результаты фильтрационных расчетов сведены в таблицу 2.

Потери на фильтрацию на 1 м^2 из МК СООС колеблются в пределах 2,7–6,51 л/(сут·м²). Сопоставление полученных данных с результатами натурных исследований необлицованных участков БСК [27] (таблица 3), протрассированных в схожих инженерно-геологических условиях, подтвердило предположение авторов о том, что на значения фильтрационных расходов из МК значительное влияние оказало присутствие в основании каналов глинистых отложений.

Так, для участков III–VI МК ВР-1 потери на фильтрацию на 1 м^2 составили 5,43–6,51 л/(сут·м²), для участков I–III МК Р-1 – 5,46 л/(сут·м²), а для участков БСК-2, проложенных в четвертичных глинах с малой водопроницаемостью [27], – 7 л/(сут·м²).

Для сравнения в таблице 3 также приведено расчетное значение фильтрационных потерь для БСК-1 $Q_{\text{ф.1м}^2} = 26,42 \text{ л/(сут·м}^2\text{)}$, полученное по аналогичной методике, где грунтами основания выступили суглинки ($k_{\text{ф.суг.}} = 0,5 \text{ м/сут}$) и щебеночные отложения ($k_{\text{ф.щ.}} = 5 \text{ м/сут}$).

Необходимо отметить, что на величину фильтрационных потерь из МК СООС значительное влияние оказывает малая водопроницаемость покровных суглинков, а также присутствие водоупорных хвалынских глин, которые относятся к верхнечетвертичным морским глинам морского происхождения и являются хорошим водоупором, этим и объясняются малые значения потерь, однако факт их присутствия способствует подъему уровня грунтовых вод [28, 29], это не было учтено при строительстве СООС на территориях с близким залеганием данных глин к дневной поверхности.

Таблица 2 – Расчетные значения фильтрационных параметров участков магистрального канала
Table 2 – Calculated values of filtration parameters of the Main Canal sections

№ участ- ка	Пикетаж	Q , м ³ /с	h , м	B_k , м	Фильтрационное сопротивление			T , м ² /сут	q_k , м ² /сут	Q_ϕ , м ² /сут	$Q_{\phi 1м^2}$, л/(сут·м ²)	Q_{ϕ_i} , м ³ /сут
					f'_k	f''_k	Φ_k , м					
МК ВР-1 (при максимальных расходах в начале каждого участка)												
I	ПК 245 + 70 – ПК 332 + 00	38	4	41	0,443	0	2,127	0,389	0,057	0,114	2,70	982,7
II	ПК 332 + 00 – ПК 397 + 53	16	2,5	35	0,443	0	2,126	0,389	0,057	0,114	3,19	754,2
III	ПК 397 + 53 – ПК 668 + 62	9,6	4	41	0,443	0	2,127	0,389	0,057	0,114	2,70	3097,0
IV	ПК 668 + 62 – ПК 847 + 24	12,5	4	41	0,442	0	3,364	0,590	0,115	0,230	5,43	4068
V	ПК 847 + 24 – ПК 1086 + 02	10,0	4	34	0,442	0	3,365	0,590	0,115	0,230	6,51	5493
VI	ПК 1086 + 02 – ПК 1216 + 64	15,0	4	34	0,442	0	3,365	0,590	0,115	0,230	6,51	3011
МК Р-1 (при максимальных расходах в начале каждого участка)												
I	ПК 603 – ПК 1145	7,1	3	22	0,441	0	2,259	0,41	0,063	0,125	5,46	6800
II	ПК 1145 + 76 – ПК 1177	10	3	22	0,441	0	2,259	0,41	0,063	0,125	5,46	388,95
III	ПК 1177 – ПК 1262	10	3	22	0,441	0	2,259	0,41	0,063	0,125	5,46	1066

Таблица 3 – Потери на фильтрацию из магистральных каналов Сарпинской обводнительно-оросительной системы и БСК-1, БСК-2

Table 3 – Filtration losses from the Main Canals of the Sarpinsky irrigation and watering system and BSK-1, BSK-2

Канал (земляное русло)	Q , м ³ /с (в голове)	h , м	b , м	z_* , м	ε_{II} , м/сут	h_k , м	Грунт основания	k , м/сут	$Q_{ф1м^2}$, л/(сут·м ²)
МК ВР-1	38	4	17 (20)	4,5	0,0025 ⁵	4,8 (участки I–III)	Покровные суглин- ки; хвалынские глины	$\frac{0,144^*}{\leq 0,001^{**}}$	2,7–3,19
						7,6 (участки III–VI)			5,43–6,51
МК Р-1	7,1	3	4			5,1			5,46
БСК-2 (ПК 48 – ПК 80) [27]	60	3,68	–	–	–	> 0,6	Глины четвертич- ные	–	7,0
БСК-1 (по Е. Г. Угроватовой)	180	5,1	23	4	0,0030	10	Суглинки; щебе- ночные отложения	$\frac{0,5^*}{5^{**}}$	26,42
Примечания * – коэффициент фильтрации грунта первого слоя основания. ** – коэффициент фильтрации грунта второго слоя основания.									

⁵Схема комплексного использования и охраны водных объектов бессточных районов междуречья Терека, Дона и Волги. Приложение 6. Пояснительная записка к книге 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://zkbvu.ru/upload/medialibrary/b60/b609b89eb9e69ebd0d0ca305d6516708.pdf> (дата обращения: 20.07.2022).

Выводы. С учетом особенностей геолого-почвенных условий северных районов Калмыкии определены расчетные значения фильтрационных потерь из МК системы, которые составили 2,7–6,51 л/(сут·м²) для расчетных участков МК ВР-1 и 5,46 л/(сут·м²) – для МК Р-1.

Сопоставление полученных данных для МК СООС с результатами исследований на необлицованном участке БСК, проложенном в схожих геологических условиях, подтвердило предположение авторов о том, что на значения фильтрационных расходов из МК значительное влияние оказало присутствие в основании каналов глинистых отложений.

Таким образом, на величину фильтрационных потерь из МК СООС значительное влияние оказывают геолого-почвенные особенности участка размещения системы, и в частности малая водопроницаемость покровных суглинков, а также присутствие водоупорных хвалынских глин морского происхождения. Исследованиями других авторов подтверждено, что близкое залегание данных глин к дневной поверхности способствует подтоплению и засолению земель, это не было учтено при развитии орошения на севере региона.

Список источников

1. Дедова Э. Б., Шабанов Р. М., Дедов А. А. Пути повышения эффективности функционирования рисовой оросительной системы на территории Сарпинской низменности // *Colloquium-journal*. 2019. № 5(29). С. 41–43.
2. Колганов А. В., Баев О. А., Бакланова Д. В. Результаты натурных исследований магистрального канала в Республике Калмыкия // *Природообустройство*. 2022. № 3. С. 108–114. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-3-108-114>.
3. Бакланова Д. В. Пути обеспечения рационального и эффективного водопотребления в зоне действия Сарпинской обводнительно-оросительной системы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2022. № 2(86). С. 22–31.
4. Павловский Н. Н. Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные приложения. Собр. соч. Т. 2. М.; Л., 1956. 771 с.
5. Волков И. М., Кононенко П. Ф., Федичкин И. К. Гидротехнические сооружения. М.: Колос, 1968. 464 с.
6. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем / С. В. Васильев, Н. Н. Веригин, Б. А. Глейзер, Г. А. Разумов, В. К. Рудаков, В. С. Саркисян, Б. С. Шержуков; под ред. Н. Н. Веригина. М.: Колос, 1970. 440 с.
7. Алтунин В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. М.: Колос, 1979. 255 с.

8. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. М.: Колос, 1982. 237 с.
9. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977. 664 с.
10. Олейник А. Я. Геогидродинамика дренажа. Киев: Наукова думка, 1981. 283 с.
11. Рукавишников А. А., Абдразаков Ф. К. Исключение непроизводительных потерь водных ресурсов из оросительной сети за счет использования инновационных облицовочных материалов // Аграрный научный журнал. 2019. № 10. С. 91–94. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i10pp91-94>.
12. Бакланова Д. В., Косиченко Ю. М. Оценка достоверности расчетов удельного фильтрационного расхода через насыпную дамбу необлицованного канала // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2022. № 2(86). С. 135–142.
13. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Особенности гидравлических и фильтрационных расчетов осушительно-оросительной системы // Природообустройство. 2021. № 4. С. 90–98. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98.
14. Calculation of filtration process in channels / A. Arifjanov, L. Samiev, I. Ahmedkhodjaeva, Q. Rakhimov, S. Sobirov // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. 02026. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126302026>.
15. Naidu C., Giridhar M. Irrigation demand VS supply - Remote Sensing and GIS approach // Journal of Geoscience and Environment Protection. 2016. № 4. P. 43–49. DOI: 10.4236/gep.2016.41005.
16. Barkhordari S., Shahdany S. M. H. A systematic approach for estimating water losses in irrigation canals // Water Science and Engineering. 2022. Vol. 15, iss. 2. P. 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2022.02.004>.
17. Ткачев А. А., Прочий Д. В. Анализ методов исследования и борьба с фильтрацией с применением глиноцементбетонного материала // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: материалы науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 13–20 июля 2020 г. Новочеркасск: Лик, 2020. С. 132–140.
18. Бородычев В. В., Дедова Э. Б., Сухарев Ю. И. Ресурсно-экологическая оценка рисовых агроландшафтов Сарпинской низменности // Природообустройство. 2016. № 2. С. 55–61.
19. Высоцкий Г. Н. Избранные труды. М.: Сельхозгиз, 1960. 435 с.
20. Шумова Н. А. Водохозяйственные аспекты землепользования в Республике Калмыкия в современных климатических условиях // Степи Северной Евразии: материалы IX Междунар. симп. Оренбург: ОГУ, 2021. С. 880–887. DOI: 10.24412/cl-36359-2021-880-887.
21. Геоэкологические последствия хозяйственной деятельности в Республике Калмыкия: учеб. пособие / М. М. Сангаджиев, Т. В. Манджиева, С. А. Сангаджиева, В. А. Онкаев. Элиста: Проф. наука, 2020. 222 с.
22. Комарова И. А., Иванцова Е. А. Лесомелиоративная оценка агроландшафтов Сарпинской низменности по данным дистанционного зондирования // Успехи современного естествознания. 2020. № 9. С. 7–12. DOI: 10.17513/use.37463.
23. Кравченко Е. И., Хитров Н. Б., Горохова И. Н. Распределение засоления орошаемых почв в районе Сарпинской ложбины Прикаспийской низменности // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 5–48. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-5-48.
24. Кошелев А. В., Тубалов А. А. Оценка плодородия орошаемых земель Волгоградского Заволжья современными методами исследований // Научно-агрономический журнал. 2020. № 4(111). С. 35–42. DOI: 10.34736/FNC.2020.111.4.007.35-42.
25. Баев О. А. Расчеты установившейся свободной фильтрации из необлицованных каналов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3.

С. 227–243. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1303-field12.pdf (дата обращения: 13.07.2022). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-227-243.

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

27. Косиченко Ю. М. Гидравлические и экологические аспекты эксплуатации каналов. Новочеркасск: НГМА, 2000. 230 с.

28. Пындак В. И., Лобойко В. Ф. Особенности геолого-почвенных условий развития орошения в Нижнем Поволжье // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. № 5. С. 41–42.

29. Хвалынские глины Прикаспия и их возможности / В. И. Пындак, Е. А. Литвинов, А. Е. Новиков, А. С. Межевова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 4(40). С. 64–68.

References

1. Dedova E.B., Shabanov R.M., Dedov A.A., 2019. *Puti povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya risovoy orositel'noy sistemy na territorii Sarpinskoy nizmennosti* [Ways to improve operating efficiency of rice irrigation system on the Sarpinskaya lowland territory]. Colloquium-Journal, no. 5(29), pp. 41-43. (In Russian).

2. 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, <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-3-108-114>. (In Russian).

3. Baklanova D.V., 2022. *Puti obespecheniya ratsional'nogo i effektivnogo vodopotrebleniya v zone deystviya Sarpinskoy obvodnitel'no-orositel'noy sistemy* [Ways of ensuring rational and efficient water consumption in the Sarpinsky irrigation and watering system zone]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(86), pp. 22-31. (In Russian).

4. Pavlovsky N.N., 1956. *Teoriya dvizheniya gruntovykh vod pod gidrotekhnicheskimi sooruzheniyami i ee osnovnye prilozheniya* [The theory of Ground Water Movement under Hydraulic Structures and Its Main Applications]. Collected Edition, vol. 2, Moscow, Leningrad, 771 p. (In Russian).

5. Volkov I.M., Kononenko P.F., Fedichkin I.K., 1968. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Hydrotechnical Structures]. Moscow, Kolos Publ., 464 p. (In Russian).

6. Vasiliev S.V., Verigin N.N., Gleizer B.A., Razumov G.A., Rudakov V.K., Sarkisyan V.S., Sherzhukov B.S., 1970. *Metody fil'tratsionnykh raschetov gidromeliorativnykh sistem* [Methods of Filtration Calculations of Irrigation and Drainage Systems]. Moscow, Kolos Publ., 440 p. (In Russian).

7. Altunin V.S., 1979. *Meliorativnye kanaly v zemlyanykh ruslakh* [Reclamation Canals in Earth Channels]. Moscow, Kolos Publ., 255 p. (In Russian).

8. Averyanov S.F., 1982. *Fil'tratsiya iz kanalov i ee vliyanie na rezhim gruntovykh vod* [Filtration from Channels and Its Influence on the Regime of Groundwater]. Moscow, Kolos Publ., 237 p. (In Russian).

9. Polubarinova-Kochina P.Ya., 1977. *Teoriya dvizheniya gruntovykh vod* [Theory of Groundwater Movement]. Moscow, Nauka Publ., 664 p. (In Russian).

10. Oleinik A.Ya., 1981. *Geogidrodinamika drenazha* [Geohydrodynamics of Drainage]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 283 p. (In Russian).

11. Rukavishnikov A.A., Abdrazakov F.K., 2019. *Isklyuchenie neproizvoditel'nykh poter' vodnykh resursov iz orositel'noy seti za schet ispol'zovaniya innovatsionnykh oblitsovochnykh materialov* [Elimination of unproductive losses of water resources from the irrigation network through the use of innovative facing materials]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*

[Agrarian Scientific Journal], no. 10, pp. 91-94, <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i10pp91-94>. (In Russian).

12. Baklanova D.V., Kosichenko Yu.M., 2022. *Otsenka dostovernosti raschetov udel'nogo fil'tratsionnogo raskhoda cherez nasypnuyu dambu neoblitsovannogo kanala* [Assessment of the reliability of calculations of the specific seepage discharge through the fill dam of an unlined canal]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(86), pp. 135-142. (In Russian).

13. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2021. *Osobennosti gidravlicheskih i fil'tratsionnykh raschetov osushitel'no-orositel'noy sistemy* [Features of hydraulic and filtration calculations of a drainage and irrigation system]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 90-98, DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98. (In Russian).

14. Arifjanov A., Samiev L., Ahmedkhodjaeva I., Rakhimov Q., Sobirov S., 2021. Calculation of filtration process in channels. *E3S Web of Conferences*, vol. 263, 02026, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126302026>.

15. Naidu C., Giridhar M., 2016. Irrigation demand VS supply - Remote Sensing and GIS approach. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, no. 4, pp. 43-49, DOI: 10.4236/gep.2016.41005.

16. Barkhordari S., Shahdany S.M.H., 2022. A systematic approach for estimating water losses in irrigation canals. *Water Science and Engineering*, vol. 15, iss. 2, pp. 161-169, <https://doi.org/10.1016/j.wse.2022.02.004>.

17. 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]. *Melioratsiya kak drayver modernizatsii APK v usloviyakh izmeneniya klimata: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Land Reclamation as a Driver for Agro-Industrial Complex Modernization under Climate Change: Proc. of Scientific-Practical Conference]. Novocherkassk, Lik Publ., pp. 132-140. (In Russian).

18. Borodychev V.V., Dedova E.B., Sukharev Yu.I., 2016. *Resursno-ekologicheskaya otsenka risovykh agrolandshaftov Sarpinskoy nizmennosti* [Resource-ecological assessment of rice agrolandscapes of the Sarpinsky lowland]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 55-61. (In Russian).

19. Vysotsky G.N., 1960. *Izbrannye trudy* [Selected Works]. Moscow, Selkhozgiz Publ., 435 p. (In Russian).

20. Shumova N.A., 2021. *Vodokhozyaystvennye aspekty zemlepol'zovaniya v Respublike Kalmykiya v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh* [Water management aspects of land use in the Republic Kalmykia under current climatic conditions]. *Stepi Severnoy Evrazii: materialy IX Mezhdunarodnogo simposiuma* [Steppes of Northern Eurasia: Proc. of the IX International Symposium]. Orenburg, OGU, pp. 880-887, DOI: 10.24412/cl-36359-2021-880-887. (In Russian).

21. Sangadzhiev M.M., Mandzhieva T.V., Sangadzhieva S.A., Onkaev V.A., 2020. *Geoekologicheskie posledstviya khozyaystvennoy deyatel'nosti v Respublike Kalmykiya: ucheb. posobie* [Geoecological Consequences of Economic Activity in the Republic of Kalmykia: textbook]. Elista, Prof. Science Publ., 222 p. (In Russian).

22. Komarova I.A., Ivantsova E.A., 2020. *Lesomeliorativnaya otsenka agrolandshaftov Sarpinskoy nizmennosti po dannym distantsionnogo zondirovaniya* [Forest reclamation evaluation of agricultural landscapes of the Sarpinsky lowland based on remote sensing data]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], no. 9, pp. 7-12, DOI: 10.17513/use.37463. (In Russian).

23. Kravchenko E.I., Khitrov N.B., Gorohova I.N., 2021. *Raspredelenie zasoleniya oroshaemykh pochv v rayone Sarpinskoy lozhbiny Prikaspiyskoy nizmennosti* [Distribution of salinity in irrigated soils in the area of the Sarpinskaya hollow of the Caspian lowland].

Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva [Dokuchaev Soil Bulletin], iss. 106, pp. 5-48, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-5-48. (In Russian).

24. Koshelev A.V., Tubalov A.A., 2020. *Otsenka plodorodiya oroshaemykh zemel' Volgogradskogo Zavolzh'ya sovremennymi metodami issledovaniy* [Irrigated lands fertility estimation of the Volgograd Trans-Volga Region by contemporary research methods]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and Agronomic Journal], no. 4(111), pp. 35-42, DOI: 10.34736/FNC.2020.111.4.007.35-42. (In Russian).

25. Baev O.A., 2022. [Calculations of steady free seepage from unlined canals]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 227-243, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1303-field12.pdf [accessed 13.01.2022], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-227-243. (In Russian).

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

27. Kosichenko Yu.M., 2000. *Gidravlicheskie i ekologicheskie aspekty ekspluatatsii kanalov* [Hydraulic and Environmental Aspects of Canal Operation]. Novocherkassk, NGMA Publ., 230 p. (In Russian).

28. Pyndak V.I., Loboiko V.F., 2008. *Osobennosti geologo-pochvennykh usloviy razvitiya orosheniya v Nizhnem Povolzh'e* [Features of geological and soil conditions for the development of irrigation in the Lower Volga region]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 5, pp. 41-42. (In Russian).

29. Pyndak V.I., Litvinov E.A., Novikov A.E., Mezhevova A.S., 2015. *Khvalynskie gliny Prikaspiya i ikh vozmozhnosti* [Khvalynsk clays of the Caspian Sea and their possibilities]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 4(40), pp. 64-68. (In Russian).

Информация об авторах

Д. В. Бакланова – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук;

А. В. Колганов – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор;

О. А. Баев – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the authors

D. V. Baklanova – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences;

A. V. Kolganov – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor;

O. A. Baev – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences.

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

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

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

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.01.2023; одобрена после рецензирования 07.03.2023; принята к публикации 17.03.2023.

The article was submitted 30.01.2023; approved after reviewing 07.03.2023; accepted for publication 17.03.2023.