

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,  
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 624.042.3:626/627

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-237-255

**Расчет нагрузки на противоселевые сооружения**

**Ульяна Роландовна Сидаравичуте<sup>1</sup>, Денис Владимирович Сухарев<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар,  
Российская Федерация

<sup>1</sup>dd600902@gmail.com

<sup>2</sup>Sukharev.D@kubsau.ru

**Аннотация. Цель:** в полевых условиях исследовать территорию горноклиматического курорта «Альпика-Сервис» Северо-Западного Кавказа вблизи села Эсто-Садок Краснополянского поселкового округа Адлерского района г. Сочи на предмет опасных геологических процессов; на базе проведенного полевого обследования территории определить зоны аккумуляции селей, оценить состояние имеющихся противоселевых сооружений; произвести необходимые расчеты селевого потока в программе для проектирования гибких систем инженерной защиты DEBFLOW, по итогам которых предложить мероприятия по стабилизации ситуации. **Методы и материалы.** В ходе исследования описаны виды противоселевых сооружений, определено, что по климатическому районированию участок относится к подрайону III Б1. Определены морфометрические параметры селевых потоков путем забора проб и полевых обследований. На базе программного обеспечения DEBFLOW проведен расчет нагрузки на каждый проектируемый барьер. **Результаты:** на территории объекта обнаружены три селевых бассейна, которые при затяжных ливневых дождях и снеготаянии образуют селевые потоки, наносящие ущерб сооружениям олимпийской инфраструктуры, в т. ч. канатной дороге «Аибга-2» и объектам инженерной защиты, технологической дороге, антенно-мачтовому сооружению № 2, пешеходному переходу горноклиматического курорта «Альпика-Сервис». **Выводы.** На основе полевых обследований установлено, что имеющихся сооружений защиты от селевых потоков недостаточно для обеспечения полной безопасности олимпийских объектов и прилегающих сооружений. По данным расчетов даны рекомендации по стабилизации ситуации, а именно вдоль Сулимовского ручья: установка гибких противоселевых барьеров, размещение сети водоотводных нагорных канав и проведение мероприятий по противоэрозионной защите.

**Ключевые слова:** противоселевые сооружения, защитные сооружения, селевой поток, нагрузка на защитный барьер, гидротехническое строительство, морфометрические параметры, Северо-Западный Кавказ, DEBFLOW

**Для цитирования:** Сидаравичуте У. Р., Сухарев Д. В. Расчет нагрузки на противоселевые сооружения // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 237–255. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-237-255>.

HYDRAULIC ENGINEERING,  
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Mudflow protection structure load calculation**

**Uliana R. Sidaravichute<sup>1</sup>, Denis V. Sukharev<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

<sup>1</sup>dd600902@gmail.com

<sup>2</sup>Sukharev.D@kubsau.ru

**Abstract. Purpose:** to explore the territory of the alpine-climatic resort “Alpika-Service” in the North-Western Caucasus near the village of Esto-Sadok, Krasnopolyansky settlement district of Adler region of Sochi in field conditions for dangerous geological processes; on the basis of the conducted field survey of the territory, to determine the zones of mudflow accumulation, to assess the state of the existing mudflow protection structures; to make the necessary calculations of the mudflow in the program for designing flexible engineering protection systems DEBFLOW and to propose measures to stabilize the situation on this basis. **Methods and materials.** In the course of research, the types of mudflow protection structures were described, it was determined that, according to climatic zoning, the site belongs to subarea III B1. The morphometric parameters of mudflows were determined by sampling and field surveys. On the basis of the DEBFLOW software, the calculation of the load on each designed barrier was carried out. **Results:** three mudflow basins were found on the territory of the facility, which, during prolonged heavy rains and snowmelt, form mudflows causing damage to Olympic infrastructure facilities, including the Aibga-2 cable car and engineering protection facilities, a technological road, an antenna-mast building no. 2, a pedestrian crossing of the Alpika-Service alpine-climatic resort. **Conclusions.** On the basis of field surveys, it was determined that the existing mudflow protection facilities are not enough to ensure the complete safety of the Olympic facilities and adjacent buildings. According to the calculations, the recommendations to stabilize the situation, namely along the Sulimovsky stream were given: installation of flexible mudflow protection barriers, placement of a network of catch drains and implementation of erosion-control measures.

**Keywords:** mudflow protection structures, protection structures, mudflow, load on the protective barrier, hydraulic engineering construction, morphometric parameters, North-Western Caucasus, DEBFLOW

**For citation:** Sidaravichute U. R., Sukharev D. V. Mudflow protection structure load calculation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(3):237–255. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-237-255>.

**Введение.** На всей территории Российской Федерации широко распространены сели [1]. Они наносят значительный урон не только линейным объектам, но и населенным пунктам, сельскохозяйственным и промышленным предприятиям, национальной экономике и отдельным местным жителям. Для защиты зданий и сооружений от селевых потоков возводят противоселевые сооружения и конструкции, предварительно производят расчеты нагрузки селевого потока на барьер и вместимости селеудерживающего сооружения [2]. На территории Северо-Западного Кавказа анализ селевого риска территории, который включает в себя вероятность события и возможные последствия, показал, что наибольшим значением

селевого риска территории ( $R$ , %) обладает Центральный район ( $R = 78$  %), далее следует Южный район ( $R = 56$  %), потом Приморский и Восточный районы соответственно ( $R = 36$  % и  $R = 29$  %) [3]. Объект исследований находится в границах Приморского района Северо-Западного Кавказа.

**Материалы и методы.** Больше половины площади в границах обследуемого объекта покрыто лесами с наличием вечнозеленых пород. На всей территории повсеместно распространен подлесок из рододендрона кавказского. Это препятствует образованию селевых потоков, но густая растительность не дает стопроцентной защиты от селевых потоков (рисунок 1) [4].



**Рисунок 1 – Селевое русло на территории Северо-Западного Кавказа  
(автор фото У. Р. Сидаравичуте)**

**Figure 1 – Mudflow channel in the North-Western Caucasus  
(photo by U. R. Sidaravichute)**

По типу селевого потока сели делят на связные, несвязные, наносоводные. Для несвязных селей характерна значительная доля грубообломочного материала, для связных – пылевато-глинистых фракций. В твер-

дой составляющей наносоводного селя преобладает грубообломочный материал, плотность такой селевой смеси варьируется от 1200 до 1600 кг/м<sup>3</sup><sup>1</sup>.

К активным методам защиты относят: противоселевые мероприятия, направленные на предотвращение формирования селевых потоков, ослабление селеактивности бассейна, т. е. интенсивности развития селевого процесса во времени и пространстве<sup>2</sup>.

Противоселевые сооружения относятся к сооружениям инженерной защиты, которые должны обеспечивать надежность, возможность проведения систематических наблюдений и др. [5]. Типология противоселевых сооружений представлена в таблице 1 [4].

**Таблица 1 – Виды противоселевых сооружений по ОДМ 218.2.052-2015**  
**Table 1 – Types of mudflow protection structures according to ODM 218.2.052-2015**

Отличительный признак сооружения		Вид противоселевого защитного сооружения
по назначению	по местоположению	
Селезадерживающие	Русловые	Системы противоселевых подпорных запруд-барражей; одиночные селезадерживающие запруды и плотины; глубинные котлованы-уловители; боковые удерживающие площадки и т. д.
Селепропускные		Каналы, селеспуски, мосты
Селенаправляющие		Направляющие и ограждающие дамбы, шпоры
Селепредотвращающие		Водорегулирующие плотины; водосбросы на озерных перемычках
Стабилизирующие	Склоновые и русловые	Террасы, нагорные водосборные канавы, подпорные стены, дренажные устройства, барражи, пороги

Для селезадерживающих и селепредотвращающих сооружений класс ответственности определяется в зависимости от типа грунтов и их высоты.

<sup>1</sup>Инженерные изыскания для строительства в районах развития селевых процессов [Электронный ресурс]: СП 479.1325800.2019: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации 04.12.19: введ. в действие с 05.06.20. М.: Стандартинформ, 2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565565870> (дата обращения: 20.03.2023).

<sup>2</sup>Проектирование и строительство противоселевых сооружений для защиты автомобильных дорог [Электронный ресурс]: ОДМ 218.2.052-2015: введ. в действие с 16.09.15. М., 2015. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456050231> (дата обращения: 20.03.2023).

Для селенаправляющих и селепропускных сооружений, расположенных на территории без населенных пунктов, – IV класс, при наличии населенных пунктов – III. Стабилизирующим сооружениям присваивается IV класс<sup>3</sup>.

Контроль за состоянием противоселевых сооружений проводится на всех селеопасных участках и включает в себя комплекс организационно-технических мероприятий. В соответствии с ОДМ 218.2.052-2015 мониторинг сооружений проводится с целью:

- контроля состояния селевых бассейнов и средств защиты;
- раннего обнаружения селевых потоков;
- фиксации параметров селей.

Целью настоящих исследований являлось обоснование необходимости проведения мероприятий по стабилизации ситуации в отношении возможных селевых потоков на территории объекта, а также подбор оптимальных сооружений инженерной защиты.

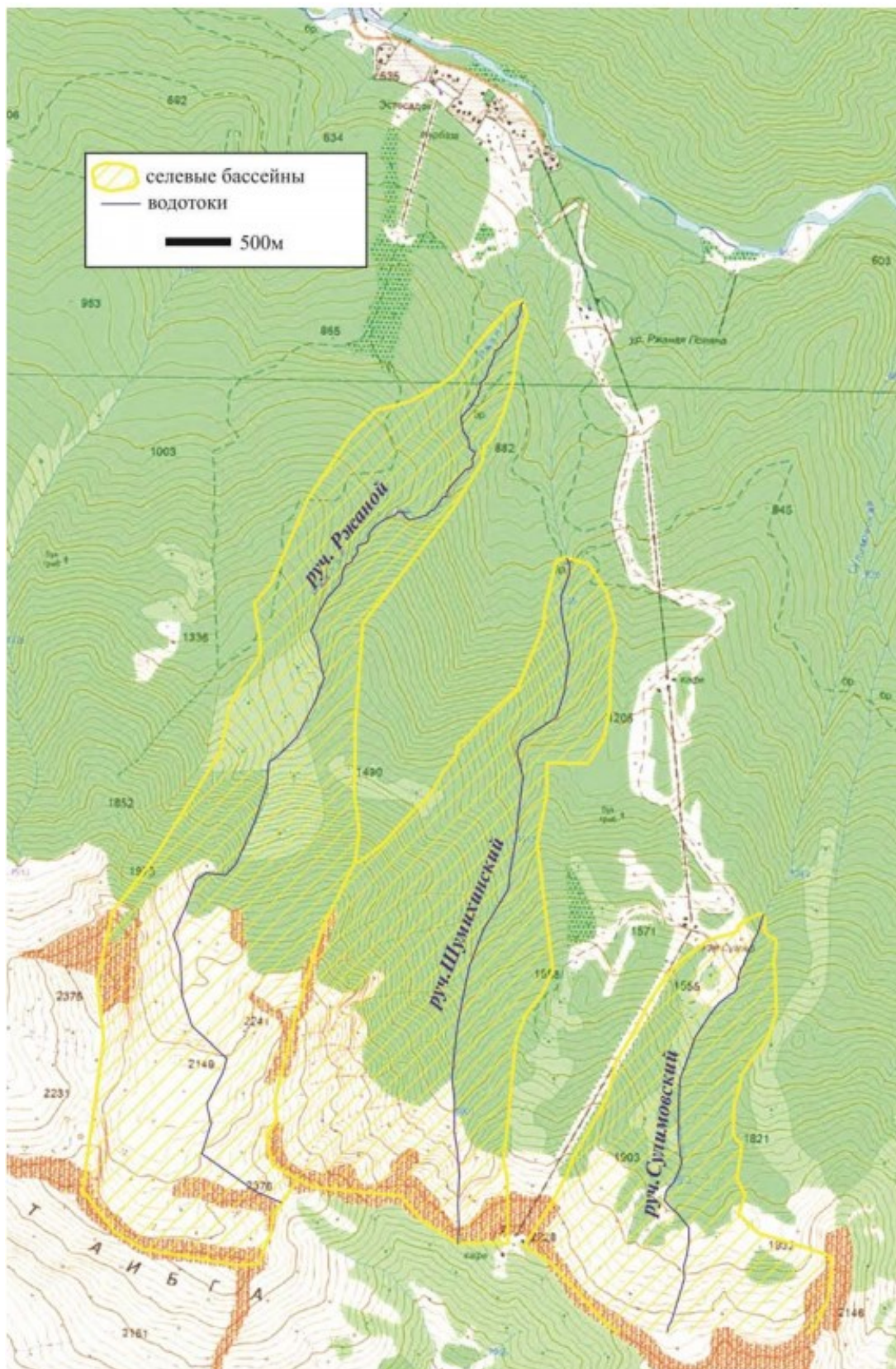
**Результаты и их обсуждение.** В процессе оценки селеопасности на объекте «Горноклиматический курорт «Альпика-Сервис»» по результатам дешифрирования аэрофотоснимков были обнаружены селевые бассейны (рисунок 2), они были исследованы для дальнейшего проведения работ на объекте. В период полевых обследований уточнялись границы селевых бассейнов, их параметры, обследовалась эрозионная и селевая деятельность на площадке горноклиматического курорта.

По климатическому районированию для строительства исследуемый участок относится к подрайону III Б1<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup>Гидротехнические сооружения. Основные положения [Электронный ресурс]: СП 58.13330.2019: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-коммун. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.19: введ. в действие с 17.06.20. М.: Стандартинформ, 2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564542210> (дата обращения: 20.03.2023).

<sup>4</sup>Строительная климатология [Электронный ресурс]: СП 131.13330.2020: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-коммун. хоз-ва Рос. Федерации 24.12.20: введ. в действие с 25.06.21. М.: Стандартинформ, 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (дата обращения: 20.03.2023).



**Рисунок 2 – Селевые бассейны на территории горноклиматического курорта «Альпика-Сервис»**

**Figure 2 – Mudflow basins on the territory of the alpine-climatic resort “Alpika-Service”**

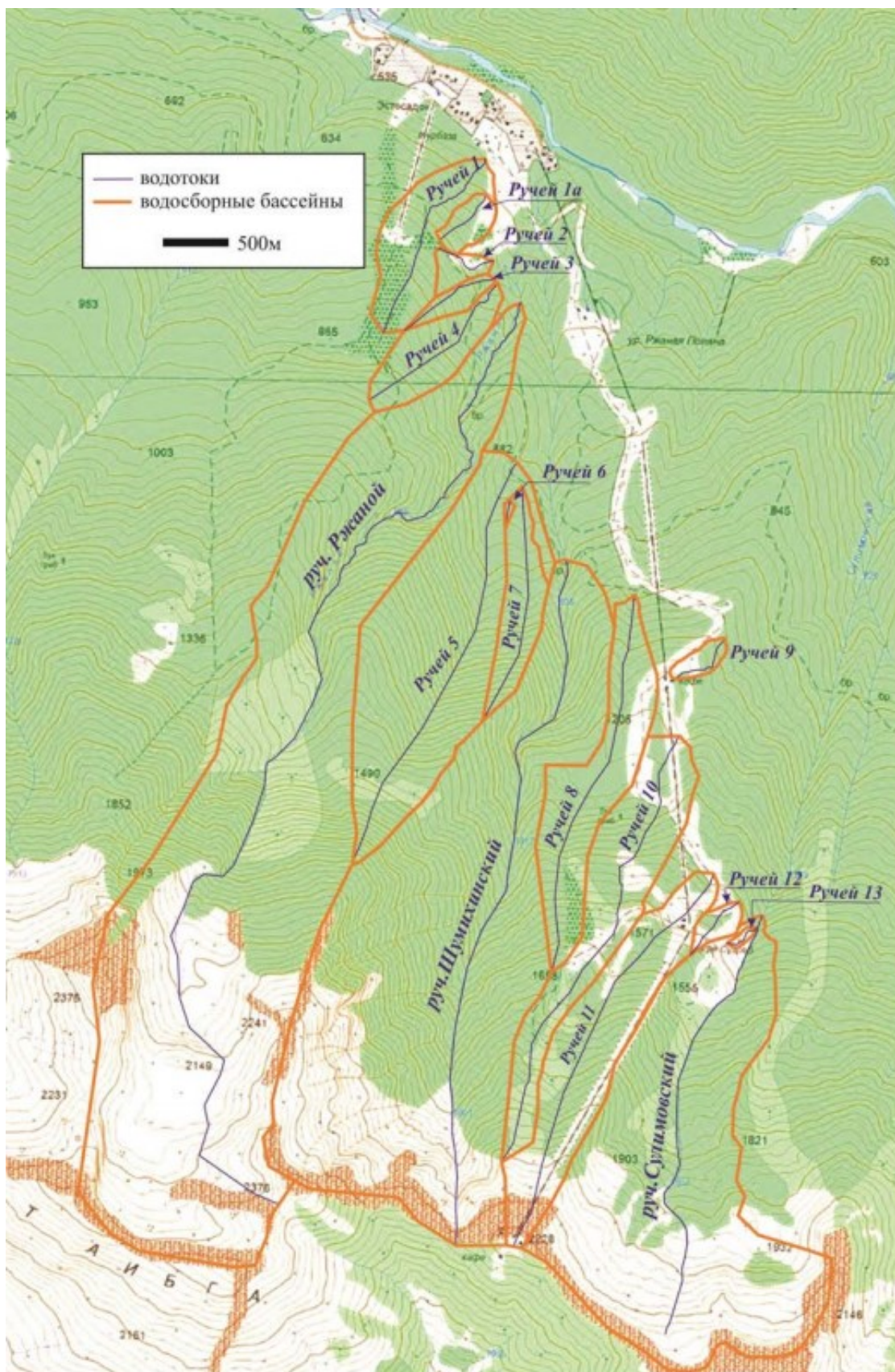
Объект находится на Западном Кавказе, примерно в 40 км от побережья Черного моря, на левом склоне долины среднего течения горной реки Мзымта (впадает в Черное море) вблизи села Эсто-Садок Краснополянского поселкового округа. В бассейне р. Мзымта выявлено 65 селевых русел. Площадь пораженности селями составляет 510 км<sup>2</sup> [6].

Северо-Западный Кавказ характеризуется слабым развитием селевых процессов и низким уровнем изученности. Селевой процесс начал развиваться здесь после уничтожения лесов и открытия карьера по добыче сырья для цементных заводов [7]. Сели сходили в 1925, 1929, 1931 гг., приводя к значительному ущербу. В регионе основным фактором эрозии почвы являются дождевые осадки, что приводит к раскалыванию р. Мзымта на систему глубоких бассейнов, которые являются остатками тысячелетних впадин, а затем превращаются в вытянутую заболоченную впадину [8, 9]. На территории изысканий обнаружено три постоянных водотока и 13 временных водосборов, последние из которых активизируются в период затяжных дождей (рисунок 3).

В границах территории изысканий и окружающей местности развиты опасные геологические процессы, такие как:

- сейсмичность;
- трещиноватость и дробление пород коренной основы;
- линейная и плоскостная эрозия;
- крип;
- склоновые процессы.

По результатам полевых обследований территории изыскания вычислены морфометрические характеристики селевых бассейнов ручьев Ржаного, Шумихинского и Сулимовского. Определены длина русла, площадь водозабора и уклоны, данные представлены в таблице 2, где уклоны указаны в промилле (‰), 1 ‰ – тысячная часть чего-либо.



**Рисунок 3 – Водосборы на территории объекта «Альпика-Сервис»**  
**Figure 3 – Watersheds on the territory of the Alpika-Service facility**



**Таблица 2 – Морфометрические параметры селевых бассейнов горноклиматического курорта**

**Table 2 – Morphometric parameters of mudflow basins of the alpine-climatic resort**

Водоток	Средний уклон водотока, ‰	Средневзвешенный угол наклона русла, ‰	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Длина русла, км
Ручей Ржаной, горнолыжная трасса № 1	357	321	2,35	4,58
Ручей Шумихинский, горнолыжная трасса № 1	425	321	1,77	2,89
Водозабор № 2, ручей Шумихинский	425	321	1,77	2,89
Водозабор № 1, ручей Сулимовский	405	398	1,18	2,07

Согласно инструкции по определению расчетных характеристик дождевых селей<sup>5</sup> и руководству по изучению селевых потоков<sup>6</sup> определялись количественные параметры селевых потоков. На этой основе были сделаны выводы о распространении селевых потоков и их опасности в пределах площадки строительства горноклиматического курорта «Альпика-Сервис» и предложены мероприятия по снижению селевой опасности.

Вдоль Сулимовского ручья предусмотрен следующий состав сооружений инженерной защиты:

- противоселевые барьеры;
- противоэрозионная защита;
- сеть водоотводных нагорных канав.

Противоэрозионная защита выполняется по типу системы «Дельта-Икс»: укладка на спланированный откос высокопрочной металлической сетки с закреплением ее на поверхности металлическими скобами из арма-

<sup>5</sup>Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей [Электронный ресурс]: ВСН 03-76: утв. Минтрансстроем СССР 02.03.76, Главгидрометслужбой 24.02.76: введ. в действие с 01.10.76. Л.: Гидрометеиздат, 1976. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200082772> (дата обращения: 20.03.2023).

<sup>6</sup>Руководство селестоковым станциям и гидрографическим партиям. Вып. 1. Организация и проведение работ по изучению селей [Электронный ресурс]: РД 52.30.238-89: утв. Гос. ком. СССР по гидрометеорологии: введ. в действие с 01.04.91. М.: Гидрометиздат, 1990. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200082883> (дата обращения: 20.03.2023).

туры. Под стальную сеть укладывается противоэрозионный материал. Для предотвращения вывалов грунта на локальных участках предусмотрено устройство сети натяжных канатов над металлической сеткой. Для придания эстетического вида на поверхности противоэрозионной защиты склона устраивается гидропосев из многолетних трав.

Существующее противоселевое сооружение защищает трансформаторную будку от селевых потоков в районе железнодорожного вокзала «Альпика-Сервис». Она расположена в бассейне ручья Ржаного (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Верхняя противоселевая сетка  
(автор фото У. Р. Сидаравичуте)**

**Figure 4 – Upper mudflow protection grid  
(photo by U. R. Sidaravichute)**

Для отвода поверхностных вод в существующие русла ручьев сооружается сеть водоотводных канав. Каждая канава представляет собой U-образный лоток, выложенный геотекстилем. Далее укладываются матрацы, которые заполняются камнем. Матрацы по бортам канавы закрепляются в анкерной канавке с помощью анкеров из стальной горячекатаной арматуры.

Противоселевые сооружения служат для ослабления и задержания вероятного селевого потока в случае его прохождения по руслу ручья [10]. В русле ручья устраивается три селеудерживающих барьера. Они представляют собой кольчужную сетку, натянутую поперек русла, прикрепленную с помощью стальных канатов к железобетонным фундаментным блокам. Проектное положение блоков обеспечивается несколькими грунтовыми анкерами. Дополнительно вдоль направления течения ручья в обе стороны от барьеров устраивается укрепление русла с помощью габионных сетчатых изделий [11].

Согласно специальным техническим условиям (ВСН 03-76 «Инструкция по определению характеристик дождевых селей») противоселевые барьеры следует рассчитывать на максимальный объем селя с вероятностью превышения 1 %. Скорость селевого потока  $v$ , м/с, определена для каждой габионной сетки по формуле (таблица 3):

$$v = 0,56 \cdot Q_{c1\%}^{0,2} \cdot I_y^{0,3} \cdot W_{от1\%}^{0,2},$$

где  $Q_{c1\%}$  – расход селевого потока с 1% обеспеченностью, м<sup>3</sup>/с;

$I_y$  – средний уклон водотока в пределах расчетного участка, ‰;

$W_{от1\%}$  – коэффициент текучести для пика селевого потока с 1% обеспеченностью.

**Таблица 3 – Расчет скорости селевого потока 1% обеспеченности**

**Table 3 – Mudflow velocity calculation of 1% probability**

Створ	$Q_{c1\%}$ , м <sup>3</sup> /с	$I_y$ , ‰	$W_{от1\%}$	$v$ , м/с
№ 2	4,1	299	0,053	2,28
№ 3	6,6	298	0,175	3,18
№ 4	6,5	298	0,175	3,17

Расчет нагрузки селевого потока выполнен в программе для проектирования гибких систем для защиты от селевых потоков DEBFLOW. Программа базируется на методе эмпирических расчетов с применением формул, описанных в Empirical relationships for debris flows (сила удара потока,

удерживаемый объем, скорость селевого потока) и японских указаниях по селевым потокам (Strickier) для расчета скорости селевого потока. Идея разработчиков заключается в автоматизированном подборе конструкций, которые будут иметь аргументированное обоснование возведения того или иного типа сооружения. Например, в России долгое время расчеты производились вручную, что отнимало немалое время, которое тратилось на проведение инженерных изысканий и изучение информации о селевых явлениях, только после этого приступали к подбору типа конструкций. Компанией GEOBRUGG разработана аналогичная программа FARO, которая также позволяет рассчитать требуемые параметры барьеров, но она основана на модели конечных элементов и представляет собой разработку для моделирования возможных воздействий на барьер селевыми потоками, лавинами, камнепадами и т. д. В то время как DEBFLOW основана на многократных полномасштабных испытаниях, а также на лабораторных исследованиях, что позволяет ей определить всевозможные воздействия на противоселевые барьеры, а главное, подобрать гибкий барьер для конкретного створа.

Программное обеспечение DEBFLOW решает задачи проектирования противоселевых сооружений. Система автоматически создает отчет, в котором приведены расчеты, включающие такие показатели, как тип и плотность селя, объем селя, пиковый расход, коэффициент надежности выбранного типа конструкции. Расчет нагрузки селевого потока для I типа конструкции в ручье Сулимовском приведен в таблице 4.

**Таблица 4 – Расчет нагрузки селевого потока для I типа конструкции (створ № 2)**

**Table 4 – Mudflow load calculation for type I construction (section line no. 2)**

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
1	2	3	4
Тип и плотность селя			
Тип грязевого потока	Гур	Типичный	–
Плотность селевой массы	$\rho$	2300	кг/м <sup>3</sup>
Вес селевой массы	$\gamma$	22,6	кН/м <sup>3</sup>
Содержание жидкой составляющей	$\omega$	0,21	–

Продолжение таблицы 4

Table 4 continued

1	2	3	4
Объем селя и количество волн			
Совокупный объем селя (включая воду)	$V_{tot,max}$	1600	м <sup>3</sup>
Количество волн	$H$	3	–
Средний объем волны	$V_H$	533	м <sup>3</sup>
Объем первой волны	$V_{N1}$	800	м <sup>3</sup>
Пиковый расход			
Пиковый расход	$Q_p$	7	м <sup>3</sup> /с
Коэффициент надежности			
Общий коэффициент надежности	$SF$	1,5	–

Расчеты нагрузок для створов № 3 и 4 проведены аналогично.

Расчет удерживаемого объема селевого потока проведен в программном обеспечении DEBFLOW, результаты сведены в таблицу 5.

**Таблица 5 – Расчет удерживаемого объема**

**Table 5 – Retention volume calculation**

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Удерживаемый объем			
Общий объем	$V_{r,tot}$	1866	м <sup>3</sup>
Требуемый объем	$V_{tot,max}$	1600	м <sup>3</sup>
Запас	$V_{r,reserve}$	266	м <sup>3</sup>

Согласно п. 2.16.8 ВСН 03-76 «Инструкция по определению характеристик дождевых селей» при определении высоты конструкции инженерной защиты необходимо учитывать уравнильный уклон  $i$  селевых отложений:

$$i = 2/3 \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $\operatorname{tg} \alpha$  – уклон естественного русла.

Угол  $\alpha$  для естественного русла в створе № 2 равен 22°.

При подборе типа конструкций учитываются: итоги расчетов удерживаемого материала, результаты расчета скорости селевого потока, результаты определения нагрузки селевого потока на противоселевое сооружение. После ввода исходных данных получены оптимальные типы конструкций для защиты объектов горноклиматического курорта от селевых потоков (таблица 6).

**Таблица 6 – Подбор типа конструкций для створа № 2**  
**Table 6 – Selection of the structure type for section line no. 2**

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Геометрия створа			
Высота системы	$H_{0,1}$	5	м
Ширина русла на уровне нижнего каната	$b_{u,1}$	5	м
Ширина русла на уровне верхнего каната	$b_{o,1}$	22	м
Расстояние до вышележащего барьера	$L_{0,1}$	65	м
Уклон русла и объем удерживаемого материала			
Высота заполненной системы	$H_{1,1}$	3,8	м
Средний уклон русла выше барьера	$l_{c,1}$	40	%
Уклон поверхности задержанного барьером материала	$l'_{c,1}$	27	%
Угол между сетью и тальвегом русла	$\xi$	73,2	°
Длина задержанного барьером материала	$L_1$	31,7	м
Удерживаемый объем	$V_{r,1}$	768	м <sup>3</sup>
Скорость фронта и высота потока			
Скорость фронта	$V_{str}$	3,7	м/с
Скорость при ударе в месте установки барьера	$V_1$	2,3	м/с
Высота потока	$h$	0,6	м
Максимальная высота нижнего проема	$h_{d,1}$	0,4	м
Тип конструкции – противоселевой барьер с опорой, высота которого 5–6 м, ширина – до 25 м.			

Подбор требуемого типа конструкций для створов № 3 и 4 выполнен по аналогии.

Тип конструкции для створа № 3 – противоселевой барьер без опоры, высота которого 5–6 м, ширина – до 15 м. Тип конструкции для створа № 4 – противоселевой барьер без опоры, высота которого 4–5 м, ширина – до 15 м. Конструкции без опоры применимы для узких долин и русел небольших горных рек<sup>7</sup>. Результаты расчетов вместимости селеудерживающих сооружений, проектируемых в створах № 2, 3, 4, сведены в таблицу 7.

Суммарный объем вместимости селеудерживающих сооружений составляет 1,866 тыс. м<sup>3</sup> при совокупном объеме селевого потока 1,600 тыс. м<sup>3</sup>.

<sup>7</sup>GEOBRUGG [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geobrugg.com/ru/Geobrugg-Safety-is-our-nature-114436.html> (дата обращения: 19.03.2023).

**Таблица 7 – Расчет вместимости селеудерживающих барьеров**  
**Table 7 – Capacity calculation of mudflow barriers**

Створ	Длина задержанного барьером материала $L_1$ , м	Удерживаемый объем $V_{r.1}$ , тыс. м <sup>3</sup>
№ 2	31,7	0,768
№ 3	31,7	0,725
№ 4	20,0	0,373

**Выводы.** Согласно данным исследования наиболее характерными для Северо-Западного Кавказа являются такие опасные геологические процессы, как оползни, эрозия, крип, при этом наиболее распространены грязекаменные селевые потоки объемом до 10 тыс. м<sup>3</sup>. По результатам проведенного исследования были даны рекомендации по стабилизации ситуации путем устройства селезадерживающих сооружений, подобранных с учетом проведенных расчетов.

В процессе селевых изысканий установлено, что селевой опасности подвержены следующие объекты:

- 1) горнолыжная трасса № 1 в точках пересечения ее ручьями Шумихинским, Ржаным;
- 2) сооружения основного водозабора, находящиеся в зоне воздействия ручья Шумихинского;
- 3) формирование селевых потоков небольших объемов возможно в ручье Сулимовском, но здесь имеется противоселевая защита.

Остальные объекты селевому воздействию не подвержены.

Для обеспечения селевой безопасности названных объектов горноклиматического курорта «Альпика-Сервис» необходимо осуществить ряд противоселевых мероприятий. Для защиты горнолыжной трассы № 1 и основного водозабора на ручье Шумихинском в узкой части долины ручья Шумихинского необходимо запроектировать устройство противоселевых сеток. Следует укрепить дно и берега ручья Шумихинского выше расположения проектируемого водозабора № 1. Защиту горнолыжной трассы

№ 1 от селевых потоков по ручью Ржаному можно осуществить путем строительства селеотклоняющей дамбы.

Для снижения уровня селеопасности на территории горноклиматического курорта «Альпика-Сервис» среди сооружений инженерной защиты предусмотрена установка противоселевых барьеров, для которых в статье проведены расчеты, по их результатам необходимо возведение двух барьеров высотой 5 м и одного – 4 м. Суммарная вместимость их является достаточной для обеспечения защиты сооружений олимпийской инфраструктуры от возможных разрушительных селевых потоков.

Помимо инженерных мер противоселевой защиты на участке горноклиматического курорта «Альпика-Сервис» рекомендуется проведение работ по снижению возникновения селевых процессов: обвалование русел мелких ручьев, в т. ч. временных водотоков, для предотвращения возникновения эрозионных и селевых процессов, а также агролесомелиоративные мероприятия – рекультивация на участках с открытыми грунтами, в т. ч. по трассам проложенных дорог и горнолыжным трассам. Также в целях прогнозирования необходимо организовать постоянный мониторинг состояния склонов и русел водотоков [12].

### **Список источников**

1. Гетто О. Н., Белов В. А. Организационно-технические мероприятия по обеспечению селезащиты // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. № 12(3). С. 264–276. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1305> (дата обращения: 20.03.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-264-276>.

2. Гетто О. Н., Белов В. А., Анохин А. М. Оценка надежности селезадерживающих сооружений // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения), посвящ. 95-летию со дня рождения проф. В. С. Лапшенкова, г. Новочеркасск, 25–30 сент. 2020 г. Вып. 18. Новочеркасск: Лик, 2020. С. 124–127.

3. Панина О. В., Донцова О. Л. Геолого-экологическое прогнозирование селевых рисков Северо-Западного Кавказа // Геология, география и глобальная энергия. 2018. № 3(70). С. 201–207.

4. Гетто О. Н., Белов В. А. О надежности и безопасности сооружений для инженерной защиты от селевых потоков // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 145-летию образования «Донлесхоза» (ГБУ РО «Дирекция особо охраняемых природных территорий областного значения»), г. Новочеркасск, 21–22 окт. 2021 г. Вып. 19. Новочеркасск: Лик, 2021. С. 88–94.



5. Волосухин В. А., Бандурин М. А., Приходько И. А. Теоретическое обоснование снижения рисков эксплуатации гидротехнических сооружений и использование гибких дамб для инженерной защиты территории от подтопления // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4(68). С. 407–418. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-49.

6. Кадастр селевой опасности юга европейской части России / Н. В. Кондратьева [и др.]. М.: Феория; Нальчик: Печ. двор, 2015. 148 с.

7. A quantitative assessment of mudflow intensification factors on the Aibga Ridge slope (Western Caucasus) over 2006–2019 / S. V. Shvarev, S. V. Kharchenko, V. N. Golosov, M. I. Uspenskii // Geography and Natural Resources. 2021. Vol. 42, № 2. P. 122–130. DOI: 10.1134/S1875372821020128.

8. Analysis of impact of urbanization development on the deterioration of ecological state of rivers / M. A. Bandurin, I. A. Prikhodko, I. P. Bandurina, A. A. Rudenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. 988. 042044. DOI: 10.1088/1755-1315/988/4/042044.

9. Геоморфологические последствия и гидрометеорологические предпосылки экстремального паводка в бассейне р. Цаньк, район Большого Сочи / В. Н. Голосов, Ю. С. Кузнецова, Н. Н. Иванова, А. С. Цыпленков, Д. В. Ботавин, М. М. Иванов // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: тр. 6-й Междунар. конф., г. Душанбе – Хорог, Таджикистан, 20–26 сент. 2021 г. Душанбе: Промоушн, 2020. Т. 1. С. 438–445.

10. Baljyan P. N., Baljyan V. P. Development of the method of analysis for determining the coordinates of terminal surface of mudflow sediments // Bulletin of High Technology. 2020. № 3(14). P. 3–13.

11. Богданов И. С. Опыт проектирования селезащитных сооружений на объектах транспортной инфраструктуры в стесненных условиях // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: тр. 6-й Междунар. конф., г. Душанбе – Хорог, Таджикистан, 20–26 сент. 2021 г. Душанбе: Промоушн, 2020. Т. 1. С. 363–370.

12. Разработка способа мониторинга паводков и селей в труднодоступных районах / М. В. Жарашуев, З. М. Терекулов, З. Т. Акшаяков, А. Ш. Баттаев // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2021. Т. 15, № 1. С. 68–73. DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-1-68-73.

## References

1. Ghetto O.N., Belov V.A., 2022. [Organizational and technical measures for mudflow protection security]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, no. 12(3), pp. 264-276, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1305> [accessed 20.03.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-264-276>. (In Russian).

2. Ghetto O.N., Belov V.A., Anokhin A.M., 2020. *Otsenka nadezhnosti selezaderzhivayushchikh sooruzheniy* [Assessment of the reliability of mudflow-retaining structures]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: materialy Vseros. nauchno-prakticheskoy konferentsii (Shumakovskie chteniya), posvyashchennoy 95-letiyu so dnya rozhdeniya prof. V. S. Lapshenkova* [Land Reclamation and Water Management: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conf. (Shumakov Readings), Dedicated to the 95<sup>th</sup> Birthday of Prof. V.S. Lapshenkov]. Iss. 18, Novocherkassk, Lik Publ., pp. 124-127. (In Russian).

3. Panina O.V., Dontsova O.L., 2018. *Geologo-ekologicheskoe prognozirovanie selevykh riskov Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Main geological and ecological forecasting of mudflow risks in the North-Western Caucasus]. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], no. 3(70), pp. 201-207. (In Russian).

4. Ghetto O.N., Belov V.A., 2021. *O nadezhnosti i bezopasnosti sooruzheniy dlya inzhenernoy zashchity ot selevykh potokov* [On the reliability and safety of structures for engineer-

ing mudflow protection]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: materialy Vseros. nauchno-prakt. konferentsii, posvyashch. 145-letiyu obrazovaniya "Donleskhoza" (GBU RO "Direktsiya osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy oblastnogo znacheniya")* [Land Reclamation and Water Management: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conf., Dedicated to the 145<sup>th</sup> Anniversary of the Formation of "Donleskhoz" (GBU RO "Directorate of Specially Protected Natural Territories of Regional Significance")]. Iss. 19, Novocherkassk, Lik Publ., pp. 88-94. (In Russian).

5. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., 2022. *Teoreticheskoe obosnovanie snizheniya riskov ekspluatatsii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy i ispol'zovanie gibkikh damb dlya inzhenernoy zashchity territorii ot podtopleniya* [Theoretical justification for reducing the risks of operation of hydraulic structures and the use of flexible dams for engineering protection of the territory from flooding]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 4(68), pp. 407-418, DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-49. (In Russian).

6. Kondratieva N.V. [et al.], 2015. *Kadastr selevoy opasnosti yuga evropeyskoy chasti Rossii* [Cadastre of Mudflow Hazard in the South of the European Part of Russia]. Moscow, Feoriya Publ., Nalchik, Pech. Yard Publ., 148 p. (In Russian).

7. Shvarev S.V., Kharchenko S.V., Golosov V.N., Uspenskiy M.I., 2021. A quantitative assessment of mudflow intensification factors on the Aibga Ridge slope (Western Caucasus) over 2006-2019. *Geography and Natural Resources*, vol. 42, no. 2, pp. 122-130, DOI: 10.1134/S1875372821020128.

8. Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Bandurina I.P., Rudenko A.A., 2022. Analysis of impact of urbanization development on the deterioration of ecological state of rivers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 988, 042044, DOI: 10.1088/1755-1315/988/4/042044.

9. Golosov V.N., Kuznetsova Yu.S., Ivanova N.N., Tsyplenkov A.S., Botavin D.V., Ivanov M.M., 2020. *Geomorfologicheskie posledstviya i gidrometeorologicheskie predposylki ekstremal'nogo pavodka v bassejne r. Tsanyk, rayon Bol'shogo Sochi* [Geomorphological consequences and hydrometeorological conditions of extreme flood in the Tsanyk river basin, Greater Sochi area]. *Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita: tr. 6-y Mezhdunar. konferentsii* [Mudflow Flows: Catastrophes, Risk, Forecast, Protection: Proc. of the 6<sup>th</sup> International Conference]. Dushanbe, Promotion Publ., vol. 1, pp. 438-445. (In Russian).

10. Baljyan P.H., Baljyan V.P., 2020. Development of the method of analysis for determining the coordinates of terminal surface of mudflow sediments. *Bulletin of High Technology*, no. 3(14), pp. 3-13.

11. Bogdanov I.S., 2020. *Opyt proektirovaniya selezashchitnykh sooruzheniy na ob'ektakh transportnoy infrastruktury v stesnennykh usloviyakh* [Debris flow protection constructions design experience at the transport infrastructure facilities in dumped conditions]. *Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita: tr. 6-y Mezhdunar. konferentsii* [Mudflow Flows: Catastrophes, Risk, Forecast, Protection: Proc. of the 6<sup>th</sup> International Conference]. Dushanbe, Promotion Publ., vol. 1, pp. 363-370. (In Russian).

12. Zharashuev M.V., Terekulov Z.M., Akshayakov Z.T., Battaev A.Sh., 2021. *Razrabotka sposoba monitoringa pavodkov i seley v trudnodostupnykh rayonakh* [Development of a method for floods and mudflows monitoring in hard-to-reach areas]. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki* [Proc. of Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences], vol. 15, no. 1, pp. 68-73, DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-1-68-73. (In Russian).

#### **Информация об авторах**

**У. Р. Сидаравичуте** – студентка землеустроительного факультета;  
**Д. В. Сухарев** – доцент, кандидат технических наук.

***Information about the authors***

**U. R. Sidaravichute** – Student of the Faculty of Land Management;

**D. V. Sukharev** – Associate Professor, 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 27.03.2023; одобрена после рецензирования 21.06.2023;  
принята к публикации 05.07.2023.*

*The article was submitted 27.03.2023; approved after reviewing 21.06.2023; accepted for  
publication 05.07.2023.*