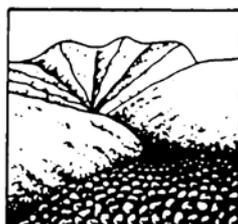


СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
8-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 6–10 октября 2025 г.



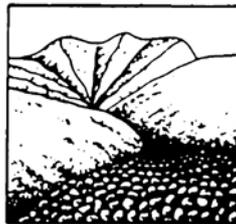
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева

ООО «Геомаркетинг»
Москва
2025

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 8th International Conference

Tbilisi, Georgia, 6–10 October 2025



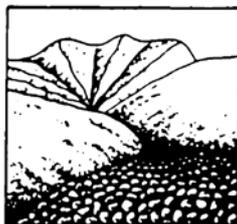
Edited by
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC
Moscow
2025

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა

მე-8 საერთაშორისო კონფერენციის
მასალები

თბილისი, საქართველო, 6-10 ოქტომბერი, 2025



რედაქტორები
ს. ს. ჩერნომორეც, გ. ვ. გავარდაშვილი, კ. ს. ვისხაჯიევა

შპს „გეომარკეტინგი“
მოსკოვი
2025

УДК 551.311.8
ББК 26.823
С29

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 8-й Международной конференции (Тбилиси, Грузия). – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2025. 496 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 8th International Conference (Tbilisi, Georgia). – Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC, 2025. 496 p.

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა. მე-8 საერთაშორისო კონფერენციის მასალები. თბილისი, საქართველო. – პასუხისმგებელი რედაქტორები ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი, კ.ს. ვისხაჯიევა. – მოსკოვი: შპს „გეომარკეტინგი“, 2025. 496 ს.

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), Г.В. Гавардашвили (Институт водного хозяйства имени Цотне Мирцхулава Грузинского технического университета), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (M.V. Lomonosov Moscow State University), G.V. Gavardashvili (Tsozne Mirtskhulava Institute of Water Management, Georgian Technical University), K.S. Viskhadzhieva (M.V. Lomonosov Moscow State University).

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).

Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

ISBN 978-5-6053539-4-2

© Селевая ассоциация
© Институт водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава
Грузинского технического университета

© Debris Flow Association
© Ts. Mirtskhulava Water Management Institute
of Georgian Technical University

© ღვარცოფების ასოციაცია
© საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა
მეურნეობის ინსტიტუტი



Оценка селевой опасности автомобильного пункта пропуска Нижний Зарамаг

А.Х. Аджиев¹, Н.В. Кондратьева¹, З.М. Керефова¹, А.Л. Кортиев²

¹Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия, zknyaz-kbsu@mail.ru

²Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия

Аннотация. Работы на участке протяженностью 2 км вдоль автомобильной дороги в селении Нар проводились в январе 2024 г. Данная дорога ведет к всепогодному туристско-рекреационному комплексу (ВТРК) «Мамисон». Цель обследований заключалась в оценке селевой опасности и получении количественных параметров возможных селевых потоков для определения основных параметров сооружений инженерной защиты и гидрометеорологических условий их эксплуатации.

Ключевые слова: селевой поток, селевая активность, горная местность, селевая опасность, границы селеборов

Ссылка для цитирования: Аджиев А.Х., Кондратьева Н.В., Керефова З.М., Кортиев А.Л. Оценка селевой опасности автомобильного пункта пропуска Нижний Зарамаг. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 8-й Международной конференции (Тбилиси, Грузия). – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2025, с. 15–26.

Debris flow hazard assessment of the automobile checkpoint Nizhniy Zaramag

A.Kh. Adzhiev¹, N.V. Kondratyeva¹, Z.M. Kerefova¹, A.L. Kortiev²

¹High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia, zknyaz-kbsu@mail.ru

²North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

Abstract. Work on a 2 km section along the road in the village of Nar was carried out in January 2024. This road leads to the all-season tourist and recreational complex (ATRC) “Mamison”. The purpose of the survey was to assess the debris flow hazard and obtain quantitative parameters of possible debris flows to determine the main parameters of engineering protection structures and hydrometeorological conditions for their operation.

Key words: debris flow, debris flow activity, mountainous terrain, debris flow hazard, debris flow boundaries

Cite this article: Adzhiev A.Kh., Kondratyeva N.V., Kerefova Z.M., Kortiev A.L. Debris flow hazard assessment of the automobile checkpoint Nizhniy Zaramag. In: Chernomoretz S.S., Gavardashvili G.V., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 8th International Conference (Tbilisi, Georgia). Moscow: Geomarketing LLC, 2025, p. 15–26.

Введение

Северная Осетия – Алания один из наиболее селеопасных районов России. Селевые потоки в республике проявляются ежегодно. Наиболее разрушительные сели наблюдались в 1953, 1958, 1967, 1973, 1975, 2000, 2002 гг. [Агибалов, 1983]. Мощные



селевые потоки формируются в долинах рек Цейдон, Ардон, Караугом [*Герасимов, 1974; Герасимов, 1985*].

В долине р. Цейдон 23 июля 1975 г. был вынесен значительный объем материала: 300 тыс. м³ из Орахкомского ущелья (вблизи Цейского ледника) и 180 тыс. м³ из Сказского ущелья. В тот же день Касайкомдонским селом было вынесено на дно Кассарского ущелья р. Ардон 120 тыс. м³ твердого материала. 28 июля 1975 г. Бартуйским селом в долину р. Караугомдон вынесено около 100 тыс. м³. 20 сентября 2002 г. в долине реки Геналдон на северном склоне Большого Кавказа в Северной Осетии произошла крупнейшая в истории России ледниковая катастрофа. Значительная часть ледника Колка пришла в движение, и, увлекая камни, рыхлый снег, воду и льды, устремилась вниз по долине, сметая жилые дома и базы отдыха. Основная часть льда остановилась и отложилась в Кармадонской котловине перед Скалистым хребтом.

В данной работе выполнены исследования по оценке селевой опасности автомобильного пункта пропуска Нижний Зарамаг, с. Нар Республики Северная Осетия-Алания. Участок расположен рядом с р. Закка. По этому участку проходит дорога к всесезонному туристско-рекреационному комплексу (ВТРК) «Мамисон». Основные направления туристического использования здесь: в зимнее время – горнолыжный курорт, в летнее – экологический, горный туризм, познавательный туризм на основе многочисленных объектов культурного наследия. Таким образом, участок исследования является важным транспортным узлом и на рассматриваемой территории необходимо создать все условия для безопасного движения автотранспорта и людей.

Цель работы заключалась в проведении оценки селевой опасности и получения количественных параметров селевых потоков в пределах площадки строительства для определения основных параметров сооружений инженерной защиты и гидрометеорологических условий их эксплуатации.

Ставились такие задачи, как: сбор, анализ и обобщение материалов гидрометеорологической и картографической изученности территории; рекогносцировочное обследование района исследования; изучение опасных гидрометеорологических процессов и явлений; обработка материалов и определение необходимых расчетных характеристик селей.

Проявление селевой деятельности в горах Северной Осетии обусловлено следующими основными факторами: наличием в приледниковой зоне огромных массивов рыхлообломочного мореного материала, крутых склонов, способствующих поверхностному интенсивному стоку и чрезмерному увлажнению мореного материала в очагах зарождения селей.

Главной причиной формирования селей являются ливневые дожди, зачастую играющие роль толчка или спускового импульса для возникновения селя в предварительно хорошо увлажненных тальми водами или длительными морозящими осадками рыхлообломочных массивах. По соотношению жидкой и твердой составляющих селя, в Северной Осетии преобладают несвязные водокаменные и грязекаменные сели. В пределах Бокового хребта и в западной (Дигорской) части Главного Кавказского хребта они состоят преимущественно из крупных и мелких валунов различных кристаллических пород, включенных в песчано-гравийный заполнитель. В районах же более низких хребтов – Скалистого и восточной части Главного Кавказского, а также в межгорных продольных долинах распространены в основном грязекаменные сели, состоящие из крупного и мелкого щебня в суглинистом заполнителе [*Поповнин, 1992*].

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены по реке Закка и её притокам. Рельеф в пределах участка исследований имеет ярко выраженный горный и техногенный характер, спланированный в результате хозяйственной деятельности при проведении строительных работ по возведению автодороги А-164 «Транскам» буровзрывным способом, и более поздним строительством сооружений инженерной защиты.



Среди четвертичных отложений рассматриваемой территории выделяются следующие генетические типы: аллювиальные, пролювиально-делювиальные и коллювиальные (обвальное-осыпные) образования.

В геоморфологическом отношении участок расположен на древней высокой надпойменной речной террасе р. Закка.

Долина р. Закка представляет собой типичный ледниковый трог. Борта долины асимметричны: левый склон имеет крутизну до 40° , более мягкие формы рельефа здесь обусловлены наличием древних высоких надпойменных речных террас. Дно долины р. Закка имеет ширину от 30–40 м до 80 м и представляет собой современную рабочую пойму реки, сложенную аллювиальными галечниками с песчаным и супесчаным заполнителем (рис. 1).



Рис. 1. Река Закка на участке исследования

Поверхность поймы ровная, изрезана брошенными руслами реки, местами задернована. Ледники по долинам рек Закка, Льядон, Нардон спускались до с. Зарамаг. Об этом однозначно свидетельствуют остатки морен и ледниковые узкие шпоры коренных пород в районе сс. Нар и Зарамаг.

Основной водной артерией района является р. Ардон, которая образуется от слияния четырех рек в Зарамагской котловине – Мамисондон, Нардон, Цмиакомдон и Адайкомдон.

Река Нардон образуется у одноименного села после слияния рр. Льядон, Закка и Зругдон.

Все водотоки района являются типичными горными реками с водным режимом, определяемыми источниками питания и характеризующимися весенне-летними половодьями и устойчиво низкими расходами в осенне-зимний период.

Для выполнения работы использованы данные ФГБУ «Северо-Кавказское ВС» и ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».

На участке работ (рис. 2) ранее инженерно-гидрометеорологические изыскания по оценке селевой опасности не проводились.



Выполнены следующие виды работ:

- анализ материалов исследований прошлых лет, включая информацию о наличии, распространении и региональных закономерностях проявления селевых процессов;
- оценка условий селеформирования и режима селей;
- оценка степени активности и опасности селевого процесса;
- качественный прогноз развития селевого процесса;
- рекомендации по защите проектируемых объектов от селевых процессов.

Были собраны, проанализированы и обобщены материалы гидрометеорологической и картографической изученности территории для использования в расчетах, и для выявления опасных процессов и явлений в районе исследования.

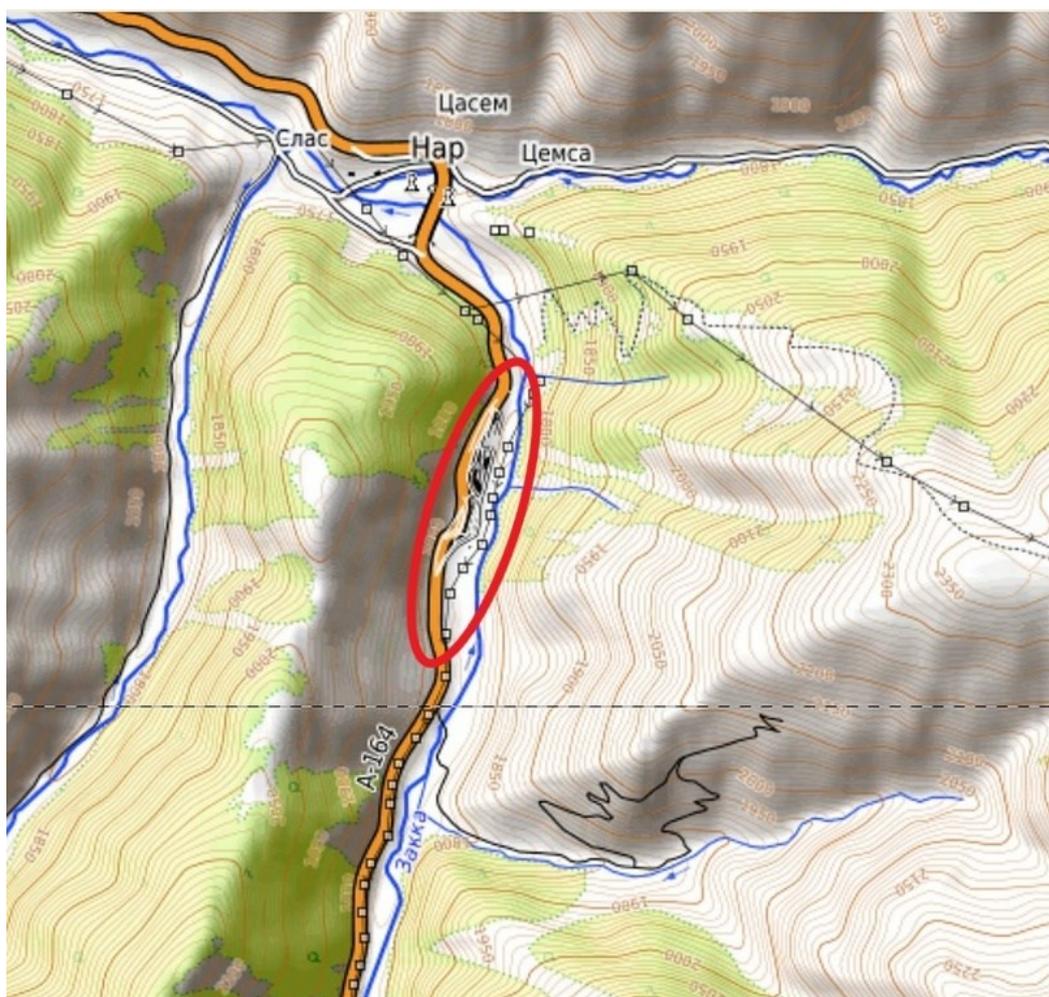


Рис. 2. Положение участка исследования – красная линия на топографической карте

Заккинский участок автодороги (место исследования автомобильного пункта пропуска через государственную границу Российской Федерации «Нижний Зарамаг», Республика Северная Осетия – Алания) располагается в нижнем и среднем течении р. Закка.

Рекогносцировочное обследование производится на территориях проявления селей, с описанием следов схода селей, фотографированием селеопасных участков, повреждений от селей.

Рекогносцировочное обследование бассейна рек проводилось вдоль проектируемого объекта для обследования растительности и почв на склонах. Схема маршрутных обследований представлена на рис. 3. Для проектируемого объекта



проводилось рекогносцировочное обследование бассейнов р. Закка и его притоков с целью выявления следов селепроявлений. Устанавливались границы селеоборотов, следы селепроявления, определялись потенциальные зоны зарождения селей.

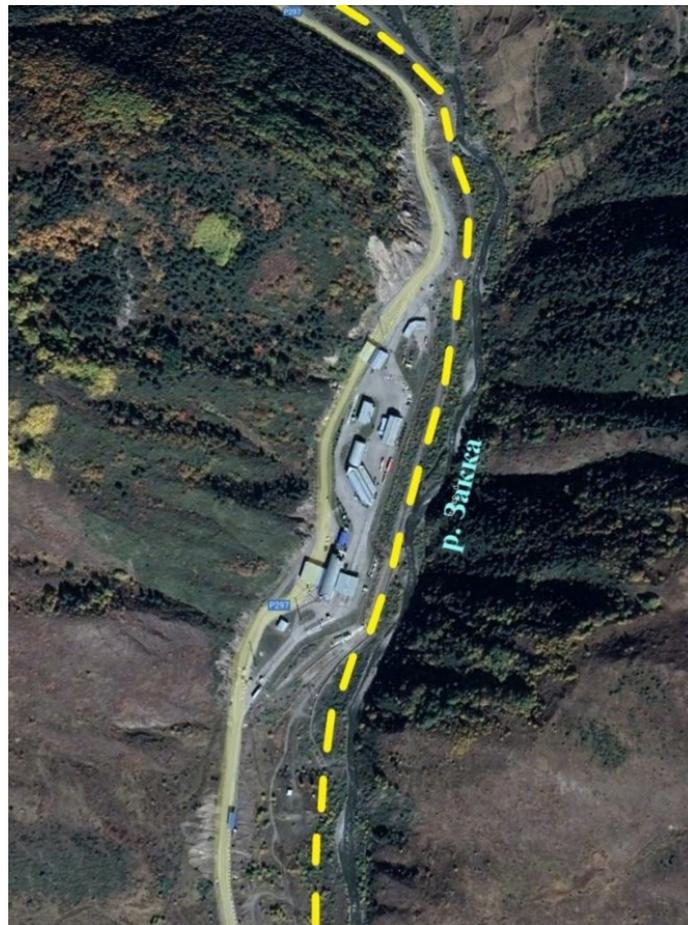


Рис. 3. Схема рекогносцировочного обследования (желтая линия) участка исследования

Определялись фактические характеристики селевых процессов согласно п. 7 СП 11-103-97 и требованиям СП 479.1325800.2019, ВСН 03-76: объемы и максимальные расходы селевого потока; русловые характеристики селевых потоков.

Согласно п. 7.2.1 СП 116.13330.2012 для расчётов принимались с вероятностью превышения 2% для защиты зданий и сооружений нормального уровня ответственности.

Результаты и обсуждение

В горной части РСО-Алания к настоящему времени выявлено 145 селевых бассейнов [Кадастр..., 2015]. Наибольшая площадь пораженности селями (937 км²), в Северной Осетии в долине реки Ардон. Площадь селевых бассейнов меняется в интервале от 0,1 км² до 100 км², поэтому средняя площадь равна 15,3 км². Суммарная длина селевых русел 389 км, средняя длина 6,5 км. Средние уклоны селевых русел меняются от 45 до 681‰.

Селевые явления в Северной Осетии достаточно хорошо изучены многими учеными страны. По территории республики проходит Транскавказская автомагистраль, которая является одним из сложных участков (в селевом и лавинном отношении) на территории Северной Осетии. Участок расположения объекта изыскания находится непосредственно на автомагистрали. Карта селевых бассейнов Республики Северная Осетия – Алания представлена на рис. 4.

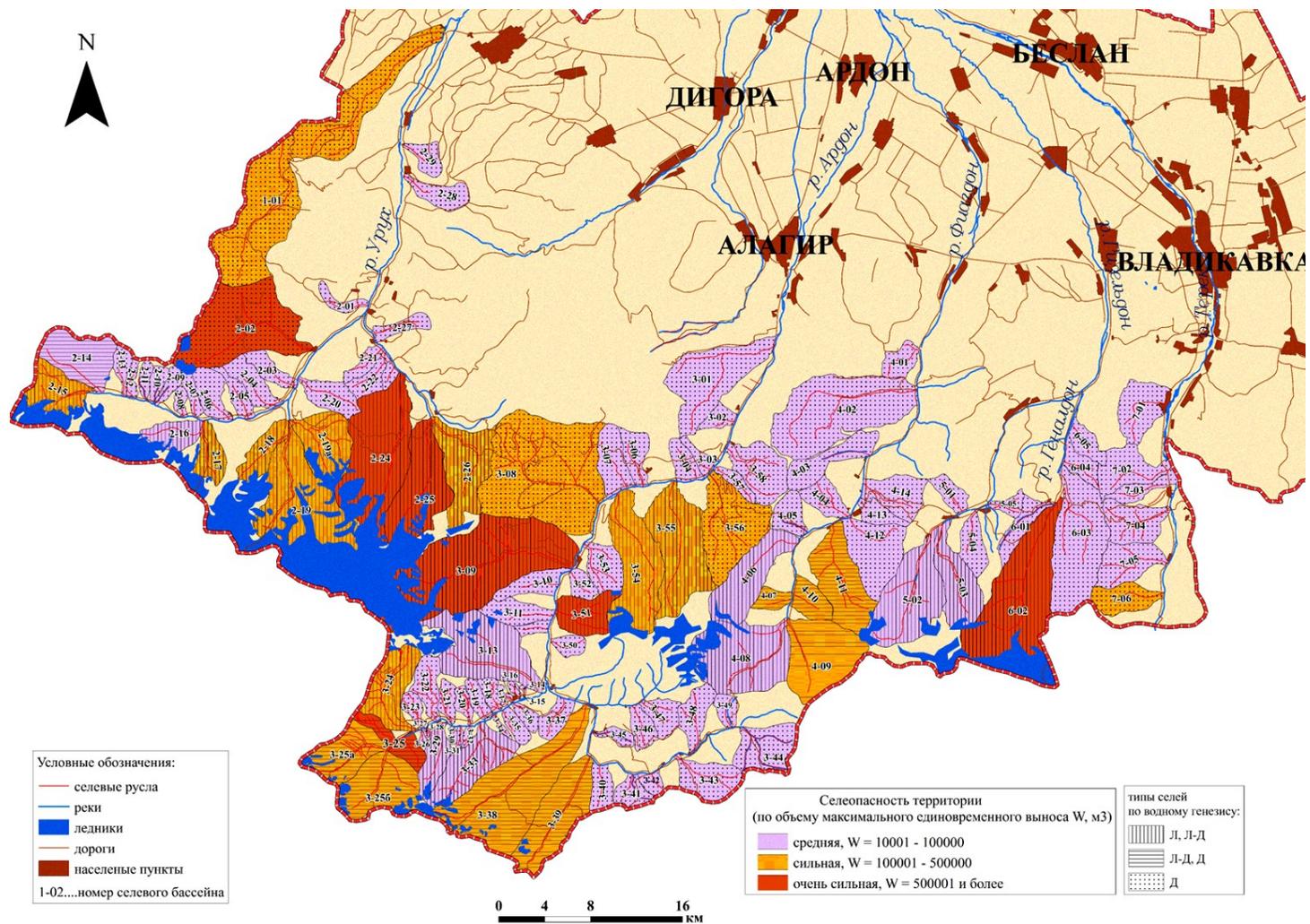


Рис. 4. Карта селевых бассейнов Республики Северная Осетия – Алания



Проведенные обследования подтвердили результаты оценки в [Кадастр..., 2015]. На р. Закка (или р. Заккадон) расположены селевые бассейны со следующими характеристиками, представленными на рис. 5 и таблице 1.

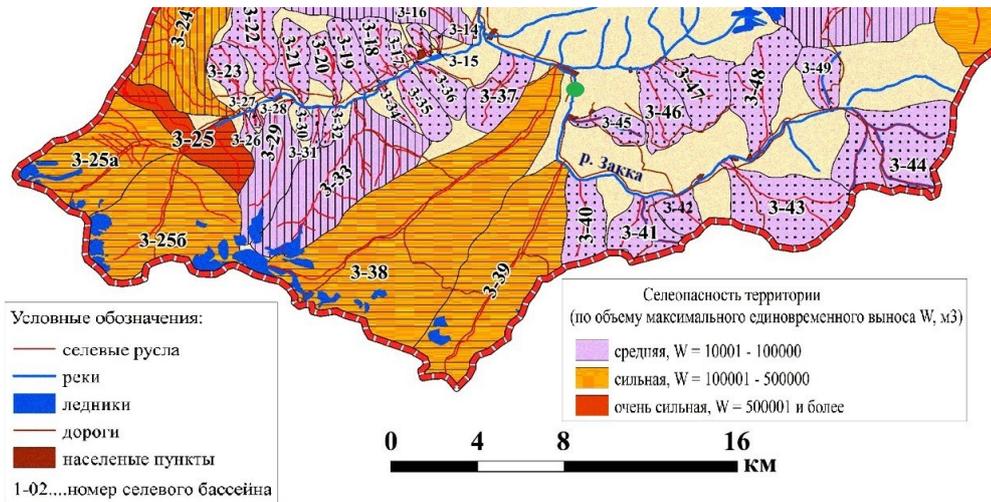


Рис. 5. Расположение участка изыскания (показано зеленым цветом) на карте селевых бассейнов Республики Северная Осетия – Алания

Согласно вышеуказанному каталогу, по данным ФГБУ «ВГИ» и Северо-Осетинского ЦГМС, выявлено, что прохождение селей на участке расположения объекта автомобильного пункта пропуска через государственную границу Российской Федерации Нижний Зарамаг, Республика Северная Осетия – Алания не отмечено. Хотя выше расположения объекта на притоках р. Закка, как показано в таблице 1, сходили сели небольших объемов, которые аккумулировались в руслах самих притоков. В ходе выполнения полевых работ, признаков прохождения селевых потоков по р. Закка на участке расположения объекта не выявлено.

В непосредственной близости от объекта исследования находится селевой бассейн 3-45 – ручей б/н (см. рис. 5, таблицу 1), приток р. Закка. Для этого бассейна определены максимальные расходы селевого стока дождевого происхождения вероятностью превышения $P = 1\%$ и 2% и соответствующие динамические характеристики.

Параметры селевых потоков рассчитывались для 1% -ной обеспеченности.

Максимальный расход селевого паводка вероятностью превышения $P\%$ определялось на участке изыскания по формуле 16 [ВСН 03-76]:

$$Q_{cP} = q_{1\%} m_a \lambda_p (1/W_{отп})^{1.08}, \quad (1)$$

где $q_{1\%}$ – модуль максимального дождевого стока вероятностью превышения 1% , $m^3/(скм^2)$, определяемый согласно таблице 9 [ВСН 03-76] в зависимости от бассейнового времени добегаания τ ; m_a – коэффициент зависящий от гидрологического района расположения водосбора, принимается по таблице 10 [ВСН 03-76] и формуле $m_a = H_{1\%}/250$; λ_p – переходный коэффициент от селевого расхода обеспеченностью 1% к расходу другой обеспеченности, определяется по таблице 11 [ВСН 03-76] и равен 1 ; F – площадь водосбора, $км^2$.

Бассейновое время добегаания τ определяется по формуле 17 [ВСН 03-76, с. 12]:

$$\tau = \frac{L}{2,45 \cdot \sqrt{I}} = \frac{3}{2,45 \cdot \sqrt{347}} = 0,28 \text{ ч}, \quad (2)$$

где τ – время добегаания, ч; L – длина реки по основному тальвегу от водораздела до замыкающего створа, км; I – средний уклон реки, промилле.



Таблица 1. Каталог селевых бассейнов на участке расположения объекта

№	Название водотока	Генезис селя	Тип селя	Площадь бассейна, S км ²	Средний уклон русла, α, ‰	Длина реки, L, км	Высота истока, Н, м. абс.	Объем максимального одновременного выноса, W, м ³ [Разумов и др., 2001]	Максимальный объем твердых отложений селя, W, м ³ (аналитическим методом), [Кондратьева, 2014]	Дополнительные сведения	Повторяемость 1 раз в n лет/ даты схода [Разумов и др., 2001]
3-39	Гинат	Л-Д; Д	ГК, ВК	32,2	127	9,8	3080	-	288 350	Угроза ТрансКАМу, с. Нар	8-16/ 1988, 1989
3-40	Дзенина	Д	ГК	7,4	222	3,6	2680	50 000	36 815	Угроза ТрансКАМу, с. Нар	8-16/ 1989
3-41	б/н	Д		6,3	179	5,8	3000	30 000	30 933	Склон, пораженный мелкими русловыми селями	3/ 1987
3-42	Той	Д	ГК	3,1	478	1,6	2800	50 000	31 208	Угроза ТрансКАМу	-/-
3-43	Санат	Д	ГК	15,6	130	8,3	3200	50 000	63 752	Угроза автодороге	3-7/-
3-44	б/н	Д		17,6	89	12,6	3400	50 000	69 561	Угроза с. Сахсат	-/-
3-45	б/н	Д		5	347	3	2800	50 000	32 952		-/-
3-48	б/н	Д	ГК	7,6	175	4,8	2840	50 000	35 637		
3-49	б/н	Д	ГК	4,4	336	2,6	3153	50 000	30 254		

Примечание: «-» – данных нет; б/н – без названия. Генезис водной составляющей: Д – дождевой, Л-Д – ледниково-дождевой. Тип селя по гранулометрическому составу: ГК – грязекаменный, ВК – водокаменный.



$$q_{1\%} = f(t) = 15,0 \text{ м}^3 / (\text{с} \cdot \text{км}^2). \quad (3)$$

При расчете $q_{1\%}$ принято, что рассматриваемый водоток находится во II гидрологическом районе. Корректирующий коэффициент (m_a) для II гидрологического района равен

$$m_a = \frac{H_{1\%}}{250} = \frac{148,8}{250} = 0,59 < 0,75. \quad (4)$$

Для расчета m_a значение максимального суточного слоя осадков принят 148,8 мм по метеостанции «Владикавказ».

В соответствии с примечаниями к таблице 10 ВСН 03-76 в расчетах принято $m_a = 0,75$. Переходный коэффициент (λ_p) при вероятности превышения максимального расхода $P = 1\%$ равен $\lambda_p = 1$; при $P = 2\%$ – $\lambda_p = 0,71$ [ВСН 03-76, таблица 11].

Значение площади водосбора $F = 5 \text{ км}^2$ определено по топооснове.

Коэффициент текучести селевой массы для пиковой фазы селевого потока ($W_{отP}$) вычисляет по формуле:

$$W_{отP} = 1 - \frac{S_{оP}}{S_{пт}}. \quad (5)$$

Объемная концентрация селевой массы ($S_{оP}$) зависит от коэффициента селеактивности бассейна (μ) и среднего уклона тальвега I [ВСН 03-76, формула 3, таблица 5]. Вследствие отсутствия данных полевых обследований, коэффициент селеактивности (μ) определяется по формуле:

$$\mu = 0,063 \cdot I^{0,40} = 0,063 \cdot 347^{0,40} = 0,65,$$

$$S_{о1\%} = f(\mu, I) = 0,625,$$

$$S_{о2\%} = S_{о1\%} \lambda_S = 0,625 \cdot 0,96 = 0,6,$$

где λ_S определено по таблице 7 [ВСН 03-76].

Согласно разделу 2.2 [ВСН 03-76] принимаем $S_{пт} = 0,705$, вычисляем:

$$W_{от 1\%} = 1 - \frac{0,625}{0,705} = 0,11 \quad (6)$$

$$W_{от 2\%} = 1 - \frac{0,6}{0,705} = 0,15 \quad (7)$$

С учетом найденных коэффициентов по формуле (1) определим максимальный расход селевого паводка вероятностью превышения $P\%$:

$$Q_c 1\% = 15,0 \cdot 0,59 \cdot 1 \cdot (1/0,11)^{1,08} \cdot 5 = 479,96 \text{ м}^3/\text{с} \quad (8)$$

$$Q_c 2\% = 15,0 \cdot 0,59 \cdot 0,71 \cdot (1/0,15)^{1,08} \cdot 5 = 243,78 \text{ м}^3/\text{с} \quad (9)$$

Средняя глубина селевого потока 1%-ной обеспеченности h_{cp} определена по формуле 34 [ВСН 03-76]:

$$h_{cp} = 0,245 Q_c 1\%^{2/5} / I_y^{1/15} W_{ом1\%}^{4/15}, \quad (10)$$

где Q_c – расход селя 1% обеспеченности в заданном створе, $\text{м}^3/\text{с}$; I_y – уклон на расчетном участке, промилле; $W_{ом1\%}$ – коэффициент текучести селевой массы для пиковой фазы потока.



В ходе полевых работ выше участка расположения объекта в пойме притока (ручей б/н) р. Закка был заложен морфоствор для определения уклона I_y и ширины створа (рис. 6). Ширина русла реки в точке морфоствора составляет 17 м, уклон русла в точке морфоствора $I_y = 1,03^\circ = 18\text{‰}$.

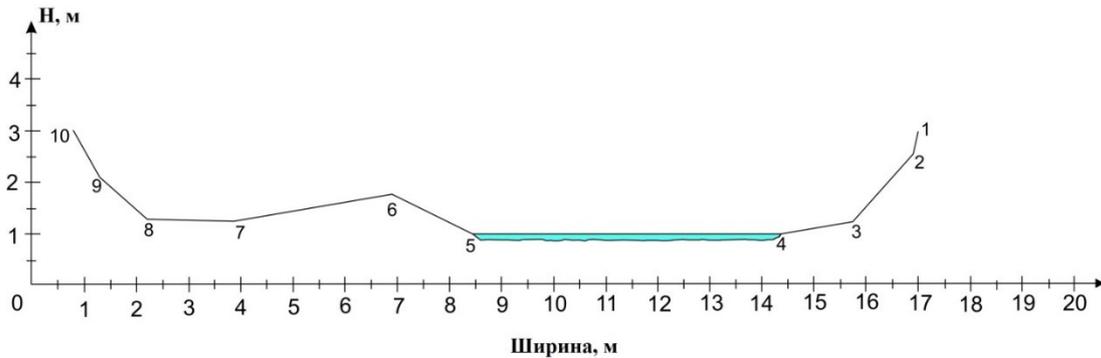


Рис. 6. Профиль притока р. Закка (3–45 по [Кондратьева и др., 2015]), расположенного выше участка расположения объекта

С учетом параметров морфоствора по формуле (10) рассчитаны средняя глубина селевого потока 1%-ной и 2%-ной обеспеченностей:

$$h_{\text{ср}1\%} = \frac{0,245 \cdot 479,96^{2/5}}{18^{1/15} \cdot 0,11^{4/15}} = 4,3 \text{ м} \quad (11)$$

$$h_{\text{ср}2\%} = \frac{0,245 \cdot 243,78^{2/5}}{18^{1/15} \cdot 0,15^{4/15}} = 3,0 \text{ м} \quad (12)$$

Согласно СП 116.13330.2012 (п. 6.2.1.) для проектирования противоселевых сооружений необходимо знать:

- статическое давление отложившейся массы селевого потока;
- динамическое давление селевого потока на плоскость, перпендикулярную направлению его движения.

Статическое давление отложившейся массы селевого потока $P_{\text{ст}}$, кПа, в точке, находящейся на глубине H , м, в течение времени аккумуляции селевого потока, определяется по формуле в СН 518-79:

$$P_{\text{ст}} = g\rho_c H, \quad (13)$$

где g – ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; ρ_c – плотность селевого потока, т/м^3 , при $H_{1\%}$ равном $4,3 \text{ м}$. С учетом полученных данных получаем: $P_{\text{ст}} = 9,81 \cdot 2,0 \cdot 4,3 = 84,4 \text{ кПа}$.

Динамическое давление селевого потока выражается формулой [Методические рекомендации..., 1978]:

$$P_{\text{дин}} = kV_c^2 \rho_c, \quad (14)$$

где $P_{\text{дин}}$ – динамическое давление селевого потока, кПа; k – экспериментальный коэффициент равный $4,5$; V_c – скорость селевого потока, м/с ; ρ_c – плотность селевой массы, т/м^3 .

Для оценки скорости селевого потока $V_{c1\%}$ в створе по р. Закка использовалась формула Голубцова, рекомендуемая для водокаменных потоков:

$$V_{c1\%} = 4,5 \cdot h_{\text{ср}1\%}^{0,67} \cdot I^{0,17}, \quad (15)$$



где $h_{cp1\%}$ – средняя глубина потока, м; I – продольный уклон водотока в створе сооружения, в долях единицы.

Тогда получим:

$$V_{c1\%} = 4,5 \cdot 4,3^{0,67} \cdot 18^{0,17} = 19,5 \text{ м/с.}$$

С учетом найденного значения скорости селевого потока по формуле (14) определяем динамическое давление селевого потока:

$$P_{дин} = 4,5 \cdot 19,5^2 \cdot 2 = 3422,3 \text{ кПа.}$$

Транспортная и эрозионно-аккумулятивная деятельность селевых потоков зависит от концентрации твердого материала и уклона поверхности. По мере роста концентрации селевого материала, уклоны необходимые для эрозионной деятельности селя увеличиваются, и начинается аккумуляция материала [Флейшман, 1978]. В мировой практике критическим углом для селевой эрозии при прохождении грязекаменных потоков принимается 8° , при прохождении водокаменных потоков $3,5^\circ$ [Jakob, Hungr, 2005]. Эти данные подтверждаются и фактическими материалами из Приэльбрусья, в частности, постоянным чередованием зон преобладающей эрозии, транзита и аккумуляции селевого материала при прорыве озера Башкара в 2017 г. [Черноморец и др., 2018].

Судя по материалам полевых обследований, угол наклона русла от устья правого притока р. Закка (рассмотренного выше) до объекта составляет около 1° . При таком угле наклона селевая эрозия отсутствует, в случае прохождения грязекаменного селя будет преобладать селевая аккумуляция, в случае прохождения водокаменного селя - транзит и аккумуляция. При этом на участке поймы р. Закка в зоне расположения объекта может отмечаться водная эрозия. Данный факт – отсутствие селепроявлений на р. Закка на участке расположения объекта, подтверждается результатами полевых обследований, а также данными, представленными в работе [Кадастр..., 2015].

Основным источником селевой опасности на притоках р. Закка являются гляциальные и дождевые сели, сходящие по руслам водотоков с ледниковым питанием. При сокращении оледенения, как правило, происходит рост селевой активности. Такая ситуация отмечалась и в Приэльбрусье [Золотарев, Сейнова, 1997]. Мировой опыт свидетельствует о том, что на определенном этапе сокращения ледников селевая активность начинает снижаться.

Выводы

Оценка селевой опасности выполнена на участке объекта «Реконструкция автомобильного пункта пропуска через государственную границу Российской Федерации Нижний Зарамаг, Республика Северная Осетия-Алания» находится на левом борту р. Закка.

Природные условия бассейнов притоков р. Закка благоприятны для формирования селевых потоков по руслам водотоков. На крутых склонах морен отмечается формирование микроселей. По архивным данным и в ходе полевых работ установлено, что по р. Закка в районе расположения объекта селепроявления и условия для формирования селевых очагов отсутствуют.

Специфика селевого режима ограничена селепроявлениями в девяти притоках р. Закка сели, из которых не доходят до месторасположения объекта.

По ближайшему к проектируемому объекту притоку (река б/н) р. Закка сделаны следующие расчеты:

- максимальные расходы селевого стока дождевого генезиса 1%- и 2%-ной обеспеченностей;
- статическое давление отложившейся массы селевого потока;
- динамическое давление селевого потока.



Водоток находится на расстоянии около 1 км от объекта.
Инфраструктура объекта находится вне зоны селевой опасности на значительном удалении от селевых водотоков.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (Соглашение № 23-17-20001).

Список литературы

- Агибалова В.В. Сели в Северной Осетии. – Орджоникидзе: Изд-во Ир, 1983. – 115 с.
- Герасимов В.А. О селях на северном склоне Центрального и Восточного Кавказа // Труды ВГИ. – 1974. – № 27. – С. 63.
- Герасимов В.А. Селеопасные территории Северного Кавказа // Труды ВГИ. – 1985. – № 57. – С. 39.
- Золотарев Е.А., Сейнова И.Б. Катастрофические сели Приэльбрусья за два последних тысячелетия. – Материалы гляциологических исследований. – 1997. – № 82. – С. 184–189.
- Кадастр селевой опасности юга европейской части России / отв. ред. Н.В. Кондратьева. – Нальчик: Печатный двор, 2015. – 148 с.
- Кондратьева Н.В. Предварительная оценка максимального объема твердых отложений селя методами математической статистики для Центрального Кавказа [Электронный журнал] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – <http://www.science-education.ru/118-13897>.
- Методические рекомендации по гидравлическому расчету селезадерживающих и селепропускных сооружений. – Тбилиси, 1978. – 58 с.
- Поповнин В.В. Современное оледенение в верховьях реки Баксан. // Природопользование Приэльбрусья. – М: МГУ, 1992. – 75 с.
- Разумов В.В., Стрешнева Н.П., Перекрест В.В. Кадастр лавинно-селевой опасности Кабардино-Балкарской республики. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 64 с.
- Флейшман С.М. Сели. – Л., Гидрометеиздат, 1978. – 312 с.
- Черноморец С.С., Петраков Д.А., Алейников А.А., Беккиев М.Ю., Висхаджиева К.С., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Кидяева В.М., Крыленко В.В., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Рец Е.П., Савернюк Е.А., Смирнов А.М. Прорыв озера Башкара (Центральный Кавказ, Россия) 1 сентября 2017 года // Криосфера Земли. – 2018. – Т. 22, № 2. – С. 70–80.
- Jakob M., Hungr O. (eds.) Debris-flow hazards and related phenomena. – Springer, 2005. – 739 p.