

# СЕЛЕВЕДЕНИЕ В ИНСТИТУТЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА: НАКОПЛЕННЫЙ ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

УДК 551.311.8:551.311.2:627.141:627



Долина р. Дурулжи. Фото К.С. Висхаджиевой

## ХЕРХЕУЛИДЗЕ Г.И.

Грузинский технический университет, г. Тбилиси, Грузия, georgex@rambler.ru

Адрес: ул. Мераба Костава, д. 77, г. Тбилиси, 0179, Грузия

**Аннотация:** в статье содержится информация об основных направлениях и результатах научной и практической деятельности специалистов Института гидрометеорологии Грузинского технического университета в области селеведения. Даются оценка результатов и выводы о возможностях и способах их улучшения. Отмечается, что Институтом накапливается и систематизируется информация о селевых водотоках, которая позволила при соавторстве специалистов соответствующих подразделений Гидрометслужбы, под редакцией специалистов Института издать в 1969 г. «Каталог селевых потоков Северного Кавказа и Закавказья», а в последующие годы, по разработанным в Институте легенде и методам расчета селеобразующего водного и селевого стока, выпустить обзорные карты селевой опасности Закавказья и Дагестана, Грузии, Азербайджана и Армении. Отмечается, что в Институте создаются, апробируются в проектной практике и совершенствуются методы определения расчетных характеристик дождевых селей; даются рекомендации по определению параметров селеформирующего водного стока; отстаивается реалистичность концепции преобразования водного потока в селевой; разрабатываются комплексная методика альтернативных прогнозов селевой опасности на основе анализа базы данных о сопутствующих наблюдаемому ряду прошедших селей гидрометеорологических предикторах; оценивается влияние изменения климата на характер и масштаб селевого стока; разрабатываются рекомендации по проведению противоселевых мероприятий, в том числе с применением сквозных конструкций; систематизируются схемы учета сил, влияющих на устойчивость и прочность сооружений; объясняются причины имевших место разрушений. В традициях Института считать, что разработанные в нем, а также любые другие существующие и новые теоретические и практические методологии и рекомендации могут и должны постоянно совершенствоваться на основе их объективного и конструктивного сравнительного анализа и оценки результатов применения, с корректировкой устоявшихся традиций, замены их, по необходимости, более совершенными. Подчеркивается необходимость системного, комплексного подхода к проблемам предотвращения или смягчения ущерба от селей, планирования и осуществления противоселевых мероприятий.

**Ключевые слова:** селевые потоки; традиции; мониторинг; параметры; прогноз; защита; опыт; оценки; перспективы

**Ссылка для цитирования:** Херхеулидзе Г.И., 2018. Селеведение в Институте гидрометеорологии Грузинского технического университета: накопленный опыт и перспективы развития. Геориск, Том XII, № 4, с. 12–23.

# DEBRIS FLOW STUDIES AT THE INSTITUTE OF HYDROMETEOROLOGY OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY: EXPERIENCE AND PROSPECTS

GEORGE I. KHERKHEULIDZE

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, georgex@rambler.ru

Address: Bld. 77, Merab Kostava St., 0179, Tbilisi, Georgia

**Abstract:** the article contains information on the main directions and results of the scientific and practical activities of specialists from the Institute of Hydrometeorology (Georgian Technical University) in the field of debris flow studies. Evaluation of the results and conclusions about the possibilities and ways to improve them are given. It is noted that the Institute accumulates and systematizes information co-authored by specialists of the Hydrometeorological Service. It allowed to publish a "Catalog of the debris flows of the North Caucasus and Transcaucasia" in 1969, edited by specialists of the Institute. In subsequent years, based on obtained information and methods of calculating the debris flow forming water and debris flow discharge the specialists of the Institute published overview maps of debris flow hazards in the Transcaucasus and Dagestan, Georgia, Azerbaijan and Armenia. It is noted that the Institute creates, approves in design practice and improves methods for determining the design characteristics of rain debris flows; gives the recommendations for determining the parameters of debris flow forming water runoff; defends the realistic concept of transforming water flow into debris flow; develops the complex methodology of alternative debris flow hazard forecasting methods, based on the analysis of a database of hydrometeorological predictors related to the observed debris flows; assesses the impact of climate change on the nature and scale of debris flows; develops the recommendations for carrying out anti-debris flow measures, including lattice structures; systematizes schemes for recording forces affecting the stability and strength of structures; explains the causes of the destruction. In the traditions of the Institute, it is assumed that theoretical and practical methodologies and recommendations, both developed in Institute and existing and new, should be constantly improved on the basis of their objective and constructive comparative analysis and evaluation of the results of application. It's important to adjust established traditions and replace them, by necessity, more perfect. The necessity of systematic, integrated approach to the problems of preventing or mitigating damage from debris flows, planning and implementation of anti-debris flow activities is emphasized.

**Key words:** debris flows; traditions; monitoring; parameters; forecast; protection; experience; assessments; prospects

**For citation:** Kherkheulidze G.I., 2018. Debris flow studies at the Institute of Hydrometeorology of the Georgian Technical University: experience and prospects. Georisk, Vol. XII, No. 4, pp. 12–23.

## Введение

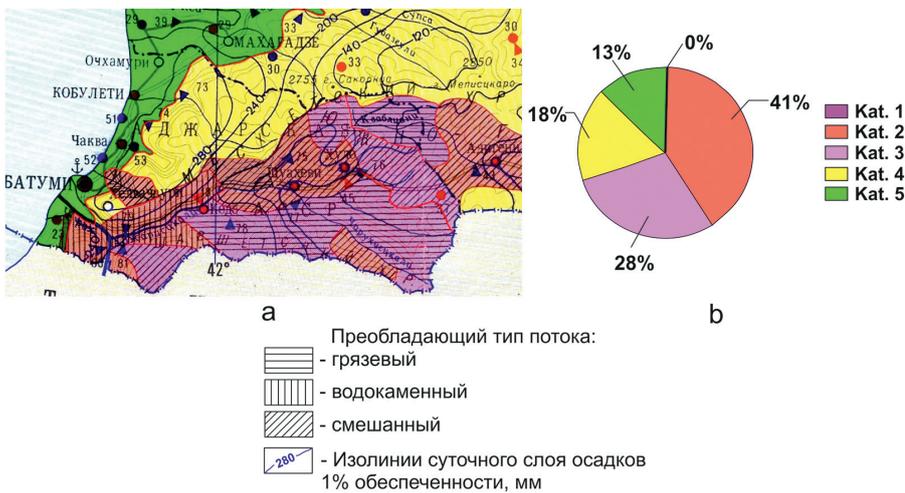
Институт гидрометеорологии Грузинского технического университета (ИГ ГТУ или Гидрометинститут ГТУ) основан в 1953 г. на базе Тбилисской геофизической обсерватории. При основании он — Тбилисский, а с 1963 г. — Закавказский научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ЗакНИГМИ), с 1992 г. — Институт гидрометеорологии АН Грузии, ныне — Гидрометинститут ГТУ. Сформировавшиеся традиции научных и научно-прикладных разработок Института вносили и вносят существенный вклад в решение сложнейших общих и частных задач селеведения. В емком обзоре [17] отмечено участие Института и его специалистов в формировании «советской школы» селеведения в «золотые десятилетия» (с 1950-го по 1990 гг.). **Цель статьи** — на основе краткого аналитического обзора деятельности Института в области селеведения (и смежных сферах) осветить полученные результаты и сделать выводы о способах и возможностях их улучшения.

## Накопление и систематизация информации

Комплексное изучение селевых потоков и борьба с ними на Южном Кавказе, в том числе и в Грузии, начинается с 1925 г. Основоположниками данных научных исследований являлись ученые Института водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава Грузинского технического университета (бывший ГрузНИИГМ): профессор М.С. Гагошидзе, академики Ц.Е. Мирцхулава и О.Г. Натишвили, профессор В.И. Тевзадзе, к.т.н. Л.А. Сулаквелидзе и Д.К. Пруидзе. В дальнейшем в конце XX — начале XXI в. работы были продолжены их учениками и последователями — профессорами Г.В. Гавардашвили, Э.Г. Кухалашвили и др.

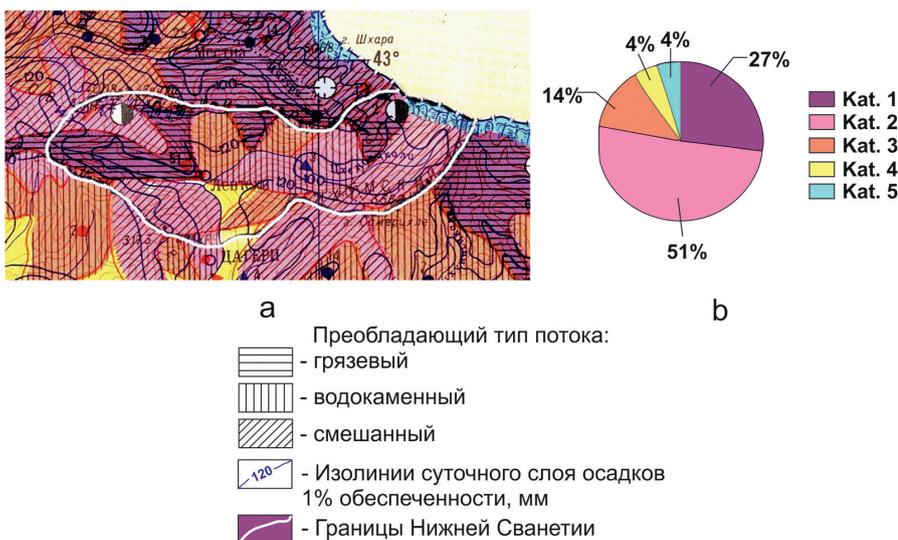
Важный этап работы по сбору и систематизации информации о селевых водотоках и селевых явлениях на Кавказе, начавшийся в первой половине XX в., был завершён в 1969 г. изданием «Каталога селеопасных рек Северного Кавказа и Закавказья» [15], разработанного в соответствии с методическими рекоменда-

циями КазНИГМИ и включающего каталоги: Северного Кавказа без Дагестана, Грузинской ССР, Азербайджанской ССР и Дагестанской АССР, Армянской ССР, подготовленные под руководством специалистов соответствующих Управлений Гидрометеорологической Службы (УГМС). Каждый из перечисленных каталогов содержит: краткую характеристику географического положения рассматриваемой территории; обзорные картосхемы гидрографии с выделением пронумерованных по списку селевых водотоков; таблицы с перечнем селевых водотоков, их гидрографическими характеристиками, с перечнем всех зафиксированных случаев и дат прохождения селей, с данными об основных элементах обследованных селевых потоков с указанием источников информации. Каталог иллюстрирован фотографиями фрагментов селевых русел. В этом капитальном труде были сосредоточены сведения о селевых бассейнах и прошедших селевых потоках за период с позапрошлого века по 1965 г., содержащиеся в трудах многих организаций и специалистов.



**Рис. 1.** Обзорная карта селевой опасности Аджарии и прилегающих районов (а) и диаграмма распределения ее территории по категориям селевой опасности (b): 1 — высокая, 2 — средняя, 3 — слабая, 4 — потенциальная, 5 — сели не ожидаются (равнина или ледники). Описание категорий селевой опасности дано в табл. 1

**Fig. 1.** Overview map of the debris flow hazard of Adjara and adjacent areas (a) and diagram of the distribution of its territory into categories of debris flow hazard (b): 1 — high, 2 — middle, 3 — low, 4 — potential, 5 — without debris flows (plain or glacier). Description of the debris flow hazard categories is in the table 1



**Рис. 2.** Обзорная карта селевой опасности Нижней Сванетии и прилегающих районов (а) и диаграмма распределения ее территории по категориям селевой опасности (b): 1 — высокая, 2 — средняя, 3 — слабая, 4 — потенциальная, 5 — сели не ожидаются (равнина или ледники). Описание категорий селевой опасности дано в табл. 1

**Fig. 2.** Overview map of the debris flow hazard of Lower Svaneti and adjacent areas (a) and diagram of the distribution of its territory into categories of debris flow hazard (b): 1 — high, 2 — middle, 3 — low, 4 — potential, 5 — without debris flows (plain or glacier). Description of the debris flow hazard categories is in the table 1

Сбор и обработка селевой информации по использованной в каталоге схеме продолжались всеми его разработчиками до начала 1990-х гг., причем значительное пополнение ее объема достигалось за счет сплошного дешифрирования аэрофотоснимков территорий и поступления информации от гидрометеорологической

сети. Институтом были разработаны рекомендации по созданию банков данных селевой информации (и выявлены ее потенциальные потребители), по организации и проведению селевого мониторинга. Накопленная к началу 1990-х гг. информация позволила, по разработанным в институте легенде и методам расчета селе-

образующего водного и селевого стока с участием специалистов соответствующих УГМС, издать обзорные карты селевой опасности Закавказья и Дагестана, Грузии, Азербайджана и Армении масштаба 1:1 000 000 [6], в которых в качестве критериев опасности были использованы количественные характеристики селевых бассейнов, очагов и максимального (прогнозного) селевого стока. На картах также дана информация о селеобразующих осадках 1% обеспеченности, необходимая для расчетов селевого стока (разработанная М.С. Хвичия — для Грузии и Е.А. Талановым — для остальных территорий). По разработанным КазНИГМИ с участием Института документам (РД 52.30.238 89 «Руководство селестоковым станциям и гидрографическим партиям. Выпуск 1. Организация и проведение работ по изучению селей» и «Методические указания по ведению государственного водного кадастра. Раздел 1. Поверхностные воды. Выпуск 3. Составление и подготовка к печати изданий серии 2: «Ежегодные данные». Часть 4. Ежегодные данные о селевых потоках») намечались: организация и проведение работ по изучению селей и разработка расширенного издания каталога. Однако из-за возникшей в 1991 г. разобщенности исполнителей на государственном, ведомственном и даже внутриведомственном уровнях, а также возникших проблем с финансированием и кадрами, перспективные работы были свернуты. С 1992 г. сбор и систематизацию селевой информации Институт осуществляет самостоятельно, проводя оценку характера селевой опасности, устанавливая зоны ее распространения в географических и административных районах территории Грузии, в том числе в составе различных тематических атласов. Существенный вклад в эти разработки по-прежнему вносит обширная и хорошо систематизированная информация «золотых десятилетий». Примером таких разработок является карта селеопасных районов Аджарии и Нижней Сванетии (рис. 1–3).

Ряд характерных селевых очагов и русел Аджарии и Нижней Сванетии представлен на приведенных ниже фотографиях (рис. 3–6).

### Традиции в области изучения условий формирования селей и инженерных проблем селеведения

Работы по изучению условий формирования селевых потоков, их стоко-



**Рис. 3. Селевые очаги в верховьях р. Аджарисцкали (ПО «Транспроект», Грузия)**

Fig. 3. Debris flow origination sites in the upper part of Adjaristskali river (Project organization “Transproject”, Georgia)



**Рис. 4. Русло селевого притока р. Аджарисцкали (ПО «Транспроект», Грузия)**

Fig. 4. Bed of the debris flow tributary of Adjaristskali river (Project organization “Transproject”, Georgia)

вых и русловых характеристик проводятся в Институте с 1958 г. под руководством И.И. Херхеулидзе, использовавшего ранее накопленный опыт работы в системе института «Союздорпроект» [13]. В Институте разрабатываются основы инженерной теории селевых потоков, включающей: а) понятия о пределе текучести селевой массы (в зависимости от физико-механических характеристик и концентрации ее твердой составляющей), о плотности упаковки твердых частиц и возможности трансформации водного потока в селевой (которая отрицалась рядом селевиков, но была доказана уникальными экспериментами КазНИГМИ на Чемолган-

ском полигоне); б) статистический и феноменологический анализ известных фактических материалов по параметрам селевых потоков и, на их основе, известных (в том числе собственных) методов расчета с выбором оптимальных решений. Важнейшие результаты этих исследований нашли отражение в разработанном (ныне действующем) документе (ВСН 03-76 «Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей»), который дает возможность определения (оценки) полного состава данных, необходимых для проектных обоснований. За истекший период она применялась как при проектировании многих десятков сооруже-

жений на селевых реках, так и для определения ареалов связанного с селевым воздействием риска (в том числе специалистами Института). Результаты проведенных исследований, а также рекомендации по определению параметров прорывных волн селевого генезиса отражены в специальных сборниках [1, 5, 16]. Ниже приводится ряд основных положений и результатов этих исследований. Необходимо подчеркнуть, что в своих разработках специалисты Института продолжают придерживаться основных определений и концепций, сформулированных ранее, хотя готовы рассмотреть и принять конструктивные замечания по всем вопросам. Прежде всего отметим, что: селевой поток — это перемещение по руслу смеси жидкой и твердой компоненты. Источниками твердой и жидкой составляющих могут быть самые разнообразные материалы и жидкости, но в обычной практике — это водный сток и продукты разрушения горных пород. Селевые потоки могут возникать в результате переувлажнения и быстрой потери устойчивости рыхло-обломочных масс, скопившихся в селевых очагах с крутыми уклонами склонов и русла, с последующим переходом в течение в виде руслового потока, а могут образовываться в результате насыщения грунтом мощного паводкового или прорывного водного потока в процессе перемещения. В первом случае плотность селевой массы близка к предельной уже в момент начала движения, если не происходит ее разжижение в результате обильной боковой приточности на устойчивых к размыву участках речной долины. Во втором случае водный сток трансформируется в селевой в результате набора твердой составляющей в процессе движения потока за счет вбирания руслового и склонового рыхло-обломочного материала, причем колебания плотности могут быть значительными за счет отложения части твердого материала на пологих участках русла и образования прибрежных валов либо нового набора его на участках с более крутым уклоном, согласно концепции предельного насыщения (автор концепции и модели И.И. Херхеулидзе). Апробированная в ведомственных нормах ВСН 03-76 в дальнейшем совершенствовалась рядом разработчиков (самим автором, а также Г.И. Херхеулидзе) и имеет широкое применение в проектной



Рис. 5. Селевые отложения в русле селевого притока р. Аджарисцкали (ПО «Транс-проект», Грузия)

Fig. 5. Debris flow deposits in bed of the debris flow tributary of Adjariistskali river (Project organization "Transproject", Georgia)



Рис. 6. Русле правого селевого притока р. Цхенисцкали-Бабилы (фото Н.В. Рухадзе, 2001 г.)

Fig. 6. Bed of the debris flow tributary of Tskhenistskali-Babili river (photo by N.V. Rukhadze, 2001)

практике, в особенности в сфере транспортного строительства, прокладки коммуникаций через селевые водотоки.

Необходимо отметить, что в основе построения методики расчета характеристик селевого стока, содержащейся в инструкции ВСН 03-76 («методика За-кНИИ»), лежит уравнение баланса объемов компонентов, слагающих селевую массу ( $V_C$ ), прошедшую через

расчетный створ в заданный промежуток времени  $T = t_2 - t_1$ . Оно записывается в следующем виде:

$$V_C = V_T + V_{\Pi} + V_B = V_T + (V_{ВП} + V_{ВЗД}) + V_B, \quad (1)$$

включая поступивший с грунтом воздух, и

$$V_C = V_T + V_{\Pi} + (V_B - V_{ВЗД}), \quad (2)$$

если воздух замещен частью поступившей воды.  $V_T, V_{ВП}, V_B, V_{ВЗД}$  — соответственно, объемы твердой компоненты в плотном теле (грунта без учета объема пор); воды, заполнявшей поры грунта; воды внешних источников (ливневого, поверхностного стока, прорывного стока и т.п.); воздуха заполнявшего поры грунта. Расход селя, осредненный за расчетный промежуток времени  $Dt$ , при этом равен  $Q_{СР} = V_{CDt}/Dt$ . Приведенные соотношения могут рассматриваться в дифференциальной форме. На взгляд автора с коллегами, влияние воздуха в составе селеформирующего грунта может быть весьма существенным, обуславливая роль предварительного увлажнения поступающего в поток грунта.

Работа по изысканию возможностей усовершенствования инструкции ВСН 03-76 проводилась со времени ее издания. Так, автором (И.И. Херхеулидзе) в статьях сборника [5] было предложено при определении селеактивности в селевых очагах, сложенных рыхло-обломочным грунтом, вводить поправку на устойчивость их ложа, зависящую от числа Лохтина и возможности (и целесообразности) определения водного расхода наряду с рекомендованным в инструкции ВСН 03-76 другими, наиболее подходящими (апробированными) для данных условий методами (например, также разработанными в Институте «Техническими указаниями по расчету максимального стока рек в условиях Кавказа» (Г.Д. Ростовов, 1980, За-кНИИ Госкомгидромета СССР, Тбилиси)). В процессе практической апробации методики ВСН 03-76 было также отмечено, что большие неудобства представлял слишком широкий диапазон значений удельного коэффициента селеактивности  $z_i$  для каждого из характерных участков. В связи с этим было предложено детализировать слишком широкий диапазон значений  $z_i$  для каждого из характерных участков бассейна (Таблица 1, ВСН 03-76) путем учета: принадлежности слагающих селевые очаги основных пород к одному из шести (Э.Д. Церетели в [5]) литолого-стратиграфических комплексов, высотного положения очага и его удаленности от основного русла.

Коэффициент селевой активности бассейна водотока рассчитывается по формуле:

$$\mu = \sum_{i=1}^n (F_i z_i), \quad (3)$$

$F_i$  — площади отдельных участков бас-

Таблица 1

Table 1

**Удельные коэффициенты селеактивности  $z_i$  (I — селевые очаги, примыкающие к селевым руслам, II — селевые очаги, не связанные непосредственно с русловой сетью)**  
**Specific coefficients of debris flow activity  $z_i$  (I — debris flow origination sites adjacent to the debris flow beds, II — debris flow origination sites, not connected directly with the channel network)**

Категория	Характеристики (категории) участков, характер и степень развития эрозионных процессов	Индекс пород	$z_i$	
			I	II
1	Зоны накопления рыхлообломочного материала в мощных эрозионных врезках у границ ледников и снежников. Конусы выноса селевых притоков и лавинных лотков. Русла и террасы главного тальвега и основных притоков, выполненные мощными отложениями рыхлых материалов, с неустойчивыми склонами, подрезанными при проходе высоких вод	K1	1,00	0,80
		K2	0,90	0,85
		K3	0,85	0,80
		K4	0,80	0,75
		K5	0,75	0,70
		K6	0,70	0,65
2	Обнаженные крутопадающие склоны, подверженные интенсивному выветриванию, зоны развития обвалов, камнепадов, оползней и осыпей (сформировавшиеся селевые очаги)	K1	0,80	0,70
		K2	0,70	0,60
		K3	0,65	0,55
		K4	0,55	0,45
		K5	0,50	0,40
		K6	0,45	0,35
3	Зоны под пахотой или изреженным лесом и кустарником с выбитой подстилкой, с повреждением почвенного покрова и обнажением коренных пород (селевые очаги в начальной стадии формирования)	K1	0,40	0,30
		K2	0,35	0,25
		K3	0,30	0,20
		K4	0,15	0,15
		K5	0,10	0,10
		K6	0,10	0,10
4	Зоны под сомкнутым лесом с нормальной подстилкой, но при плохо организованном лесном хозяйстве с возможным образованием карчехода и заломов	—	0,10	0,05
5	Зоны под альпийскими лугами с полноценным дерновым покровом и нормально организованным выпасом скота	—	0,06	0,04
6	Зоны под сомкнутым лесом с полноценной подстилкой и правильно организованным лесным хозяйством	—	0,03	0,01

Примечание: Индексы комплексов селеформирующих пород даны в табл. 2

Таблица 2

Table 2

**Характерные комплексы селеформирующих пород**  
**Characteristic complexes of debris flow forming rocks**

Индекс	Состав комплекса
K1	Скальные и полускальные породы, легко размываемые аспидные и глинистые сланцы, песчаники, мергели, мергелистые известняки, аргиллиты
K2	Связные глинисто-песчаные породы верхней юры и олигоцен-миоцена, глины, аргиллиты, песчаники с прослоями мергелей и конгломератов
K3	Грубообломочные молассовые отложения со связными и песчаными породами миоплиоцена, конгломераты с прослоями и линзами глин, суглинков и рыхлых песчаников
K4	Скальные породы вулканогенно-осадочной формации бассейна и среднего эоцена, роговообманковые и альбитовые порфириты из туфа, туфо-песчаники, туфобрекчии, лавовые брекчии
K5	Высокопрочные породы, кристаллические сланцы, филлиты, анизотропные гнейсы, гранитоиды
K6	Высокопрочные скальные породы карбонатной формации мела и верхней юры, брекчированные и доломитизированные известняки, доломиты, песчаные и мергелистые известняки

сейна (площадь  $F$ ), характеризующихся коэффициентами селевой активности  $z_i$ .

Разумеется, приведенная схема определения селевой активности подлежит уточнению на основе апробации с дополнительным учетом региональных геологических особенностей селефор-

мирования и с переходом, по возможности, к количественным показателям, характеризующим возможный вклад различных селевых очагов в формирование селевых потоков.

При производстве расчетов на предварительной стадии проектирования, до проведения полевых обследований

селевых бассейнов, по нашей рекомендации, допускается определять коэффициент селеактивности  $\mu$  по формуле

$$\mu = K_{\mu} \cdot I^{x_4}, \quad (6)$$

где  $I$  — средний уклон лога в ‰. Значения  $K_{\mu}$  и  $x_4$  принимают по табл. 3.

Таблица 3  
Table 3

Параметры коэффициента селеактивности $\mu_j$ Parameters of the coefficient of debris flow activity $\mu_j$								
Степень пораженности эрозией	Категория селеопасности	Параметры	Высота расположения очагов, м н.у.м.					
			более 3 000	2 800	2 600	2 400	2 200	2 000 и менее
Высокая (наличие крупных очагов 1-ой категории)	I	$K_\mu$	0,080	0,075	0,070	0,065	0,060	0,065
		$x_4$	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35
Средняя (наличие крупных очагов 2-й категории)	II	$K_\mu$	0,055	0,050	0,045	0,040	0,035	0,030
		$x_4$	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40
Низкая (наличие значительного количества очагов 3-й категории)	III	$K_\mu$	0,040	0,040	0,035	0,035	0,020	0,020
		$x_4$	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30	0,30

Категории селеопасности принимают по картам селеопасных территорий, имеющимся в территориальных управлениях Гидрометслужбы. Степень эрозионной пораженности оценивают по крупномасштабным топографическим картам и материалам дешифрирования аэрофотоснимков с использованием удельных коэффициентов селеактивности  $z_j$  по табл. 1, 2. Следует иметь в виду, что рекомендованное в инструкции значение  $\mu \geq 0,063I^{0,40}$  дает концентрации  $S_{0p}$ , близкие к предельным.

Эти рекомендации включены в соответствующие разделы изданного (но не утвержденного) пособия («Пособие к СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП-91)), а затем, с рядом оценок, опубликованы автором [8, 10]. Отметим, что параметрический анализ модели предельного насыщения позволяет сделать вывод о том, что по числу и составу предикторов она достаточно полноценна и не уступает другим современным моделям, что дает основания для ее дальнейшего развития путем уточнения и совершенствования способа учета входящих параметров. Теоретически рассматриваемая модель может быть использована для любых типов селей, однако ее практическая реализация в настоящее время осуществлена лишь с использованием сведений о селевых потоках ливневого генезиса, для которых и разработаны рекомендуемые на сегодняшний день методы (типа модифицированной методики ВСН 03-76). Механизм формирования высокоплотных селей в области  $S_0 \rightarrow S_{пт}$  весьма сложен и подлежит специальным исследованиям.

Необходимо отметить, что традиционным для специалистов Института является систематическое сотрудничество с проектными организациями и непосредственное участие в составлении проектных обоснований с принятием окончательного объективного решения на основе сравнительного анализа с другими известными (прежде всего нормированными) решениями и сопоставления с репрезентативными фактическими данными.

### Вопросы противоселевой защиты

Основы этого направления исследований были заложены в 1940-е гг. и обобщены в публикации [13], где рассмотрены мероприятия по предотвращению развития эрозионных процессов в горно-предгорной зоне, в частности, сокращению объема овражных (селеобразующих) выносов путем возведения барражей. В ЗакНИГМИ это направление получило дальнейшее развитие. Были проанализированы существующие методы селезащиты и регулирования селевых русел, предложены новые типы «сквозных промышленных селезащитных сооружений из сборного железобетона» («системы ЗакНИГМИ»), и разработан комплекс рекомендаций по их проектированию в различных природных условиях [14]. Институт организует исследования с целью обеспечения их надежности: систематизируются возможные схемы воздействия селей на преграды (схема Г.И. Херхеулидзе в СН 518.79 «Инструкция по проектированию и строительству противоселевых защитных сооружений»), и разрабатываются методы расчета селевых нагрузок на них [5]; в лабораториях

гидротехники, гидродинамики и аэродинамики проводятся экспериментальные исследования гидравлической работы конструкций. Разрабатываются теоретические основы и программное обеспечение статико-динамических расчетов сквозных конструкций и их элементов. В 1975 и 1976 гг. на примере экспериментального сквозного сооружения на р. Дуруджи, успешно выдержавшего натиск двух мощных селей, подтверждается эффективность работы этих конструкций. Изучение опыта работы сквозных сооружений позволяет к концу 1970-х гг. разработать рекомендации по усовершенствованию их конструктивных элементов и компоновочных схем (Г.И. Херхеулидзе). Эти рекомендации, в частности, были реализованы в осуществленном проекте защиты от селей г. Телави комплексом из трех сквозных конструкций высотой 12,5 м. Конструкции системы ЗакНИГМИ были построены также в Югославии и в ряде других стран.

К сожалению, опыт эксплуатации сквозных конструкций не обобщался. При этом известно, что экспериментальное сооружение на р. Дуруджи, а также несколько сооружений на Северном Кавказе и в Казахстане были разрушены селом, что используется как предлог усомниться в эффективности конструкции (особенно конкурентам). Однако, без специальной (и объективной) экспертизы проектных обоснований и установления конкретных причин разрушения сооружений суждения об их эффективности некорректны. Так, в статье из сборника [16] наглядно показано, что причины разрушения — это *разрыв нижнего бьефа конструкции из-за грубейших отклонений от проекта при постройке; ничем не обосновано*

ванный отказ (Минводхоза СССР) от продолжения эксперимента и прекращения эксплуатационного надзора. Отметим, что пойменная секция, заполненная крупнообломочной селевой массой, еще долго выполняла роль полузапруды, отжимая потоки (в том числе селевые) к правому берегу, препятствуя лобовому набегу их на защищающую город Кварели дамбу.

Причиной разрушения сооружения, помимо дефектов постройки, может быть также несоответствие его размеров или (и) элементов расчетным типу и параметрам селя. Например, если фактические параметры селя превысили расчетные или если принятая сквозность конструкции недостаточна для смягчения лобовой нагрузки (при крупновалунных селях).

### **Задачи прогнозирования селевой опасности и проблемы селевого мониторинга**

Под селевой опасностью подразумевается возможность получения ущерба в результате прохождения селя, а под риском — пренебрежение знанием о такой возможности с оценкой вероятности и масштаба ущерба или без нее. Критерием такого риска может быть ущерб, который будет получен в зоне селевого воздействия при параметрах селевого стока с заданной обеспеченностью. Отметим, что селя — это «поток твердожидкой (селевой) массы (смеси)» или (для преобладающего типа селей) «поток водно-грунтовой смеси», который может перемещаться как быстро, так и медленно и на любых уклонах, например, при набеге на преграду и переливе через нее. Специалисты Института полагают, что экзогенные процессы (выветривание, эрозия, сели и др.), в приложении к селеведению, это — комплексные метеорологические, гидрологические и геологические процессы (по принципу общего определения: процессы между атмосферой, гидросферой и литосферой).

Со второй половины 1980-х гг. в Институте (З.П. Богуславская, О.М. Фридман, И.Г. Плоткина, Г.И. Херхеулидзе, И.В. Чоговадзе) разрабатываются рекомендации по альтернативным краткосрочным прогнозам селеопасности и селеобразующих осадков с использованием методов дискриминантного анализа с просеиванием предикторов и методики распознавания образов. Создается банк данных по шести пунктам наблю-

дения метеорологических данных, расположенных в бассейне р. Алазани, по 13 основным предикторам, влияющим на селевые процессы (ежедневные данные наблюдений) за весь период известных случаев прохождения селей. На основе результатов этих исследований разработаны: ряд прогностических зависимостей, а также комплексная методика выдачи альтернативного прогноза селевой опасности. Проверка рекомендуемых методов по данным 56-летнего цикла наблюдений с ежедневной выдачей прогноза, оценкой его качества по всем критериям матрицы сопряженности показала удовлетворительную надежность рекомендуемых методов, подтвержденную также кратковременным периодом испытания гидрографической партией ГрузУГМС, которое закончилось в связи с отсутствием необходимых финансов и кадров. Основные результаты описанных исследований опубликованы в статьях [1, 7].

### **Разработки в области изучения влияния возможных изменений селеформирующих условий и факторов на характер и масштабы селевого риска**

Оценки влияния изменения климата на характер и масштаб селевых процессов в настоящее время находятся в стадии разработки и даются на основе параметрического и феноменологического анализа параметров, принятых для альтернативного прогноза селей и расчета их стоковых характеристик в диапазоне их возможных изменений (с учетом возможности похолодания). Оценивалось также возможное влияние длительной засухи на параметры селевого стока.

Селеформирующие условия это: а) обстановка (природная среда), в которой происходит формирование жидкой, твердой составляющей и самого селевого потока, а также его дальнейшее перемещение по руслу: совокупность обстоятельств (факторов), определяющих характерные особенности этих процессов (географическое положение селевого бассейна, его геологическое строение, гидрометеорологический долгосрочный (климат) и краткосрочный режимы, геоморфология, почвенно-растительный покров, оледенение, сейсмичность, вулканизм, деятельность человека, совокупность «факторов селеформирования» по В.Ф. Перову [3]); б) данные, из которых следует исходить

при оценке характера и масштаба селевого риска: информация о генезисе, реологической структуре, масштабе (расход, объем выносов и ареал их распространения), возможном ущербе. Эти данные могут быть получены на основе фактических материалов или совокупного учета параметров, входящих в зависимости по альтернативному прогнозу возможного прохождения селя и по вероятностной оценке его стоковых характеристик (расход, уровни затопления, объем стока, силовое воздействие на преграды).

В краткосрочный и среднесрочный период времени наибольшим колебаниям подвержен режим гидрометеорологических элементов, который и в дальнейшем будет изменяться в связи с прогнозируемым изменением климата, а это, в свою очередь, повлияет на факторы почвенно-растительного покрова, оледенения. На процессах изменения всех этих факторов все больше будет сказываться влияние деятельности человека как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения селевого риска. В отношении изменения климата, исходя из известных данных о механизме формирования селей, может быть сделан следующий прогноз общего характера:

- похолодание климата будет способствовать: снижению интенсивности кругооборота воды, развития экзогенных (эрозионных) процессов и области их распространения; уменьшению продолжительности селевого сезона, частоты прохождения селей и, в целом, масштаба селевого риска, в особенности от селей дождевого генезиса;
- потепление климата: а) на первом этапе будет способствовать: росту интенсивности кругооборота воды за счет таяния льдов, а также развития экзогенных (эрозионных) процессов и области их распространения; резкому увеличению селевой активности, в том числе в высокогорной зоне за счет интенсивного таяния льдов и опорожнения моренных озер; увеличению продолжительности селевого сезона и, в целом, масштаба селевого риска в особенности от селей смешанного генезиса (совмещенного — дождевого, снего-ледового и лимногенного); б) на следующем этапе характер и масштаб селевого риска будут зависеть от режима дождевого и водного стока — возрастет частота схода селей в виде

Феноменологические оценки риска Phenomenological risk assessments		
№	Ситуация в бассейне реки	Оценка развития селевых процессов и селевого риска
1	В начале селевого сезона в бассейне накоплен большой объем снега и льда, в русле и на боковых притоках имеются оползневые, снеголавинные завалы, селевые очаги сильно увлажнены	1.1. При интенсивном повышении температуры, наложении на паводковый сток ливневых осадков — формирование мощных, в том числе связанных, селей преимущественно в начале селевого сезона. 1.2. При затяжных дождях — накопление в русле и смыв в нижнее течение большого количества рыхлообломочного материала с повышением дна и уровней затопления; при подрезке языков сильно увлажненных оползней и берегов возможно образование мощных несвязных селей
2	Засуха в начале селевого сезона после предшествующей осенне-зимней засухи	Повреждение растительного покрова, высокая интенсивность выветривания и накопления в селевых очагах рыхлообломочного материала, таяние ледников, опасность прорыва моренных озер. Формирование селей зависит от господствующего режима температуры и осадков: при значительном повышении температуры — сели прорывного (моренного) генезиса, при обильных дождях и ливнях высокой интенсивности — риск формирования дождевых селей большой мощности (рис. 7)
3	Засуха в начале селевого сезона после предшествующей длительной засухи с ее последующим длительным (многолетним) продолжением	То же, что и в пункте 2, но с уменьшением частоты прохождения селей, риск прохождения мощного селя лишь при ливнях высокой интенсивности и при прорыве моренных озер
4	Длительная многолетняя засуха при неизменной или повышающейся средней температуре за период селевого сезона	То же, что и в пункте 2, но после интенсивного таяния ледников и уменьшения количества или исчезновения моренных озер — устранение риска от селей соответствующего генезиса с сохранением риска формирования селей большой мощности при редких ливнях высокой интенсивности



Рис. 7. Состояние берега реки при таянии обильного снежного покрова (фото ИТАР-ТАСС)

Fig. 7. River bank state during the melting of the abundant snow cover (photo by Russian News Agency TASS)

селевых паводков, либо, при редкой частоте, увеличится их мощность. В целом, риски возрастут. Разумеется, характер и степень изменений могут быть различными в зависимости от географического расположения и геоморфологических условий конкретной территориальной единицы (местность, речной бассейн, урочище и др.).

**Качественная оценка возможного характера и масштаба селевого риска** в течении селевого сезона может быть дана на основании феноменологического анализа известных случаев формирования селей по сценариям [7], приведенным в табл. 4.

**Ряд заключений о характере и масштабе селевого риска может быть**

**сделан по результатам предварительного (обзорного) анализа [10] прогнозной формулы, включающей значения:** суточного слоя осадков ( $y$ ) и суммы осадков за предшествующие дате прогноза 20 дней ( $S_{20}$ ), максимальной температуры воздуха ( $T_{max}$ ) и минимальной температуры почвы ( $t_{min}$ ), а также относительной влажности воздуха ( $r$ ):

- 1) с ростом температуры воздуха и почвы увеличивается риск прохождения селей гляциального генезиса, даже при отсутствии дождевых осадков;
- 2) обилие осадков, особенно при значительном предварительном увлажнении грунтов бассейна, говорит о наличии риска от прохождения несвязных грязекаменных и водо-каменных селей;
- 3) при одновременном увеличении всех параметров в первое время риски схода мощных селей и выноса рыхлообломочного материала в устьевую зону будут возрастать, как и частота прогнозов риска.

На рис. 8 продемонстрирован один из возможных вариантов использования прогнозной формулы в виде диаграммы функции  $T_{max} = f(t_{min}, y)$ . Можно видеть, что при максимальной температуре воздуха более  $30^\circ$  и температуре почвы  $\sim 29^\circ$  риск прохождения селя гляциального генезиса может возникнуть даже в сухую погоду при температуре почвы  $22^\circ-28^\circ$ .

На основе указанной зависимости, в первом приближении, могут быть сделаны следующие выводы.

Следует иметь в виду, что во всех перечисленных случаях под риском подразумевается потенциальный ущерб. Его фактические размеры можно определить, лишь оконтурив зону затопления и разрушительного действия селя и оценив тяжесть и стоимость реально возможных потерь или потерь при намеченном освоении этой зоны. Следует также учитывать наличие или намеченное осуществление противоселевых мероприятий в каждом конкретном случае определения риска.

Разумеется, данная работа не претендует на полноту суждений и заключений как по поводу терминологии, так и относительно рассмотренных вопросов влияния различных условий и факторов на характер и масштабы селевого стока, а также на связанные с ним риски ущерба. Она лишь в первом приближении заостряет внимание на ряде, с авторской точки зрения, важных для селеведения вопросов и подходов, требующих дальнейшего уточнения и усовершенствования совместными усилиями специалистов в области изучения всех взаимосвязанных факторов, влияющих на формирование селевых потоков и связанные с ними риски. Важнейшим критерием оценки суждений и эффективности предложений являются фактические материалы. По-

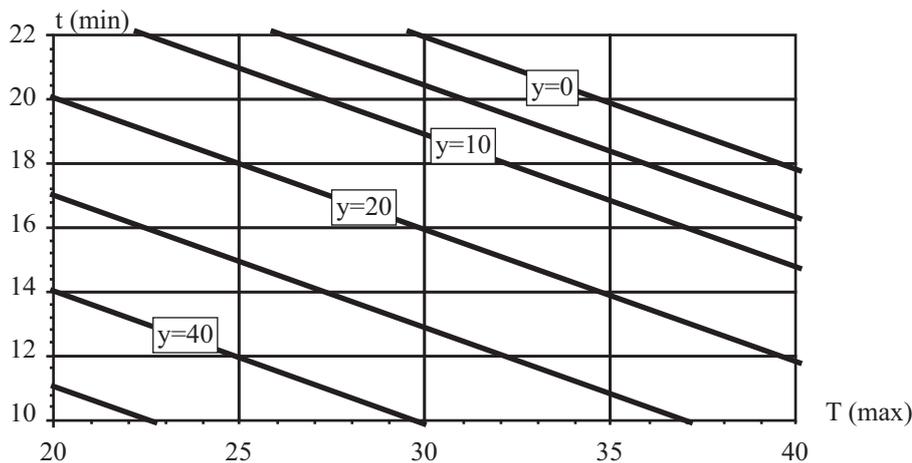


Рис. 8. Диаграмма наличия селевого риска

Fig. 8. Diagram of debris flow risk presence

этому так важно проведение полноценного селевого мониторинга.

Основное содержание этих разработок освещено в публикациях [9, 11, 12], где также представлены достижения Института в области селевого мониторинга.

Принимается, что селевой мониторинг — составной элемент мониторинга окружающей среды (для страны — системы природохозяйственного мониторинга, а поэтому его планирование и осуществление в соответствии с заданными критериями и контроль за ним на всех уровнях (от локальных до государственных мероприятий) — задача специального государственного органа (по замкнутой схеме: информация — оценка — прогноз — мероприятия — информация — и снова: оценка ... и т.д. (в том числе эффективности осуществленных мероприятий)). Подробные рекомендации, включая структурную схему организации и функционирования мониторинга, даются в публикациях [1, 7]. На основе этих рекомендаций, по поступившей заявке, Институтом разработан и передан заказчику проект организации селевого мониторинга в зоне объектов гидроэлектростанции в верховьях р. Алазани (Хадори ГЭС).

#### О практической деятельности специалистов института

За прошедший 65-летний период специалисты Института практически постоянно участвовали в комиссиях всех уровней по оценкам последствий прохождения разрушительных селей, в выборе и назначении защитных мероприятий, в подготовке нормативных документов и пособий. Ими разработаны сотни инженерно-гидрологических об-

оснований проектов, осуществленных и действующих водопропускных, регулирующих, берегоукрепительных сооружений на реках (в том числе проектов сооружений на селевых водотоках и в зоне их влияния на русловые процессы) Кавказа, Средней Азии, Крыма.

На рис. 9–11 приведены примеры разрушительных последствий прохождения селевых потоков, требующих принятия восстановительных и защитных мер.

#### Выводы и рекомендации

1. Вопросы селевой терминологии в разнообразной интерпретации освещены в многочисленных научных изданиях, в частности, — в весьма полезном обобщении В.Ф. Перова. Заметим, что терминология — область весьма тонкая, дискуссионная, связана с формулировкой точки зрения на что-либо, и эта точка зрения (трактовка), в частности на селевые явления и процессы, у специалистов различных областей науки (да и внутри них) зачастую разнится, обычно в пользу той области знаний, которую представляет автор. На этой особенности в своих работах (двухтомнике «Экология», 1986) акцентирует внимание Ю. Одум, отмечая важность объективного учета взаимосвязи и взаимодействия описываемых явлений и процессов.
2. В частности, это относится к определению области знаний, к которой относятся селевые явления. С.М. Флейшман (в своей моногра-

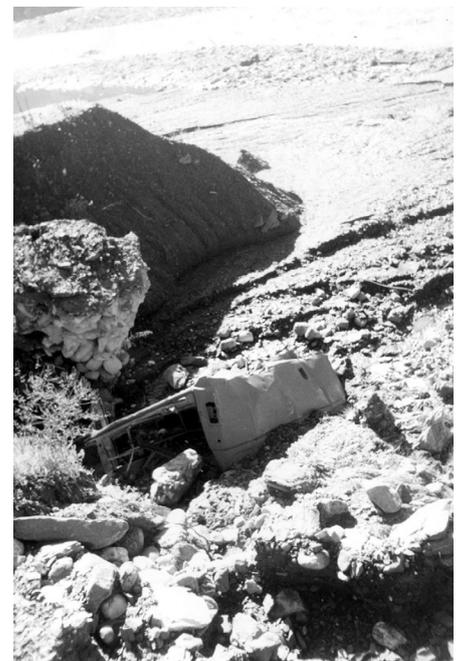


Рис. 9. Последствия прохождения селя на р. Бабили (фото Н.В. Рухадзе, 2001 г.)

Fig. 9. Consequences of the debris flow on the Babili river (photo by N.V. Rukhadze, 2001)

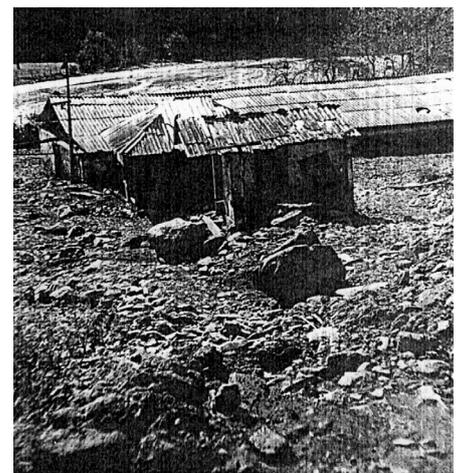


Рис. 10. Разрушительные последствия прохождения селя на р. Мазашисгеле (Сванетия). 17 августа 1983 г. (фото ЗакНИГМИ)

Fig. 10. Devastating effects of the debris flow on the Mazashisgele river (Svaneti). August 17, 1983 (photo by Transcaucasian Hydrometeorological Research Institute)

фии «Сели», 1970), с нашей точки зрения, совершенно справедливо определяет, что в формировании селей первостепенную роль играют геолого-геоморфологические факторы, наряду с гидрометеорологическими. По-видимому, из этого общего определения термин «геоморфологические» можно изъять, поскольку рельеф (также, как и почвенно-растительный

покров) формируется в результате совместного действия геологических, метеорологических и гидрологических процессов. В общем определении, возможно, следует включить антропогенный фактор, роль которого с течением времени усиливается. Поэтому общее определение целесообразно сформулировать так: «селевые явления и процессы — комплекс геологических, метеорологических и гидрологических (с учетом традиции можно: геологических и гидрометеорологических) многофакторных явлений и процессов, на которые может влиять хозяйственная деятельность человека» (положительная или отрицательная).

3. Все эти явления и процессы взаимосвязаны и должны изучаться и учитываться комплексно — скоординированно на всех уровнях и во всех звеньях планирования и осуществления целевых программ. Необходимо согласованное или даже совместное участие специалистов различного профиля (разных государственных ведомств и учреждений, частных, в том числе иностранных, фирм) как в изучении природных процессов, так и в разработке и реализации программ и проектов, которые должны осуществляться вневедомственным государственным органом (типа «Госстроя», а также Академией наук). Для обеспечения оптимальной надежности мероприятий, осу-

ществляемых в зонах возможного ущерба от опасных природных процессов, государству целесообразно иметь свои соответствующие региональным особенностям страны утвержденные нормы и руководства с примечаниями типа: «При надлежащем обосновании надежности допускается применение других апробированных методов и рекомендаций», — чтобы не закрывать дорогу технической и технологической новизне.-

4. Проведенные в Институте, так же как и любые другие существующие и новые, теоретические и практические разработки, методы, рекомендации, определения (терминология), конструкции могут и должны постоянно совершенствоваться на основе их объективного и конструктивного сравнительного анализа и объективной оценки результатов применения (если это возможно, то на основе достоверных фактических данных, полученных современными методами, с доказанной репрезентативностью).
5. Созданная за прошедший период теоретическая и научно-методическая база и сегодня позволяет решать многие задачи, однако лишь в объеме выделяемых на исследования финансов и при наличии современного технического оснащения и квалифицированных кадров.
6. Сель — это все-таки поток и, прежде всего, гидрометеоролого-геологическое (без претензии на формулиров-



**Рис. 11. Разрушительные последствия прохождения селя на притоке р. Цхенисцкали Хеледула. Видны следы перелива потока через мост. 17 августа 1983 г. (фото ЗакНИГМИ)**

Fig. 11. Devastating effects of the debris flow occurred on the Tskhenistskali Heledula river tributary. There are traces of the overflow of the debris flow through the bridge. August 17, 1983 (photo by Transcaucasian Hydrometeorological Research Institute)

ку) явление. Поэтому в осуществлении селевого мониторинга (обследованиях, оценках и рекомендациях) необходимо участие и гидрологов, и геологов, а в назначении и разработке защитных мероприятий, разумеется, — гидротехников. 🌐

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вопросы гидропрогнозов, гидрологии мелиорируемых территорий и гляциологии, 1972. Труды ЗакНИГМИ, Вып. 92 (99).
2. Перов В.Ф., 1996. Селевые явления. Изд-во Московского университета, Москва.
3. Херхеулидзе Г.И. (ред.), 1984. Гидрологические и гидротехнические проблемы противоселевых мероприятий. Гидрометеоздат, Москва.
4. Херхеулидзе Г.И. (ред.), 1989. Карта селевой опасности Закавказья и Дагестана. Масштаб 1:1 000 000. ГУГК СССР, Москва.
5. Херхеулидзе Г.И., 2001. Особенности использования дискриминантного анализа при разработке методов фоновых прогнозов селевой опасности (на примере базы данных по бассейну р. Алазани). Труды Международной конференции по эрозионно-селевым явлениям и некоторым смежным проблемам, Тбилиси, 2001, с. 229–235.
6. Херхеулидзе Г.И., 2011. Оценка параметров модели предельного насыщения в методах расчета максимального селевого стока. Труды Института гидрометеорологии Грузинского технического университета, Том 117, с. 40–43.
7. Херхеулидзе Г.И., 2012. Часть 2. Сели. В кн. Катастрофические наводнения, сели, лавины в Грузии и их безопасность. Технический университет, Тбилиси, с. 110–175. (на грузинском)
8. Херхеулидзе Г.И., 2013. Проблемы и опыт оценки расчетных параметров селеформирующего водного стока. Труды Института гидрометеорологии Грузинского технического университета, Том 119, с. 173–177.
9. Херхеулидзе Г.И., 2014. Задачи пространственно-временного прогнозирования селевой опасности в составе проблемы смягчения риска ущерба и оценка возможностей их выполнения. Труды Института гидрометеорологии Грузинского технического университета, Том 120, с. 73–77.

10. Херхеулидзе Г.И., 2015. О влиянии возможных изменений селеформирующих условий и факторов на характер и масштабы селевого риска. Труды Института гидрометеорологии Грузинского технического университета, Том 121, с. 10–14.
11. Херхеулидзе И.И., 1947. Овражные и селевые выносы. Дориздат, Тбилиси.
12. Херхеулидзе И.И., 1967. Сквозные защитные и регулирующие сооружения из сборного железобетона на горных реках. Гидрометеоздат, Москва.
13. Хмаладзе Г.Н. (ред.), 1969. Каталог селеопасных рек на территориях Северного Кавказа и Закавказья. ГУГМС при СМ СССР, Тбилиси.
14. Хмаладзе Г.Н. (ред.), 1972. Гидрологические и гидротехнические основы проектирования противоселевых сооружений. Труды ЗапНИГМИ, Вып. 40 (46).
15. Черноморец С.С., 2006. Селевые исследования в России и в странах бывшего Советского Союза. В кн. Изменение природной среды на рубеже тысячелетий. Полиграф, Тбилиси-Москва, с. 67–75.

## REFERENCES

1. Questions of hydrological forecasts, hydrology of reclaimed territories and glaciology, 1972. Proceedings of Transcaucasian Hydrometeorological Research Institute, Vol. 92 (99). (in Russian)
2. Perov V.F., 1996. Debris flow phenomena. Publishing House of Moscow State University, Moscow. (in Russian)
3. Kherkheulidze G.I. (ed.), 1984. Hydrological and hydrotechnical problems of debris flow preventive measures. Gidrometeoizdat, Moscow. (in Russian)
4. Kherkheulidze G.I. (ed.), 1989. Map of debris flow hazard in Transcaucasia and Dagestan. Scale 1:1 000 000. Main Department of Geodesy and Cartography of USSR, Moscow. (in Russian)
5. Kherkheulidze G.I., 2001. Features of the use of discriminant analysis in the development of methods for the background prediction of debris flow hazard (a case study of the database on the Alazani river basin). Proceedings of the International Conference on erosion-debris flow phenomena and some related problems, Tbilisi, 2001, pp. 229–235. (in Russian)
6. Kherkheulidze G.I., 2011. Estimation of the parameters of the limit saturation model in the methods for calculating the maximum debris flow runoff. Proceedings of the Institute of Hydrometeorology of the Georgian Technical University, Vol. 117, pp. 40–43. (in Russian)
7. Kherkheulidze G.I., 2012. Part 2. Debris flows. In the book Catastrophic floods, debris flows, avalanches in Georgia and their safety. Technical University, Tbilisi, pp. 110–175. (in Georgian)
8. Kherkheulidze G.I., 2013. Problems and experience of assessing the estimated parameters of a debris flow forming water runoff. Proceedings of the Institute of Hydrometeorology of the Georgian Technical University, Vol. 119, pp. 173–177. (in Russian)
9. Kherkheulidze G.I., 2014. The tasks of spatial-temporal prediction of debris flow hazard as part of the problem of mitigating the risk of damage and assessing the possibilities of their implementation. Proceedings of the Institute of Hydrometeorology of the Georgian Technical University, Vol. 120, pp. 73–77. (in Russian)
10. Kherkheulidze G.I., 2015. On the effect of possible changes in the debris flow forming conditions and factors on the nature and magnitude of debris flow risk. Proceedings of the Institute of Hydrometeorology of the Georgian Technical University, Vol. 121, pp. 10–14. (in Russian)
11. Kherkheulidze I.I., 1947. Gully and debris flow material. Dorizdat, Tbilisi. (in Russian)
12. Kherkheulidze I.I., 1967. Lattice protective and regulatory structures of reinforced concrete on mountain rivers. Gidrometeoizdat, Moscow. (in Russian)
13. Khmaladze G.N. (ed.), 1969. Catalog of debris flow rivers in the territories of the Northern Caucasus and Transcaucasia. General Directorate of the Hydrometeorological Service at the USSR Council of Ministers, Tbilisi. (in Russian)
14. Khmaladze G.N. (ed.), 1972. Hydrological and hydrotechnical bases of the design of anti-debris flow facilities. Proceedings of Transcaucasian Hydrometeorological Research Institute, Vol. 40 (46). (in Russian)
15. Chernomorets S.S., 2006. Debris flow studies in Russia and in the countries of the former Soviet Union. In the book Changes in the natural environment at the turn of the millennium. Polygraph, Tbilisi-Moscow, pp. 67–75. (in Russian)

## Информация об авторе

### ХЕРХЕУЛИДЗЕ ГЕОРГИЙ ИРАКЛИЕВИЧ

Старший научный сотрудник отдела водных ресурсов и гидрологических прогнозов Института гидрометеорологии Грузинского технического университета, к.т.н., г. Тбилиси, Грузия

## Information about the author

### GEORGE I. KHERKHEULIDZE

Senior research scientist of the Department of Water Resources and Hydrological Forecasts, Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University, PhD (Candidate of Science in Technics), Tbilisi, Georgia