

СОВРЕМЕННАЯ СЕЛЕВАЯ ДИНАМИКА В ДОЛИНЕ СЕНГИСЙОКА (ЛОВОЗЕРСКИЕ ТУНДРЫ, КОЛЬСКИЙ П-ОВ)

© 2026 г. Ю.Р. Беляев¹*, В.Р. Беляев¹, Е.В. Гаранкина¹, А.Л. Гуринов², А.И. Рудинская²,
Ф.А. Романенко¹, Е.Д. Шеремецкая²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

²Институт географии РАН, Москва, Россия

*E-mail: yrbel@mail.ru

Поступила в редакцию 10.10.2024

После доработки 28.04.2025

Принята к публикации 17.10.2025

Аннотация. В Ловозерских Тундрах широко распространен послеледниковый селевой рельеф. Однако данные о селевой динамике, в том числе современной, фактически отсутствуют. В 2009–2010 и 2017–2018 гг. проведены исследования селевого рельефа и условий селеформирования на западном макросклоне Ловозерских Тундр – в долине Сенгисйока – с применением геоморфологического дешифрирования, полевого обследования, повторной аэрофотосъемки и радиоуглеродного датирования отложений. Следы селей выявлены по всей длине долины: днище современного вреза полностью ими переработано, а в зоне транзита древние селевые террасы достигают высоты 20–30 м. В пределах конуса выноса площадью 0.48 км² лишь около 17% приходится на зону активной позднеголоценовой аккумуляции. 3 июля 2017 г. авторами зафиксирован сход крупного селя. Его триггером стала резкая активизация снеготаяния при установлении круглосуточно положительных температур воздуха после многоснежной весны и холодного июня. Сель начался как гидронапорный водоснежный поток при протаивании снежной плотины на пороге стока оз. Сенгисъявр. В зоне транзита по мере насыщения обломочным материалом он трансформировался в водокаменный поток. Расчетные скорости потока – 3.4–4.1 м/с, а расходы – 75–90 м³/с. Общий расчетный объем селя – до 320 тыс. м³, в том числе твердого материала – до 80 тыс. м³. Длина пути, пройденного селем, – 6.5 км. Продатированы еще два крупных селевых события за последние полтора века. Среднюю частоту схода таких селей можно оценить как не реже чем 1 раз в 70 лет, максимальную – 1 раз в 15–20 лет. Главные механизмы селеформирования в долине Сенгисйока – прорыв снежных плотин и сброс воды из озера Сенгисъявр.

Ключевые слова: сели; водоснежные потоки; повторяемость селей; горы Субарктики; селевой рельеф

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы государственного задания кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова “Условия и факторы природной и антропогенной трансформации рельефа в мезо-кайнозое” и темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2026-0001.

Благодарности. Авторы благодарны Е.Д. Тулякову, Е.В. Ворошилову, Ю.В. Шишкиной, А.И. Бондарю и Н.Г. Константиновой за помощь в полевых работах.

Ссылка для цитирования: Беляев Ю.Р., Беляев В.Р., Гаранкина Е.В., Гуринов А.Л., Рудинская А.И., Романенко Ф.А., Шеремецкая Е.Д. (2026) Современная селевая динамика в долине Сенгисйока (Ловозерские Тундры, Кольский п-ов). *Геоморфология и палеогеография*. Т. 57. № 1. С. 5–22.

<https://doi.org/10.7868/S2949179726010012>

RECENT DEBRIS FLOW DYNAMICS IN SENGISJOK VALLEY (LOVOZERSKYE TUNDRY, KOLA PENINSULA)

Yu. R. Belyaev^{a, #}, V. R. Belyaev^a, E. V. Garankina^a, A. L. Gurinov^b, A. I. Rudinskaya^b,
F. A. Romanenko^a, and E. D. Sheremetskaya^b

^a*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

^b*Institute of geography RAS, Moscow, Russia*

[#]*E-mail: yrbel@mail.ru*

Received October 10, 2024

Revised April 28, 2025

Accepted October 17, 2025

Abstract. Postglacial debris flow landforms are widespread in the Lovozerskye Tundry. However, there is almost no data on the recent debris flow dynamics. In 2009–2010 and 2017–2018, debris flow topography and conditions of debris flow formation was investigated in the Sengisjok Valley on the western slopes of the Lovozerskye Tundry utilizing satellite imagery interpretation, field geomorphological survey, UAV survey, and ¹⁴C dating of sediments. Footprints of debris flow activity were revealed along the entire valley: the modern valley bottom is completely reworked by the recent debris flows while in the transit zone, older debris flow terraces reach up to 20–30 m high. A debris flow fan has an area of about 0.48 km², with only 17% occupied by the Late Holocene accumulation. On July 3, 2017, we observed a high-energy debris flow. Following the long and snowy spring and cold June, the rapid snowmelt triggered the event as positive air temperatures had settled round-the-clock. The event started as a hydraulically driven slushflow when a snow dam at the threshold of the Sengisjavr Lake's outflow was breached. In the transit zone gradually saturating with debris the slushflow transformed into a typical debris flow with an estimated velocity of 3.4–4.1 m/s and discharge of 75–90 m³/s. Total debris flow volume can be assessed up to 320000 m³ with the volume of a clastic load of up to 80000 m³. The debris flow passed 6.5 km. The timing of two other high-energy debris flows that occurred in the last 210 years has been determined. The estimated mean frequency of such flows is no less than one event per 70 years, while the maximum frequency is one event per 15–20 years. Snow dam breaches with the subsequent partial drainage of the Sengisjavr Lake are the key debris flow drivers in the Sengisjok Valley.

Keywords: debris flow; slushflow; debris flow frequency; subarctic mountains; debris flow landforms

Funding. This study was accomplished in frames of the Department of Geomorphology and Paleogeography, MSU, State Assignment “Mechanisms and drivers of natural and antropogenic landform transformation in the Mesozoic-Cenozoic” and Institute of geography RAS State Assignment No. FWMS-2026-0001.

Acknowledgments. The authors are grateful to E. D. Tulyakov, E. V. Voroshilov, N. G. Konstantinova, Ju. V. Shishkina and A. I. Bondar for fieldwork assistance.

For citation: Belyaev Yu. R., Belyaev V. R., Garankina E. V., Gurinov A. L., Rudinskaya A. I., Romanenko F. A., and Sheremetskaya E. D. (2026) Recent debris flow dynamics in Sengisjok Valley (Lovozerskye Tundry, Kola Peninsula). *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 57. No. 1. P. 5–22 (in Russ).
<https://doi.org/10.7868/S2949179726010012>

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в российских Арктике и Субарктике возникают новые и расширяются уже существующие очаги освоения. Одним из районов наиболее длительного освоения можно считать Кольский п-ов (Беляев и др., 2022) и, в частности, располагающиеся в его центральной части горные массивы, где в период существования СССР сформировалась мощная горная промышленность.

В настоящее время ситуация здесь противоречива. С одной стороны, расширяются площади особо охраняемых природных территорий. С другой — возрастают туристический поток, пространственный охват территории рекреационной деятельностью и спектр реализуемых рекреационных активностей. Увеличиваются и площади горно-промышленного освоения: введен в эксплуатацию рудник “Олений ручей” на юго-востоке Хибин, проектируются горнопромышленные объекты в Федоровой Тундре.

При этом освоение охватывает горные территории, в пределах которых развиты обвально-осыпные, лавинные и селевые процессы, представляющие угрозу жизни и здоровью людей, функционированию объектов инфраструктуры. Например, в июне 2020 г. сход селей на территории рудника “Олений ручей” АО “Северо-Западная Фосфорная Компания” привел к нарушению работы системы очистки карьерных и шахтных вод и выбросу загрязненной воды в акваторию Умбозера (Интерфакс Россия, 2020).

Традиционно горы Кольского п-ова относят к районам со средней степенью селевой опасности (Флейшман, 1978; Petrov et al., 2017) с преобладанием водоснежных потоков (ВСП) среди селевых явлений (Сапунов, 1985). Более половины долин здесь несут следы голоценовой селевой активности (Водоснежные..., 2001; Garankina et al., 2019; Рудинская, Беляев, 2022). Однако представления о динамике селевых процессов, характерных и экстремальных параметрах селей пока недостаточны для полноценного прогноза селевых рисков как для существующего, так и для перспективного освоения. Подобные сведения есть только по Хибинам и, конкретно, по специфической разновидности селевых явлений — ВСП (Водоснежные..., 2001). Остальные горные массивы и, главное, более опасные варианты селей, получающие развитие в данном регионе, — водокаменные потоки — охарактеризованы хуже. Публикации по другим районам Субарктики и Арктики также преимущественно посвящены ВСП (Познанин, 1975; Перов, 1981; Нефедов, Кузнецов, 1983; Ващалова и др., 1988; Ходаков, Ильина, 1989; Nyberg, 1989; Hestnes, 1998 и др.). Данные о водокаменных селях

редки (например, Rapp, 1960; Jonasson et al., 1997; Bernhardt et al., 2017), а основанные на натурных наблюдениях расчеты скоростей, расходов и объемов конкретных селевых событий по Субарктике — единичны.

Цель работы — охарактеризовать современную динамику селевых процессов и динамику рельефа под воздействием селей в горах Кольского п-ова на примере долины р. Сенгисйок, расположенной в пределах горного массива Ловозерские Тундры (рис. 1).

Выбор ключевого объекта обусловлен следующими обстоятельствами: 1) динамика селевых процессов в Ловозерских Тундрах практически не изучена; 2) долина Сенгисйока несет морфологические следы активной селевой переработки, позволяющие ожидать высокую частоту схода селей в ее пределах; 3) в долине Сенгисйока 3 июля 2017 г. авторами был зафиксирован сход селя. Описание механизма и морфологических последствий, а также количественная оценка параметров этого селя — также задачи данной работы.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ловозерские Тундры — изометричный в плане горный массив диаметром 25–28 км, расположенный в центральной части Кольского п-ова (рис. 1а). Он соответствует многофазной щелочной интрузии девон–карбонового возраста и сформировался в результате новейших тектонических движений. Абсолютные высоты достигают 1120.6 м (г. Ангвундасчорр), превышение вершинного яруса над подножием внешних склонов — до 700–900 м. Характерная черта массива — платообразные вершинные поверхности, которые “серпом” окружают наследующую крупный грабен долину, занятую Сейдозером. В плато врезаны крупные ледниковые цирки, кары, а также долины глубиной до 400–600 м. Большая часть долин — трог с хорошо сохранившимся моренным и моренно-водно-ледниковым рельефом днищ.

Долина Сенгисйока расположена на западном фасе массива (рис. 1б, в). Общая ее протяженность вместе с расположенным в истоках ледниковым цирком — около 10 км, из которых большая часть — внутригорная. Глубина долины варьирует от 80 до 150–200 м; высота бортов Сенгисъяврского цирка достигает 360 м.

Сенгисйок берет начало из оз. Сенгисъявр. Абсолютная отметка уреза озера — 724 м, а максимальная глубина по данным промерных работ — 25.2 м. Падение реки — 575 м при длине около 8.3 км. Средний уклон русла — 69.5‰. Долина четко разделяется на четыре части: субширотно вытянутые участки в верхнем и среднем течении

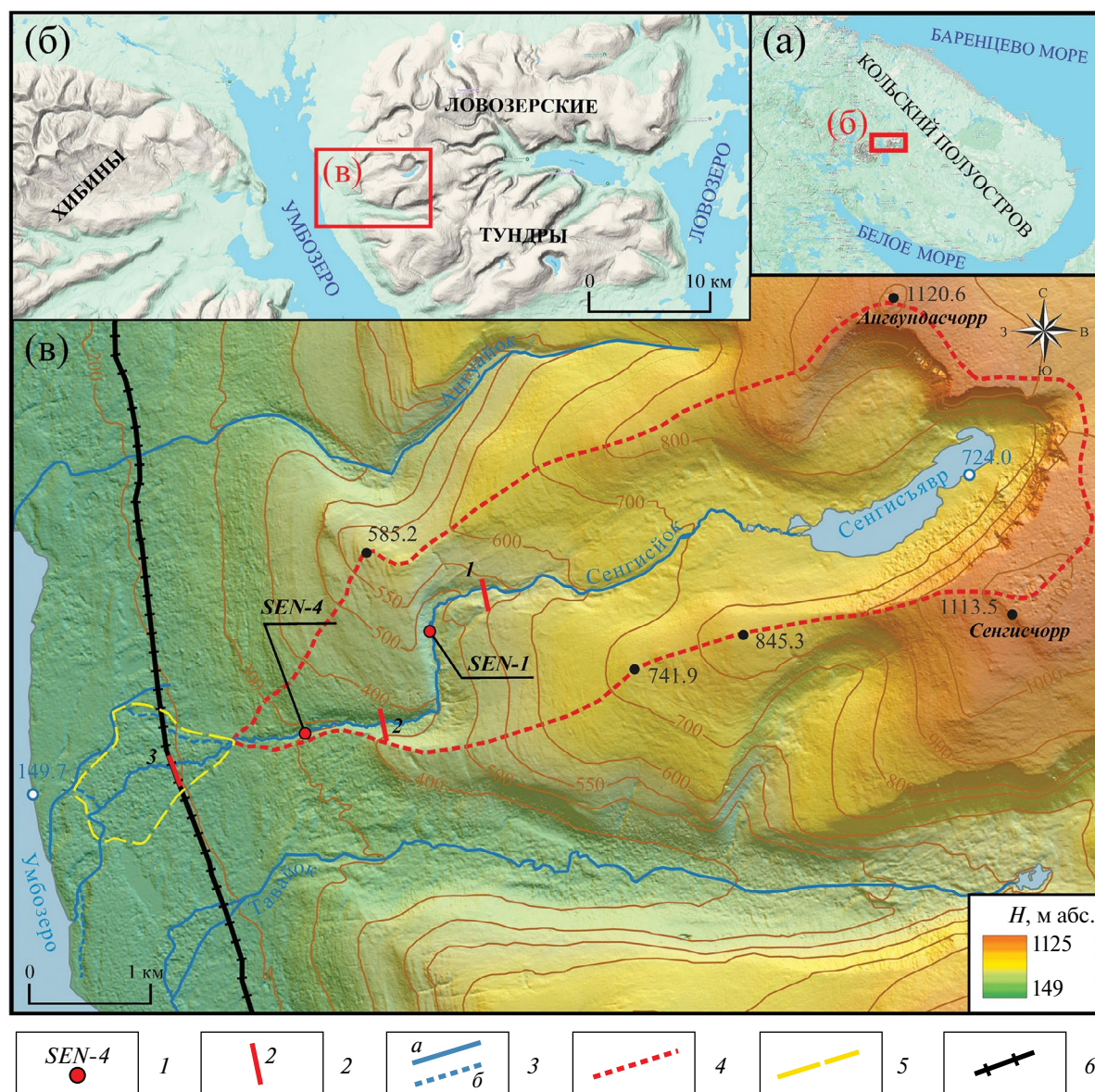


Рис. 1. Географическое положение ключевого объекта исследований (а, б) и схема бассейна Сенгисйока (в). Картографическая основа: Google Terrain (а, б), ЦММ Arctic DEM (в).

1 – датированные разрезы селевых отложений; 2 – расчетные створы; 3 – русла рек и ручьев (а) и сухие русла (б); 4 – граница водосбора Сенгисйока по вершине конуса выноса; 5 – граница конуса выноса Сенгисйока; 6 – насыпь бывшей железной дороги.

Fig. 1. Location (а, б) and topography (в) of the Sengisjok debris flow catchment. Basemap – Google Terrain (а, б) and Arctic DEM (в).

1 – dated outcrops of debris flow sediment; 2 – key cross-sections; 3 – perennial (а) and dry (б) channels; 4 – Sengisjok catchment border upstream from debris flow fan; 5 – Sengisjok debris flow fan; 6 – embankment of former railroad.

разделены субмеридиональным отрезком длиной около 1 км. Четвертый (приустьевой) участок протяженностью 1.3–1.5 км конформен ориентировке ССВ–ЮЮЗ, характерной для моренно-водно-ледникового рельефа равнины между Ловозерскими Тундрами и Умбозером (Беляев и др., 2010). Площадь водосбора Сенгисйока составляет 15.1 км² для

устьевого створа и 11.7 км² для створа в вершине устьевого конуса выноса.

Геолого-геоморфологическое строение бассейна изучено путем дешифрирования данных дистанционного зондирования (Рудинская и др., 2022), а также в ходе полевых работ 2009, 2010, 2017 и 2018 гг. При детальном маршрутном

Таблица 1. Определения радиоуглеродного возраста отложений из долины Сенгисйока
Table 1. Radiocarbon age determinations for sediments from the Sengisjok Valley

Лаб. №	Разрез	Глубина отбора, м	Материал	^{14}C возраст, л. н.	Калиброванный возраст (2 σ), л.
IGAN-6496	SEN-4	0.70–0.90	Торф	109.60 ± 2.28	[AD1993–2007] 0.931
IGAN-6495		1.10–1.30		$10 \pm 60 (99.87 \pm 0.80)$	[AD1803–1937] 0.724
IGAN-6498	SEN-1	0.87–0.88		1180 ± 70	[BP 963–1264] 1.000
IGAN-6494		1.42–1.45	Гумус	4980 ± 140	[BP 5447–6004] 0.974

обследовании бассейна и полевой геоморфологической съемке упор был сделан на уточнении результатов дешифрирования, фиксации проявлений селевых процессов, а также выявлении условий селеформирования в пределах бассейна. Уточнялись пространственные очертания и морфометрические параметры селевых врезов и террас, морфология конуса выноса, расположение возможных участков зарождения селей и очагов их твердого питания. Описаны обнажения рыхлых отложений, слагающих селевые террасы и конус выноса, а также вскрывающихся в бортах селевых врезов.

По двум разрезам селевых террас сцинтилляционным методом в ЦКП “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН определен возраст насыщенных органическим веществом прослоев, погребенных под селевыми отложениями или залегающих между разновозрастными селевыми пачками (табл. 1). Калибровка выполнена в программе OxCal v 4.4.4 (Bronk Ramsey, 2017) с использованием кривой IntCal 20 (Reimer et al., 2020), а для последних десятилетий – в программе CaliBomb (Reimer et al., 2004; Reimer & Reimer, 2024), позволяющей учитывать бомбовый эффект.

Для изучения последствий селевого события 3 июля 2017 г. и оценки параметров сошедшего селя была выполнена аэрофотосъемка долины с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 3 Standard (Шереметская и др., 2018).

Для геодезической привязки была разбита сеть точек планово-высотного обоснования с использованием GNSS-приемника Leica TPS1200 Rover. Калибровка координат проводилась в режиме постобработки с внесением дифференциальных поправок на основе общедоступных данных базовых станций (EFT-CORS), расположенных в населенных пунктах Апатиты и Ревда. Все операции выполнялись в специализированном пакете Leica GeoOffice 8.4. Пространственные координаты

точек съемочной сети получены с погрешностью в плане не более ± 2 см, по высоте – ± 10 см.

Обработка материалов аэрофотосъемки и создание ортофотопланов, цифровых моделей местности (ЦММ) и их производных проведены в программном комплексе Agisoft Metashape. Пространственное разрешение ортофотопланов составило 1.6–2 см/пикс. Высотное разрешение ЦММ – от 5–7 до 13–15 см/пикс, что сопоставимо с размерами форм селевого микрорельефа.

Осенью 2017 г. дополнительно описан гранулометрический состав отложений селя 3 июля 2017 г., в том числе параметры наиболее крупных перемещенных обломков на разных поперечных створах, а также определены отметки максимальных уровней потока. Эти данные были использованы для расчета параметров сошедшего селя: скоростей и расходов потока в соответствии с предложенными ранее расчетными формулами (Херхеулидзе, 1972; Флейшман, 1978; Перов, 2012; Тищенко, Баев, 2016). Дополнительно выполнена контурная литологическая съемка зоны разгрузки селя, в ходе которой фиксировались площади распространения и мощности отложений разного гранулометрического состава.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Геоморфологическое строение и селевой рельеф долины

Бассейн Сенгисйока и его долина могут быть разделены на несколько частей, отличающихся по морфологии и степени переработки селями, а также по их роли в современном селеформировании.

Верховья бассейна представляют собой ледниковый цирк, правый (северный) борт которого осложнен крупным каром. Общая ширина системы из цирка и кара по бровкам достигает 2.3–2.4 км, а длина – 2.5–2.7 км. Днище кара лежит на высотах 800–900 м, цирка – 720–750 м (рис. 1в).

Днище цирка практически полностью занято оз. Сенгисъявр. С крутого южного борта цирка



Рис. 2. Морфология долины Сенгисйока: (а) — верховья долины, цирк и озеро Сенгисъявр (обозначено стрелкой); (б) — верховья современного селевого вреза (обозначен белым пунктиром) ниже зоны зарождения селя 03.07.2017; (в) — современный селевой врез в 20-метровую террасу (обозначена стрелкой); (г) — следы внутридолинной селевой аккумуляции (обозначены стрелками) в среднем течении; зона аккумуляции: (д) — выше и (е) — ниже водопропуска бывшей железнодорожной линии Ревда—Октябрьский. Здесь и далее фото авторов.

Fig. 2. Sengisjok Valley morphology: Sengisjavr Cirque in the upper reaches (a); head of the debris flow channel downstream the initiation zone of the 03.07.2017 event (b); active debris flow channel incised in the 20-m high terrace (v); local debris flow accumulation in the middle reaches (r); main accumulation zone upstream (д) and downstream (e) of the culvert in the railroad embankment in the lower reaches.

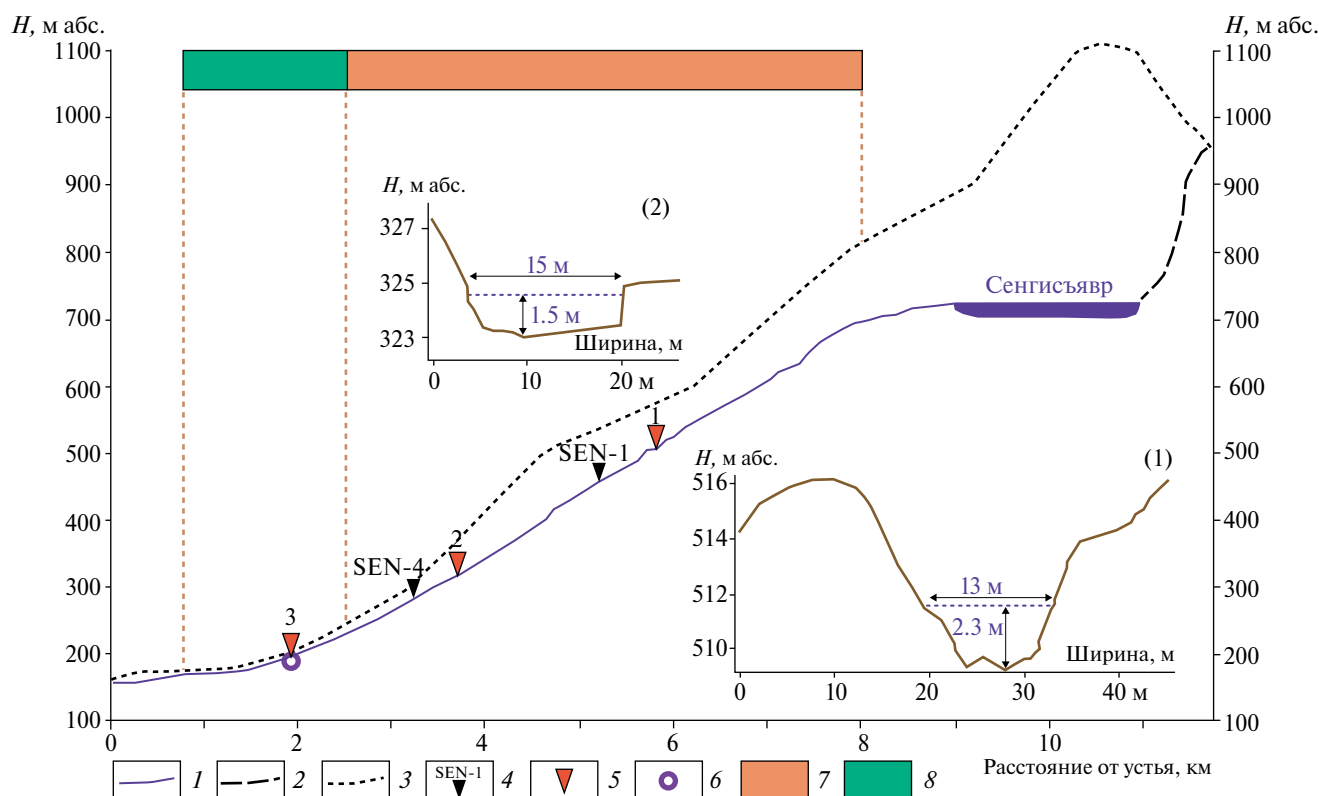


Рис. 3. Продольный профиль долины СENGISЙОКА и морфология расчетных поперечных створов (1 и 2) современного селевого вреза.

Продольные профили: 1 – русла СENGISЙОКА, 2 – задней стенки СENGISЙАВРСКОГО цирка, 3 – южного водораздела бассейна СENGISЙОКА; 4 – датированные разрезы селевых отложений; 5 – расчетные створы; 6 – водопропуск; 7 – селевой врез / зона транзита; 8 – конус выноса.

Fig. 3. Longitudinal profile of the Sengisjok Valley and key cross-section morphologies of the modern debris flow incision. *Longitudinal profiles:* 1 – Sengisjok channel, 2 – the back wall of the Sengisjavr cirque, 3 – the southern watershed of the Sengisjok catchment; 4 – dated sections of debris flow deposits; 5 – key cross-sections; 6 – culvert; 7 – debris flow incision / transit zone; 8 – debris flow fan.

непосредственно к урезу воды спускаются многочисленные лавинно-камнепадные желоба и мелкие склоновые селевые врез. Коррелятивные им обваль-но-осыпные конусы и шлейфы, лавинные и селе-вые конусы выноса придают берегу озера мелкофе-стончатую форму в плане.

Западнее озера цирк почти без изменения мор-фологии поперечного профиля переходит в вы-водной трог (рис. 2а), что фиксируется лишь по появлению отчетливого продольного уклона дни-ща (рис. 3). Моренный вал, подпруживающий озе-ро на выходе из цирка, не очень отчетлив. Его ты-ловой уступ имеет высоту до 10–15 м, а обращен-ный вниз по долине – до 20–25 м. Оба этих склона пологие (не более 8–12°). Распластанный грядо-во-ложбинный рельеф вала образует полосу ши-риной до 350–500 м. В осевой зоне днища вал рас-сечен пологой ложбиной глубиной до 5–6 м и ши-риной по бровкам до 250–300 м, по дну которой и протекает в настоящее время СENGISЙОК. Русло

выражено нечетко и представляет собой цепочку небольших озеровидных расширений, соединен-ных перетоками со средним уклоном 13–15‰.

Ниже вала днище трога расширяется до 800–900 м, его продольные уклоны нарастают. Увеличиваются и уклоны современного русла – до 20–25‰.

В 8 км от устья СENGISЙОКА отчетливый выпу-клый перегиб продольного профиля русла фик-сирует вершину активного селевого вреза. Ниже этого перегиба средние уклоны русла сохраняются в диапазоне 80–100‰ практически на всем про-тяжении долины до ее выхода на конус выноса в 2.5 км от устья – это зона транзита селей (рис. 3).

В верховьях долины (6.5–8 км от устья) селевой врез имеет ящикообразный поперечный профиль, вложен в днище трога и почти не контактирует с коренными бортами долины. Его глубина состав-ляет до 6–8 м при ширине по бровкам в несколь-ко десятков метров (рис. 2б). В средней и нижней

частях зоны транзита (6.5–2.5 км от устья) активный врез приобретает трапецевидный поперечный профиль (рис. 2в). Его ширина по бровкам до 150–200 м, а по днищу — до 30–50 м, с отдельными расширениями до 70–80 м. Глубина вреза в среднем течении достигает 40–60 м, местами — более, но по мере приближения к конусу выноса вновь направленно убывает.

Практически по всей длине активного вреза его подмываемые борта нацело сложены щебнисто-валунно-глыбовым диамиктоном с песчано-суглинистым заполнителем, а местами — тонкослоистыми песчано-алевритистыми отложениями. Крупные выходы скальных пород отмечены только на правом борту вреза на субмеридиональном участке долины, а также локально в нижней части зоны транзита на участке 3.6–3.7 км от устья.

Низкий уровень днища вреза по всей длине в значительной степени лишен растительности, выстлан валунно-глыбовой отмосткой (рис. 2б–е), осложнен грубообломочными грядами высотой до 1–1.5 м, ориентированными вдоль русла. Особенно хорошо они выражены на локальных расширениях днища, где происходит внутридолинная аккумуляция (рис. 2д). Длина гряд достигает 20–30 м, иногда более, при ширине от 1–1.5 до 3–5 м. Размер отдельных обломков, слагающих гряды, достигает 1–1.2 м по средней оси. Лишь в отдельных местах на нижнем субширотном участке в русле водотока вскрыты сильно трещиноватые скальные породы.

К бортам вреза прислонены многочисленные фрагменты селевых террас. Их высоты варьируют преимущественно от 1.5–2 до 4–5 м, хотя на нижнем субширотном участке долины отмечаются террасы высотой до 10–12 м. Площадки террас имеют ширину до 30–40 м (у самого высокого уровня — до 80 м), относительно густо заросли мхами и кустарничками, в среднем и нижнем течении — поросли елью и березой. Нередко более низкие террасы прислонены к уступам высоких. Отмечаются эрозионные останцы высотой до 4–4.5 м на их нижнем по течению окончании. Следов свежих заплесков материала на поверхность террас высотой более 4 м нет, они отмечаются лишь на низких 2–2.5-метровых формах. В уступах террас вскрываются пачки селевого диамиктона, нередко — с отчетливой укладкой обломков длинными осями вниз по течению, переслаивающиеся со слоистыми песчано-дресвяно-гравийными отложениями селевых паводков и органоминеральными прослоями, фиксирующими периоды стабилизации поверхности.

Иногда в цоколе террас под позднеголоценовыми селевыми пачками обнаруживаются селевые отложения середины голоцена (рис. 4а). Зафиксированы и террасы, почти нацело сложенные

позднеголоценовыми отложениями. Так, в разрезе SEN-4, вскрывшем уступ 2.5-метровой террасы (рис. 4б), три разновозрастные селевые пачки разделены органоминеральными прослоями, нижний из которых сформировался между 1803–1937 гг., а верхний — между 1994 и 2008 гг. (табл. 1). Таким образом, верхние $\frac{2}{3}$ разреза, фиксируют следы двух крупных селевых событий за последние 150–210 лет.

На участке 5.3–4.2 км на левом борту вреза наблюдается наклонная к руслу терраса высотой 20–30 м — наиболее высокий уровень днища долины (рис. 2в). Его амплитудный ложбинно-грядовый рельеф свидетельствует о том, что ранее эта поверхность подвергалась мощным селевым преобразованиям. Однако позднеатлантический возраст селевых террас из вложенного в эту поверхность вреза (табл. 1, SEN-1) позволяет предполагать ее формирование не позднее первой половины голоцена.

На участке 2.5–0.9 км от устья располагается конус выноса Сенгисйока. Долина выходит за пределы горного массива, распластывается, а ограничивающие ее эрозионные склоны фактически исчезают. Продольные уклоны русла снижаются с 45–55‰ в вершине конуса выноса до 5‰ в дистальной его части (на отрезке 1.3–0.9 км от устья). Ширина конуса достигает 500 м, а общая площадь — 0.48 км². Поверхность его слабо выпуклая, имеет грядово-ложбинное строение, поросла елово-березовым лесом. В ее пределах выделяется две возрастные генерации. Более древняя (фоновая) густо залесенная часть конуса не несет следов свежей аккумуляции, однако веерообразно расходящиеся по ней прерывистые гряды и меандрирующие и фуркирующие ложбины однозначно свидетельствуют в пользу ее селевого происхождения. Следы современной селевой аккумуляции сосредоточены в пределах руслового вреза в поверхность конуса, а также в непосредственной близости от него. В верхней части конуса они выражены в виде валунно-глыбовых гряд в русле (рис. 2д), а также плащеобразных набросов грубообломочного материала на прилегающих к врезу участках фоновой поверхности конуса выноса. Ближе к его дистальной части большую роль начинают играть поля в разной степени сортированных валунно-галечных, песчано-галечных (рис. 2е) и алевропесчаных образований. Площадь зоны молодой селевой аккумуляции составляет около 0.08 км².

Ниже 0.7–0.9 км от устья долина вновь приобретает ящикообразный поперечный профиль, сужается и углубляется, прорезая систему распластаных пологовыпуклых моренно-водно-ледниковых гряд, отделяющих конус выноса от Умбозера.

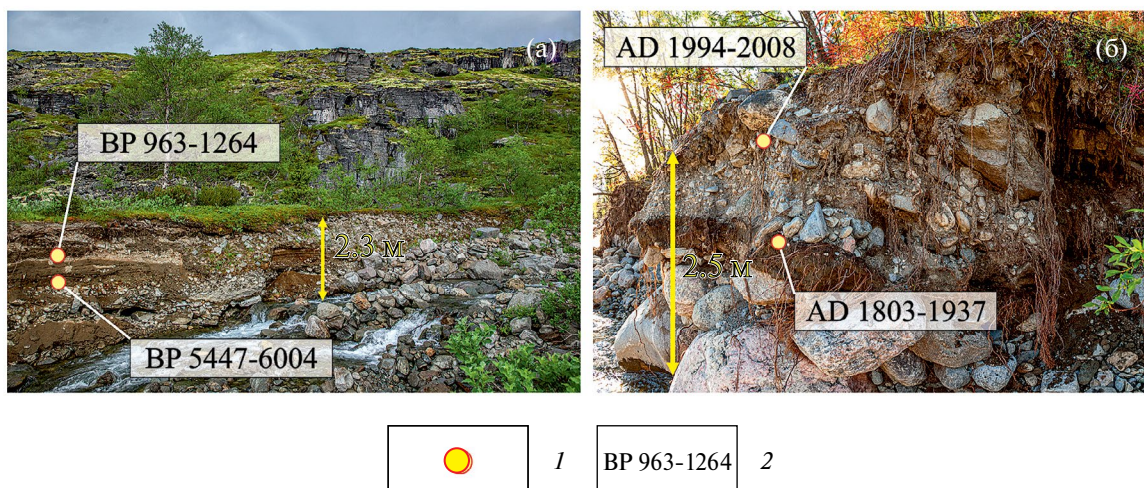


Рис. 4. Разрезы низких селевых террас СENGISЙОКА: SEN-1 в среднем течении (а); SEN-4 в нижнем течении (б). 1 – точки отбора образцов на ^{14}C -датирование; 2 – калиброванный возраст (2σ), интервал лет.

Fig. 4. Debris flow terraces in the Sengisjok Valley with calibrated ages of organic-rich layers: SEN-1 in the middle reaches (а); SEN-4 in the lower reaches (б).

1 – sampling points for ^{14}C dating; 2 – calibrated age (2σ), interval of years.

Ширина долины по бровкам 120–200 м, по днищу 50–100 м, глубина до 6–8 м, уклоны продольного профиля 10–11‰. Борта и днище долины густо залесены. Следов непосредственного воздействия селей здесь нет – заметны только результаты перемыва и переотложения песчано-дресвяного материала, поступающего в паводки с расположенной выше по течению зоны разгрузки селей. В устье, при впадении в Умбозеро, СENGISЙОК сформировал небольшую аллювиальную дельту.

3.2. Селевое событие 3 июля 2017 г.

3 июля 2017 г. в долине СENGISЙОКА произошло селевое событие, начальные стадии и последствия которого удалось наблюдать непосредственно в полевых условиях. Весна 2017 г. была многоснежной и холодной. На протяжении мая максимальные суточные температуры воздуха по данным метеостанции Ловозеро, расположенной у СВ подножия Ловозерских Тундр на абс. высоте 162 м, колебались в пределах от -1.9°C до $+13.5^\circ\text{C}$ (среднемесячная температура всего $+1.1^\circ\text{C}$ – минимум за последние 25 лет); в ночное время температура устойчиво опускалась ниже 0°C (рис. 5).

В июне короткие потепления также чередовались с резкими похолоданиями. Среднемесячная температура составила 6.3°C – это минимальное значение за период с 1983 г., а за последнее столетие отмечалось всего лишь 6 лет с более холодным июнем. В истоках СENGISЙОКА, расположенных гипсометрически на 550–600 м выше, температуры, предположительно, были на несколько градусов ниже. Неоднократное выпадение осадков

на фоне низких температур в верхнем ярусе гор приводило к восстановлению снежного покрова. Снеготаяние затянулось, и к концу июня мощные снежники занимали практически все днище СENGISЙОКА. В то же время резкие потепления 6–9 и 15–16 июня, когда в дневное время температура превышала $12\text{--}15^\circ\text{C}$, способствовали частичному таянию снега и подъему уровня воды в оз. СENGISЙОК. С 25–26 июня началось резкое потепление, положительные температуры сохранялись круглые сутки на протяжении недели, снеготаяние ускорилось, и началось переполнение котловины СENGISЙОКА водой.

2 июля береговые снежники и примороженные к ним ледяные закраины, оставшиеся от зимнего льда, были подтоплены талой водой на 0.3–0.4 м, в то время как основная масса льда находилась “на плаву”. Участки берега озера, лишенные снежного покрова и покрытые горно-тундровой растительностью, были затоплены. Фрагмент русла СENGISЙОКА длиной в несколько сотен метров от озера до вершины селевого вреза был в это время полностью перекрыт снежником толщиной в среднем до 1 м. Кроме того, снегом были как минимум на 1/3 глубины заполнены и верховья эрозионно-селевого вреза СENGISЙОКА (8–7.2 км от устья), а также нижележащий участок (5.5–6.5 км от устья). По приблизительным расчетам, к утру 3 июля непосредственно внутри селевого вреза ниже главного перегиба продольного профиля (без учета мелких локальных снежников в среднем и нижнем течении) находилось 80–85 тыс. м^3 снега. Еще

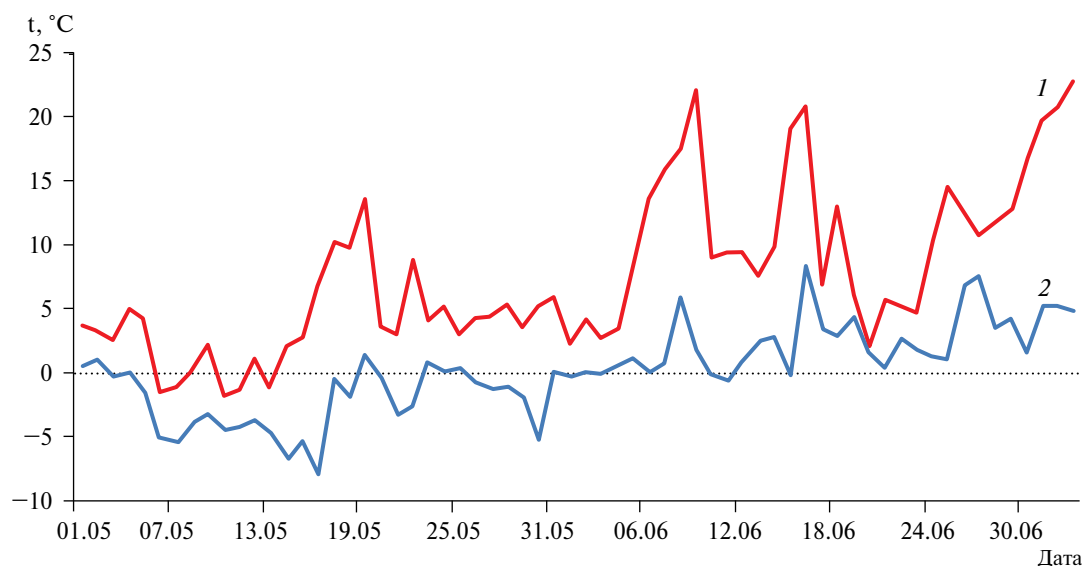


Рис. 5. Ход суточных температур воздуха с 1 мая по 3 июля 2017 г. по данным метеостанции Ловозеро. Суточные температуры: 1 – максимальные, 2 – минимальные.

Fig. 5. Variation of daily air temperatures from May 1 to June 3, 2017, according to the Lovozero weather station. Daily air temperatures: 1 – maximum, 2 – minimum.

несколько сотен тыс. м³ снега перекрывало дно Сенгисъяврского цирка и выводного трога между озером и вершиной селевого вреза — из них, как минимум, 30–40 тыс. м³ находилось непосредственно в зоне русловой ложбины Сенгисйока.

3 июля на уступе продольного профиля современного русла непосредственно ниже выхода из цирка (8 км от устья, рис. 3) сошел ВСП. Предположительно, его формирование было связано с гидронапорным механизмом — по (Водоснежные..., 2001) — с постепенным протаиванием снежной “пробки”, закупоривавшей канал стока из оз. Сенгисъявр. Фильтрующаяся через снег вода активно поступала в озеро с окружающих склонов. Пройдя частично по поверхности руслового снежника в верхнем течении селевого вреза, ВСП, по мере насыщения обломочным материалом, трансформировался в водокаменный сель, продолжавший, впрочем, транспортировать также и снежную массу.

Непосредственные наблюдения за селом проводились в нижнем течении Сенгисйока, в районе бетонного водопропуска в теле насыпи бывшей железной дороги Ревда—Октябрьский в 1.95 км от устья реки (рис. 6а). В течение 40 мин поток заполнил ранее сухие протоки, затопил днище долины и часть прилегающей поверхности пролювиально-селевого конуса, наложенного на подгорную равнину. Ширина зоны затопления выше пересекающей конус насыпи железной дороги составила до 600–700 м, а ниже водопропуска в ней — до

50–100 м. В русле ниже водопропуска образовывались навалы из мокрого снега, выносимого из верховьев, и крупных стволов деревьев. Распластывание потока, а также подпруживающий эффект железнодорожной насыпи привели к тому, что часть стока перенаправилась через брошенное сухое русло на периферии конуса (рис. 1б) в ручей севернее Сенгисйока. В течение часа после схода первой селевой волны поступление снега прекратилось. Точная продолжительность последовавшего за этим селевого паводка достоверно не известна. По свидетельству форсировавшего Сенгисйок еще примерно 1.5 ч спустя на автомашине УАЗ-2206 жителя пос. Ревда, уровень воды все еще оставался аномально высоким.

Обследование долины после прохождения селя показало, что в зоне зарождения и транзита произошел мощный размыв (рис. 2б, г). Борта руслового вреза, а местами и борта долины были подмыты на 2–3 м, что спровоцировало отседание блоков грунта по всему протяжению долины от эрозионно-транзитной зоны в верховьях до зоны разгрузки на подгорной равнине. Максимальные уровни заплеска определены по следам растительного детрита как 3 м над меженным урезом реки в зоне транзита и до 2–2.5 м в проксимальной части конуса выноса.

Наиболее крупный валунно-глыбовый материал (размер обломков до 1 м по оси b), перемещавшийся селом, был переотложен выше водопропуска: он выстлал дно эрозионно-селевого вреза в зоне



Рис. 6. Расчетный створ № 3: основной пролет водопропуска в теле дорожной насыпи (а); результат селевой аккумуляции 3 июля 2017 г. в 15 м ниже водопропуска (б).

Fig. 6. Key cross-section no. 3: main culvert in the railroad embankment (а); boulders and log debris accumulated 15 m downstream of the culvert on July 3, 2017 (б).

транзита и сформировал многочисленные продольные гряды высотой до 1–1.5 м (рис. 7). Ниже водопропуска отмечены только две новообразованных селевых гряды с высоким содержанием крупных валунов: непосредственно ниже водопропуска (рис. 6б) и в 150–300 м ниже по течению. Эти гряды фиксировали максимальную дальность выплеска (6.5 км от места зарождения) водокаменного потока, а большая его часть была остановлена ж/д насыпью. По мере удаления от зоны накопления несортированного крупновалунного материала как вниз по течению, так и к периферии зоны разгрузки, свежие аккумулятивные тела сложены уже более сортированным материалом: от галечно-валунного и галечного к песчано-гравийному и песчано-алевритистому. Это, с одной стороны, результат распластывания и трансформации селевого потока на выположенной поверхности конуса выноса, а с другой — перебива и переотложения материала в ходе селевого паводка, последовавшего за главной селевой волной.

Количественная оценка параметров селя была проведена для трех расчетных створов (рис. 1, 3). Створы № 1 и № 2 расположены в верхней и средней частях зоны транзита селя. На обоих створах четко зафиксированы отметки высокого уровня воды. Следов заплеска потока за бровки вреза не установлено.

Нижний расчетный створ расположен в пределах зоны разгрузки и приурочен к упоминавшемуся выше бетонному водопропуску в железнодорожной насыпи (рис. 3, рис. 6а), перегораживающей долину. Водопропуск общим сечением 8.22 м²

состоит из двух пролетов: занятого межженным руслом основного (сечением 4.67 м²) и сухого в межень правобережного (сечением 3.55 м²). Во время прохождения селя водопропуск был заполнен доверху. Следы ударов обломков обнаружены на его верхней несущей плите, а метки высоких вод на деревьях ниже по течению — на еще более высоких отметках (стоячие волны до 2.5 м на выходе потока из сужения в водопропуске).

Поскольку однозначно физически обоснованной общепринятой расчетной формулы не существует, был выполнен расчет по нескольким эмпирическим формулам для несвязных водокаменных селей, наиболее часто цитируемых в литературе, в том числе рекомендуемых к использованию согласно СП 479.1325800.2019 (табл. 2).

Значительный разброс значений расчетных скоростей на каждом отдельно взятом створе свидетельствует о неуниверсальности и ограничениях используемых формул. В то же время полученные величины в основном соответствуют существующим представлениям о типичных скоростях небольших по объему селевых потоков в диапазоне от 2.5 до 4.0 м/с (Тищенко, Баев, 2016). Формулы, в которых оценивается критическая срывающая скорость потока, исходя из условий устойчивости отдельного крупного обломка, вероятно, могут давать заниженные результаты, поскольку более крупный обломочный материал мог быть либо смещен ниже по течению (створы № 1 и 2), либо, в случае со створом № 3, — напротив, был аккумулярован выше расчетного створа на участке подпруживания потока железнодорожной насыпью.

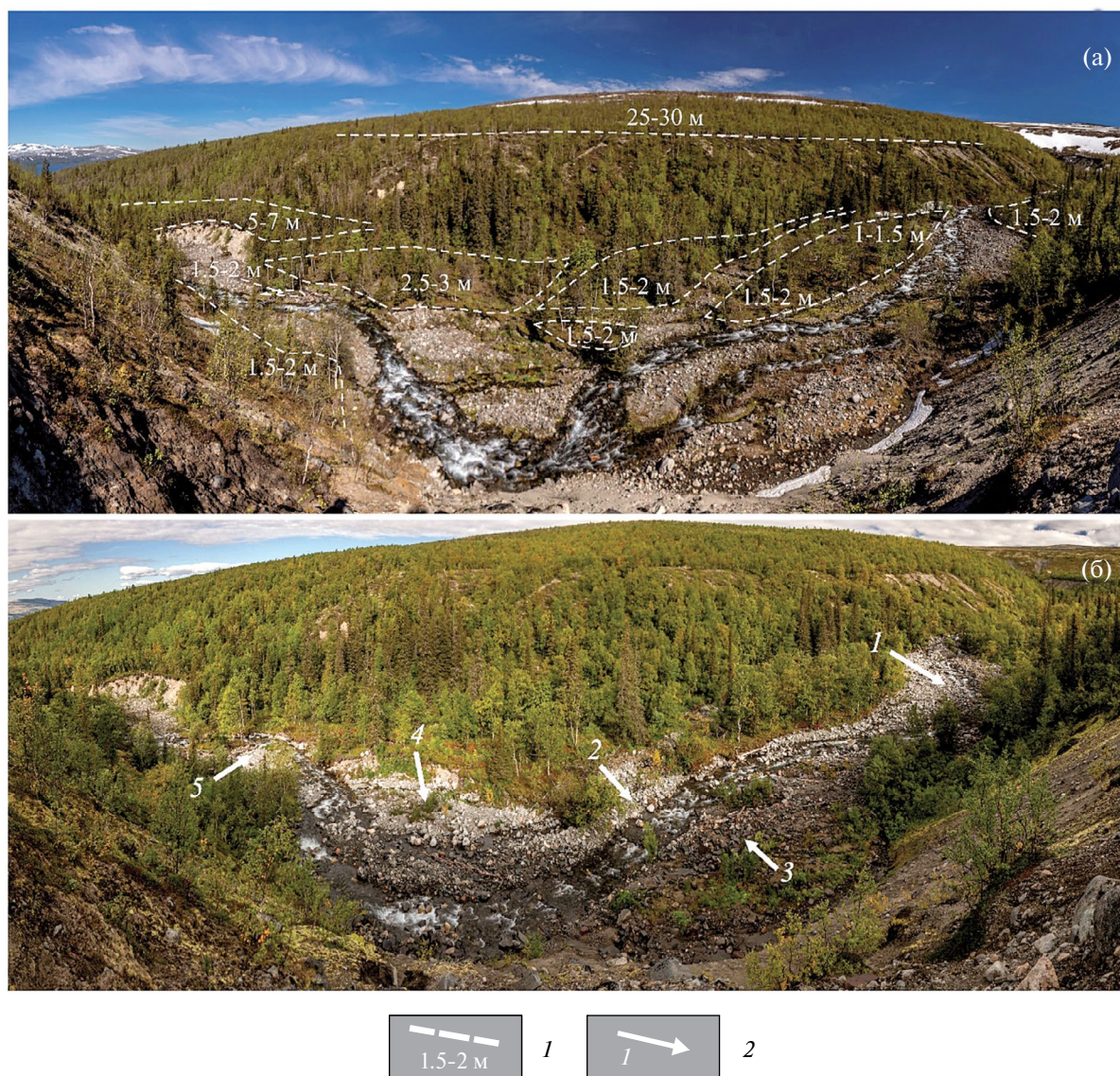


Рис. 7. Облик дна долины Сентгисйока в среднем течении накануне прохождения селя (а) и его перестройки в результате селевого события 3 июля 2017 г. (б).

1 – контуры и относительные высоты селевых террас; 2 – места наиболее ярких перестроек рельефа дна долины.

Fig. 7. The pattern of the Sengisjok Valley bottom prior to the July 3 2017 (a) and its reorganization caused by the recent debris flow event (б).

1 – contours and relative height of debris flow terraces; 2 – the most distinctive valley floor transformations.

Для приближенного расчета общего объема селя согласно (Руководящий документ..., 1990) следует использовать формулу:

$$V_c = \frac{1}{2} * Q * T, \quad (1)$$

где Q – максимальный расход селя, $\text{м}^3/\text{с}$; T – продолжительность селя, с.

В качестве оценки срывающих скоростей и пиковых расходов селя были приняты значения, полученные по формуле И. И. Херхеулидзе (1972), как наиболее близкие к средним из всех расчетных

вариантов. Продолжительность прохождения селя вместе с постселевым паводком, основываясь на имеющихся свидетельствах, составила 2.5 ч. Тогда суммарный объем двухфазного потока, прошедшего через сечение водопропуска в пределах селевого конуса выноса (створ № 3), оценен в 96 тыс. м^3 . Для зоны транзита селя аналогичным образом получен объем двухфазного потока около 320 тыс. м^3 для створа № 1 и 275 тыс. м^3 для створа № 2.

Существенно более низкие (в 3 раза по сравнению со створами № 1 и 2) расчетные расходы

Таблица 2. Результаты расчетов средней скорости и расхода селя 03 июля 2017 г.
Table 2. Estimated mean velocity and discharge for the July 3, 2017 debris flow event

Номера створов и основные параметры, использованные при расчетах	Формулы для расчета средней скорости несвязного водокаменного потока*			
	$v_{cp} = \sqrt{2g \frac{D_{max}}{3}},$ м/с	$v_{cp} = 4\sqrt{D_{max}},$ м/с	$v_{cp} = 4.5H^{0.67}I^{0.17},$ м/с	$v_{cp} = 4.83H^{0.5}I^{0.25},$ м/с
	Тищенко А.И., Баев О.А., (2016)	Тьерри по (Флейшман, 1978)	Голубцов В.В. по (Перов, 2012)	Херхеулидзе И.И. (1972)
<i>Створ № 1</i> $D_{max} = 1.0$ м $H = 2.3$ м $I = 0.0952$ м/м	2.6	4.0	5.3	4.1
<i>Створ № 2</i> $D_{max} = 1.0$ м $H = 1.5$ м $I = 0.1087$ м/м	2.6	4.0	4.1	3.4
<i>Створ № 3</i> $D_{max} = 0.5$ м $H = 2.0$ м $I = 0.0513$ м/м	1.8	2.8	4.3	3.3
Формула для расчета расхода потока на расчетном поперечнике $Q = A v_{cp},$ м ³ /с				
<i>Створ № 1</i> $A = 21.8$ м ²	55.6	87.4	115.2	88.9
<i>Створ № 2</i> $A = 22.5$ м ²	57.5	90.0	91.1	76.4
<i>Створ № 3</i> $A = 8.22$ м ²	14.9	23.3	35.5	26.7

Примечание. * v_{cp} – средняя скорость потока, м/с; Q – расход потока, м³/с; D_{max} – максимальный размер перенесенных обломков, м; H – максимальная глубина потока, м; I – средний уклон, м/м; A – площадь сечения потока, м².

селевого потока для створа № 3 обусловлены тем, что он находится далеко в зоне разгрузки, в 600 м ниже по течению от места выхода селевого потока на конус и начала его распластывания. Значительная часть грубообломочного материала разгрузилась из потока еще до подхода к водопропуску, а часть водного стока сбрасывалась из зоны подпруживания насыпью на север, в русло соседнего ручья (рис. 16).

Литологическая съемка зоны разгрузки селя ниже водопропуска показала, что мощность накопившихся там 3 июля 2017 г. селевых выбросов варьирует от нескольких см до 0.5–1 м. Приближенная оценка объема аккумуляции в этом фрагменте зоны разгрузки (без учета пористости отложений) дает величины ≈ 7400 м³ несортированных галечно-валунно-глыбовых наносов (собственно отложения водокаменного потока) и ≈ 16800 м³ в разной степени сортированных

отложений постселевого паводка, в общей сложности ≈ 24200 м³. Эта оценка не может претендовать на высокую точность, поскольку трудно оценить количество взвешенных наносов, вынесенных в Умбозеро. Однако, исходя из представлений о том, что для водокаменных потоков твердофазная составляющая не превышает 30% (Флейшман, 1978; Натишвили, Тевзадзе, 1996, и др.), можно полагать, что большая часть рыхлого материала осталась в зоне разгрузки (≈ 24200 м³ составляют $\approx 25\%$ от ≈ 96000 м³ – всего расчетного объема прошедшего через створ водопропуска). Если исходить из предположения, что и весь селевой поток до начала его распластывания на выходе из зоны транзита характеризовался сходным соотношением твердой и жидкой фаз, то общий объем перемещенного обломочного материала мог достигать в верхней части зоны транзита 80 тыс. м³, а объем воды и снега в потоке – 240 тыс. м³.

Косвенно это подтверждается и оценкой объема воды и снега в зоне зарождения селя перед его сходом. Главным источником воды было подпруженное снежной плотиной оз. Сенгисъявр. Исходя из имеющихся данных о его площади (около 570 тыс. м² при нормальном уровне воды) и о высоте подъема уровня (во время полевого обследования 1 июля 2017 г. — до 0.3–0.4 м), объем спущенной воды (без учета воды, пропитывавшей снежную плотину в селевом врезе) мог достигать $570000 \times 0.3 = 171000 \text{ м}^3$. Данные об объемах снежной массы в селевом врезе и на участке русловой ложбины Сенгисйока между вершиной селевого вреза и озером приведены выше — там располагалось до 110–120 тыс. м³ снега. Поскольку после прохождения селя, судя по данным анализа космоснимка SPOT 5 за 10.07.2017, внутри верховий селевого вреза осталось не перемещенными до 30–40% от исходного объема снега, то суммарный объем перемещенной снежно-водяной массы составлял порядка 230–240 тыс. м³.

При этом селевое событие 03.07.2017 г. — вполне ординарное для долины Сенгисйока с точки зрения геоморфологических последствий. Зона разгрузки селя охватила лишь малую часть конуса выноса, а мощность накопившихся в его пределах отложений не превышала 1 м. Вынос материала за пределы главного селевого русла и в боковые русла в пределах конуса выноса также был ограничен. В зоне транзита селя, по крайней мере в среднем и нижнем течении долины, преобладала не глубинная, а боковая эрозия. Мощность селевых отложений, накопленных в пределах внутридолинных зон аккумуляции, не превысила 1–1.5 м, в то время как на селевых террасах, особенно наиболее высоких и древних, отмечаются одноактные пачки селевых отложений мощностью до 3–4 м. Все это позволяет предполагать, что в истории долины Сенгисйока имели место и более масштабные сели.

3.3. Селевая динамика в последние столетия

Современную повторяемость селей можно оценивать, основываясь на двух обстоятельствах. Во-первых, помимо селя 3 июля 2017 г. нами были датированы следы еще, как минимум, двух крупных селевых событий, произошедших за последние примерно 210 лет (табл. 1, рис. 46). Формально это позволяет утверждать, что повторяемость селей составляет в среднем приблизительно одно событие на 70 лет. Однако имеющаяся летопись не полна. Набор абсолютных определений возраста ограничен. Весьма вероятно в других фрагментах террас сохранились следы иных селевых событий. Кроме того, очевидно, что каждое селевое событие, тем более высокомагнитудное, в значительной степени уничтожает следы предшествующих селей.

Второе обстоятельство — практически полное отсутствие аллювиальных форм (крупных побочней, аккумулятивных песчано-дресвяных тел “в тени” за крупными обломками) в транзитной зоне долины как в современном русле и на низком уровне днища селевого вреза, так и на поверхности селевых террас. Этим форм не отмечалось ни во время обследования 2009 г., ни в 2017 г. до схода селя. Практически не зафиксированы они и после его схода, хотя в подмываемых бортах вреза песчано-алевристые и песчано-дресвяно-гравийные отложения отнюдь не редкость, да и в диамиктоне, как селевом, так и моренном, присутствует супесчаный или песчаный заполнитель. Вероятно, частота схода селей не позволяет сформироваться в пределах пойменно-руслового комплекса развитому аллювиальному рельефу. Соответствующие формы рельефа разрушаются селями, а слагающие их отложения выносятся в дистальную часть конуса выноса и на приустьевой участок долины ниже конуса. В связи с этим можно предполагать, что характерная повторяемость крупных водокаменных селей в последние столетия в долине Сенгисйока выше, чем 1 раз в 70 лет. Морфологическому облику днища долины более соответствует периодичность, зафиксированная двумя последними крупными селевыми событиями: не реже, чем 1 раз в 15–20 лет. С учетом меньших по интенсивности селевых событий, не охватывающих долину на всю ее длину или не производящих полной переработки ее днища в зоне транзита, повторяемость селей еще выше. Такая оценка количественно коррелирует с имеющимися данными о повторяемости селей по другим бассейнам Хибин, где ранее установлено, что большая их часть была активна в периоды массового схода ВСП в 1943 и 1946, 1950–1952, 1960, 1966, 1969, 1977, 1987 и 1995 гг. — в среднем 1 раз в 5–10 лет (Водоснежные..., 2001).

Причина высокой селевой активности бассейна Сенгисйока, вероятно, заключена в особенностях геолого-геоморфологического строения бассейна. Огромные снего- и водосборы в его верховьях — в ледниковом цирке, а также наличие подпрудного озера с низким, морфологически плохо выраженным порогом стока способствуют формированию снежных плотин в холодные многоснежные годы и, соответственно, периодическому залповому сбросу излишков воды из озера при их прорывах. Этот процесс начинается с формирования гидронапорных ВСП и обеспечивает жидкую фазу для формирующихся ниже по долине водокаменных селей. Уклоны в зоне транзита (80–120‰) обеспечивают достаточную энергию рельефа для перемещения потока и поддержания его высокой скорости. Большие мощности рыхлых отложений,

вскрытых в бортах селевого вреза почти по всей длине зоны транзита, обеспечивают наличие многочисленных активных очагов твердого питания селей. Даже частично разгружаясь в локальных внутридолинных зонах аккумуляции, сели сразу же подпитываются большими объемами нового материала и в итоге достигают подгорной равнины, практически не теряя объема.

Относительно невысокие (100–120‰ и менее) уклоны продольного профиля долины и удаленность селевого вреза от крутых склонов соседних плато не позволяют развиваться в ее пределах селям сдвигового или эрозионно-сдвигового механизма зарождения, которые бы непосредственно сходили по руслу Сенгисйока. Однако крутые борта цирка опираются практически непосредственно на урез Сенгисъявра. Многочисленные следы развития обвально-осыпных процессов, лавинно-каменнопадные желоба, крутопадающие склоновые селевые очаги на бортах цирка позволяют предполагать теоретическую возможность возникновения селей в долине Сенгисйока также в результате ударов лавин, склоновых селей или обвалов в акваторию озера с последующим выплеском части его воды через порог стока вниз по долине. Подобный селевой выплеск был ранее выявлен в южных Хибинах (Романенко и др., 2011). Но достоверных следов подобных селей в долине Сенгисйока на настоящий момент не зафиксировано.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше данные позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Селевой поток 3 июля 2017 г. сформировался как ВСП гидронапорного происхождения, но по мере движения по долине трансформировался в водокаменный поток. Его максимальные расчетные скорости в зоне транзита достигали 3.4–4.1 м/с, а пиковые расходы – 75–90 м³/с. Общий расчетный объем селя до 320 тыс. м³, в том числе объем вынесенного твердого материала – до 80 тыс. м³. Длина пути, пройденного селем, около 6.5 км.

2. Селевое событие 3 июля 2017 г. не имело экстраординарного характера. Мощность накопленных селевых отложений, дальность их выброса и высоты заплесков не превышают аналогичных величин, фиксируемых для более древних селевых событий, а по ряду параметров значимо уступают им.

3. Прорыв снежных плотин и сброс избытка воды из оз. Сенгисъявр – главные механизмы селеформирования в долине Сенгисйока. Условий для формирования селей в результате схода обвалов или оползней и перемещения их по руслу

Сенгисйока не имеется. Вместе с тем, сход таких селей возможен в склоновых селевых очагах в пределах сенгисъяврского цирка. Потенциально удары склоновых селей, а также лавин или обвалов в акваторию Сенгисъявра могут провоцировать частичный сброс воды из озера вниз по долине и также быть причиной селевых событий.

4. В долине Сенгисйока зафиксированы следы как минимум трех крупных селевых событий за последние 210 лет: в конце XIX – первой половине XX в., в первую декаду XXI в. и в 2017 г. С учетом ограниченного количества имеющихся определений абсолютного возраста отложений и потерь информации за счет селевой эрозии, можно предполагать, что среднемноголетняя повторяемость крупных водокаменных селей в последние столетия составляла не менее 1 события в 70 лет, а максимальная – 1 событие в 15–20 лет. Частота схода мелких ВСП и небольших селей, не достигавших устьевой зоны разгрузки, может быть еще выше. Высокая повторяемость селей обеспечивается спецификой селевого очага: наличием подпрудного озера в истоках долины и большими мощностями рыхлых отложений, вскрытых в бортах селевого вреза в зоне транзита.

5. Селевые процессы играют определяющую роль в формировании облика долины Сенгисйока на всем ее протяжении, кроме короткого приустьевых участка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беляев Ю.Р., Новикова Н.Г., Романенко Ф.А. (2010) Роль водно-ледниковой аккумуляции в формировании грядового рельефа побережья Умбозера (Кольский полуостров). В сб.: *Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты. VI Шукинские чтения – Труды*. М.: Географический факультет МГУ. С. 270–272.
- Беляев Ю.Р., Еременко Е.А., Луговой Н.Н. и др. (2022) Этапы антропогенной трансформации рельефа Российской Арктики. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*. Т. 67. № 4. С. 675–695.
- Вашалова Т.В., Фрейдлин В.С., Кожемякин А.Н. и др. (1988) Периоды схода и основы прогноза водоснежных потоков в горах Северо-Востока СССР. В сб.: *Проблемы противоселевых мероприятий*. Алма-Ата: Казахский педагогический институт. С. 110–120.
- Водоснежные потоки Хибин (2001) Под ред. А.Н. Божинского, С.М. Мягкова. М.: Географический факультет МГУ. 167 с.
- Интерфакс Россия. 21 октября 2020 г. “Дочка” Акрона объяснила загрязнение Умбозера в июне сильным паводком и сходом селей. [Электронный ресурс] URL: <https://www.interfax-russia.ru/northwest/news/dochka-akrona-obyasnila-zagryaznenie-umbozera-v-iyune-silnym-pavodkom-i-shodom-seley> (Дата обращения: 08.02.2024).

- Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. (1996) Гидравлические закономерности связных селей. Тбилиси: Мецниереба. 155 с.
- Нефедов В.Н., Кузнецов К.Л. (1983) Водоснежные потоки Магаданской области. В сб.: *Селевые потоки*. Л.: Гидрометеиздат. С. 106–112.
- Перов В.Ф. (1981) Селевые явления западной части плато Путорана. В сб.: *Проблемы противоселевых мероприятий*. Алма-Ата: Казахстан. С. 212–219.
- Перов В.Ф. (2012) Селеведение. М.: Географический факультет МГУ. 272 с.
- Познанин В.Л. (1975) Сели северной части Полярного Урала. В сб.: *Изучение и охрана гидросферы*. М.: Наука. С. 10–11.
- Рудинская А.И., Беляев Ю.Р. (2022) Морфометрические характеристики селевых бассейнов гор Европейского сектора Российской Субарктики. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. Т. 86. № 5. С. 746–762.
<https://doi.org/10.31857/S2587556622050107>
- Рудинская А.И., Беляев Ю.Р., Беляев В.Р. и др. (2022) Геоморфологические позиции селевых бассейнов Ловозерских тундр. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. № 2. С. 119–132.
- Романенко Ф.А., Лукашов А.А., Шилова О.С. (2011) Катастрофические гравитационные процессы на севере европейской России и опыт их абсолютного датирования. *Геоморфология*. № 1. С. 87–94.
- Руководящий документ. Руководство селестоковым станциям и гидрографическим партиям. Вып. 1. Организация и проведение работ по изучению селей. РД 52.30.238–89. (1990). М.: Гидрометеиздат. 198 с.
- Сапунов В.Н. (1985) Водоснежные потоки и их место в ряду сходных разрушительных явлений. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. № 6. С. 31–37.
- СП 479.1325800.2019. Инженерные изыскания для строительства в районах развития селевых процессов. Общие требования. (2019). М.: Минстрой России. 55 с.
- Тищенко А.И., Баев О.А. (2016) Гидравлика перемещения обломков твердой горной породы в составе селевого потока в условиях горно-предгорной зоны. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. № 4 (24). С. 214–231.
- Флейшман С.М. (1978) Сели. Л.: Гидрометеиздат. 312 с.
- Херхеулидзе И.И. (1972) Скорости течения и русловые характеристики селевых потоков. *Труды ЗапНИГМИ*. Вып. 40 (46). С. 134–180.
- Ходаков В.Г., Ильина Е.А. (1989) Снежно-ледовые явления на Полярном Урале. *Материалы гляциологических исследований*. Вып. 65. С. 110–118.
- Шереметская Е.Д., Иванов М.М., Ворошилов Е.В. и др. (2018) Использование материалов крупномасштабной аэрофотосъемки беспилотными летательными аппаратами в целях изучения экстремальных геоморфологических процессов. В сб.: *Материалы Международной конференции “ИнтерКарто. ИнтерГИС”*. Т. 24. Ч. 2: С. 158–170.
<https://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-2-24-158-170>
- Arctic DEM – Polar Geospatial Center [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/> (дата обращения: 20.04.2024).
- Bernhardt H., Reiss D., Hiesinger H. et al. (2017) Debris flow recurrence periods and multi-temporal observations of colluvial fan evolution in central Spitsbergen (Svalbard). *Geomorphology*. Vol. 296. No. 1. P. 132–141.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.08.049>
- Bronk-Ramsey C. (2017) Methods for Summarizing Radiocarbon Datasets. *Radiocarbon*. Vol. 59. Special Iss. 6. P. 1809–1833.
<https://doi.org/10.1017/RDC.2017.108>
- Garankina E.V., Belyaev V.R., Belyaev Y.R. et al. (2019) Integration of landforms, deposits and paleosols analysis for reconstructing Holocene debris flow activity in the low mountains of Kola Peninsula. In: *Climate Change Impacts on Sediment Dynamics: Measurement, Modelling and Management*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. P. 47–51.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-03646-1_9
- Hestnes E. (1998) Slushflow hazard – where, why and when? 25 years of experience with slushflow consulting and research. *Ann. Glaciol.* Vol. 26. P. 370–376.
<https://doi.org/10.3189/1998AoG26-1-370-376>
- Jonasson C., Nyberg R., Rapp A. (1997) Dating of rapid mass movements in Scandinavia: talus rockfalls, large rockslides, debris flows and slush avalanches. In: *Rapid Mass Movement as a Source of Climatic Evidence for the Holocene*. *Palaeoclimate Research*. Stuttgart. G Fischer (Publ.). P. 267–282.
- Nyberg R. (1989) Observation of slushflows and their geomorphological effects in the Swedish mountain area. *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*. Vol. 71. No. 3/4. P. 185–198.
<https://doi.org/10.2307/521389>
- Perov V., Chernomorets S., Budarina O. et al. (2017) Debris flow hazards for mountain regions of Russia: regional features and key events. *Nat. Hazards*. Vol. 88. Suppl. 1. P. 199–235.
<https://doi.org/10.1007/s11069-017-2841-3>
- Rapp A. (1960) Recent development of mountain slopes in Kärkevagge and surroundings, northern Scandinavia. *Geografiska Annaler*. Vol. 42. Iss. 2–3. P. 65–200.
<https://doi.org/10.1080/20014422.1960.11880942>
- Reimer P., Austin W., Bard E. et al. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. Vol. 62. Iss. 4. P. 1869–1887.
<https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Reimer P., Brown T., Reimer R. (2004) Discussion: Reporting and Calibration of Post-Bomb ^{14}C Data. *Radiocarbon*. Vol. 46. Iss. 3. P. 1299–1304.
<https://doi.org/10.1017/S0033822200033154>
- Reimer R.W., Reimer P.J. (2024) CALIBomb [Electronic data]. URL: <http://calib.org> (access date: 09.02.2024).

REFERENCES

- Arctic DEM – Polar Geospatial Center [Electronic data]. Access way: <https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/> (Access date: 20.04.2024).
- Belyaev Y.R., Eremenko E.A., Lugovoy N.N. et al. (2022) Stages of anthropogenic transformation of surface morphology in the Arctic zone of Russia. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle*. Vol. 67. No. 4. P. 675–695 (in Russ).
- Belyaev Y.R., Novikova N.G., Romanenko F.A. (2010) Role of the glaciofluvial accumulation in the formation of ridges around the Umbozero (Kola Peninsula). In: *Geomorfologicheskie protsessy i ikh prikladnye aspekty. VI Shukhinsk- ie chteniya – Trudy*. Moscow: Geographicheskii fakul'tet MGU (Publ.). P. 270–272 (in Russ).
- Bernhardt H., Reiss D., Hiesinger H. et al. (2017) Debris flow recurrence periods and multi-temporal observations of colluvial fan evolution in central Spitsbergen (Svalbard). *Geomorphology*. Vol. 296. No. 1. P. 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.08.049>
- Bozhinskiy A.N., Myagkov S.M. (Eds.). (2001) Vodosnezhnye potoki Hibirin (Slushflows of the Khibiny). Moscow: Geographicheskii fakul'tet MGU (Publ.). 167 p (in Russ).
- Bronk-Ramsey C. (2017). Methods for Summarizing Radiocarbon Datasets. *Radiocarbon*. Vol. 59. Special Iss. 6. P. 1809–1833. <https://doi.org/10.1017/RDC.2017.108>
- Fleishman S.M. (1978) Seli (Debris flows). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.). 312 p (in Russ).
- Garankina E.V., Belyaev V.R., Belyaev Y.R. et al. (2019). Integration of landforms, deposits and paleosols analysis for reconstructing Holocene debris flow activity in the low mountains of Kola Peninsula. In: *Climate Change Impacts on Sediment Dynamics: Measurement, Modelling and Management*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. P. 47–51. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03646-1_9
- Herheulidze I.I. (1972) Debris flow velocity and channel parameters. *Trudy ZakNIGMI*. Iss. 40 (46). P. 134–180 (in Russ).
- Hestnes E. (1998) Slushflow hazard – where, why and when? 25 years of experience with slushflow consulting and research. *Ann. Glaciol*. Vol. 26. P. 370–376. <https://doi.org/10.3189/1998AoG26-1-370-376>
- Hodakov V.G., Il'ina E.A (1989) Snow-ice phenomena in Polar Urals. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy*. Vol. 65. P. 110–118 (in Russ).
- Interfax Russia. October 21, 2020. “Dochka” Akrona ob'yasnila zagryaznenie Umbozera v iyune sil'nym pavodkom i skhodom selei [Electronic data] Access way: <https://www.interfax-russia.ru/northwest/news/dochka-akrona-obyasnila-zagryaznenie-umbozera-v-iyune-sil-nym-pavodkom-i-shodom-seley> (access date: 08.02.2024)
- Jonasson C., Nyberg R., Rapp A. (1997) Dating of rapid mass movements in Scandinavia: talus rockfalls, large rockslides, debris flows and slush avalanches. In: *Rapid Mass Movement as a Source of Climatic Evidence for the Holocene. Palaeoclimate Research*. Stuttgart. G Fischer (Publ.). P. 267–282.
- Natanishvili O.G., Tevtadze V.I. (1996) Gidravlicheskie zakonomernosti svyaznykh selei (Hydraulic patterns of cohesive debris flows). Tbilisi: Mecniereba (Publ.). 155 p (in Russ).
- Nefedov V.N., Kuznetsov K.L. (1983) Slushflows of the Magadan Region. In: *Selevy potoki*. Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.). P. 106–112 (in Russ).
- Nyberg R. (1989) Observation of slushflows and their geomorphological effects in the Swedish mountain area. *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*. Vol. 71. No. 3/4. P. 185–198. <https://doi.org/10.2307/521389>
- Perov V.F. (1981) Debris flow phenomena in the western part of the Putorana Plateau. In: *Problemy protivoselevykh meropriyatii*. Alma-Ata: Kazakhstan (Publ.). P. 212–219 (in Russ).
- Perov V.F. (2012) Selevedenie (Debris flow studies). Moscow: Geographicheskii fakul'tet MGU (Publ.). 272 p (in Russ).
- Perov V., Chernomorets S., Budarina O. et al. (2017) Debris flow hazards for mountain regions of Russia: regional features and key events. *Nat. Hazards*. Vol. 88 (Suppl. 1). P. 199–235. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2841-3>
- Poznanin V.L. (1975) Debris flows of the northern Polar Urals. In: *Izuchenie i okhrana gidrosfery*. Moscow: Nauka (Publ.). P. 10–11 (in Russ).
- Rapp A. (1960) Recent development of mountain slopes in Kärkevagge and surroundings, northern Scandinavia. *Geografiska Annaler*. Vol. 42. Iss. 2–3. P. 65–200. <https://doi.org/10.1080/20014422.1960.11880942>
- Reimer P., Austin W., Bard E. et al. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. Vol. 62. Iss. 4. P. 1869–1887. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Reimer P., Brown T., Reimer R. (2004) Discussion: Reporting and Calibration of Post-Bomb ¹⁴C Data. *Radiocarbon*. Vol. 46. Iss. 3. P. 1299–1304. <https://doi.org/10.1017/S0038222200033154>
- Reimer R.W., Reimer P.J. (2024) CALIBomb [Electronic data]. Access way: <http://calib.org> (Access date: 09.02.2024).
- Romanenko F.A., Lukashov A.A., Shilova O.S. (2011) Catastrophic gravitational processes on the north of the European part of Russia and an attempt of their absolute age dating. *Geomorfologiya*. No. 1. P. 87–94 (in Russ).
- Rudinskaya A.I., Belyaev Y.R. (2022) Morphometric features of debris flow basins of the mountains of the Russian Subarctic's European sector. *Sector. Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. Vol. 86. No. 5. P. 746–762 (in Russ). <https://doi.org/10.31857/S2587556622050107>
- Rudinskaya A.I., Belyaev Y.R., Belyaev V.R. et al. (2022) Geomorphological positions of debris flow basins in the Lovozerskiye Tundry mountainous area. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. No. 2. P. 119–132 (in Russ).

- Rukovodyashchii dokument. Rukovodstvo selestokovym stantsiyam i gidrograficheskim partiyam. Vyp. 1. Organizatsiya i provedenie rabot po izucheniyu selei. RD52.30.238–89 (Guiding document. Management of drainage stations and hydrographic parties; issue 1. Organization and conduct of work to study mudflows. RD52.30.238–89) (1990). Moscow: Gidrometeoizdat (Publ.). 198 p (in Russ).
- Sapunov V.N. (1985) Slushflows and their position among other similar hazardous phenomena. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. No. 6. P. 31–37 (in Russ).
- Sheremetskaya E.D., Ivanov M.M., Voroshilov E.V. et al. (2018) Using UAV large-scale aerial photography for studying hazardous geomorphological processes. In: *Proceedings of the International Conference "InterCarto. InterGIS"*. Vol. 24. Part 2. P. 158–170 (in Russ). <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-2-24-158-170>
- SP 479.1325800.2019ю Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva v raionakh razvitiya selevykh protsessov. Obshchie trebovaniya. (SP 479.1325800.2019. Engineering surveys for construction in areas where mudflow processes develop. General requirements). (2019). Moscow: Minstroy Rossii. 55 p (in Russ).
- Tishenko A.I., Baev O.A. (2016) Hydraulics of solid rock debris displacement as part of debris flow in mountain-piedmont zone. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii*. No. 4 (24). P. 214–231 (in Russ).
- Vashalova T.V., Freidlin V.S., Kozhemyakin A.N. et al. (1988) Slushflows in the mountains of north-eastern USSR: initiation periods and forecast. In: *Problemy protivoselevykh meropriyatii*. Alma-Ata: Kazakhstanskii pedagogicheskii institut (Publ.). P. 110–120 (in Russ).