

ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГИДРОСФЕРЕ:
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ
HAZARDOUS PROCESSES IN THE HYDROSPHERE:
FUNDAMENTAL AND ENGINEERING ASPECTS

УДК 627.141.1

DOI: 10.34753/HS.2021.3.1.8

ТРАНЗИТ И АККУМУЛЯЦИЯ
СЕЛЕЙ РЕКИ ГЕРХОЖАН-СУ НА
УЧАСТКЕ СЕЛЕПРОПУСКНОГО
КАНАЛА В ГОРОДЕ ТЫРНЫАУЗ

TRANSIT AND ACCUMULATION
OF THE GERKHOZHAN-SU RIVER
DEBRIS FLOWS AT THE SECTION
OF DEBRIS FLOW CHECK
CHANNEL IN THE TYRNYAUZ
CITY

М.Д. Докукин, М.Ю. Беккиев, Р.Х. Калов

Mikhail D. Dokukin, Mukhtar Yu. Bekkiev,
Ruslan Kh. Kalov

*Высокогорный геофизический институт,
г. Нальчик, Россия
inrush@bk.ru*

*High Mountain Geophysical Institute, Nalchik,
Russia
inrush@bk.ru*

Аннотация. Селевые потоки реки Герхожан-Су отличаются высокой активностью и опасностью и представляют угрозу городу Тырныаузу (Центральный Кавказ) и его жителям. Для защиты города Тырныауза от селей реки Герхожан-Су в начале 1960-х годов был построен селепропускной канал, который частично разрушился после катастрофических селей 1999–2000 годов и затем был восстановлен. Последующие селевые потоки (2011 и 2017 годов), проходя транзитом, оставляли следы на стенках канала, а также откладывали обломочный материал на дне канала, постепенно заполняя его. На основе данных маршрутных обследований и видеонаблюдений за селевыми потоками реки Герхожан-Су определены особенности транзита и аккумуляции селей на участке селепропускного канала. Динамика селевых потоков, прошедших 14–15 августа 2017 года, на участке селепропускного канала зафиксирована многочисленными видеороликами. Фото- и видеoinформация обрабатывалась в программе ArcGIS – привязывались разновременные масштабированные фотографии до и после прохождения селей и совмещались с кадрами

Abstract. Debris flows of the Gerkhozhan-Su River are distinguished by high activity and danger and pose a threat Tyrnyauz city (Central Caucasus) and its inhabitants. To protect the Tyrnyauz city from debris flows of the Gerkhozhan-Su River a debris flow check channel was built in the early 1960s. It was partially destroyed after the disastrous debris flows of 1999–2000 and then restored. Subsequent debris flows (2011 and 2017), passing through the channel, left traces on its walls and also deposited debris material at the bottom of the channel, gradually filling it. Specific characteristics of the transit and accumulation of debris flows at the section of debris flow check channel were determined using route surveys and video-footage analysis of the Gerkhozhan-Su River debris flows. The dynamics of debris flows on August 14–15, 2017 at the section of debris flow check channel was recorded on numerous videos. The photo and video information was processed in the ArcGIS software – scaled multi-temporal photos taken before and after debris flows were linked and combined with video frames. The debris flow waves passage velocity was determined by means of video materials with the measurement of distances on a high-resolution satellite image. Debris flows in 2017 were sweeping

видеосъёмки. По материалам видеороликов определялась скорость прохождения селевых волн с измерением расстояний на космоснимке высокого разрешения. Селевые потоки 2017 года проносились по каналу со скоростью 9–12 м/с. Выявлены участки временного отложения селевой массы с сохранившейся структурой селевого потока. Поверх отложенной селевой массы проходили последующие волны селевого потока, которые в итоге выносили временно отложенную массу вниз из канала. Показано, что определение поперечного сечения селевого потока по следам селей на стенках канала может приводить к завышенным величинам рассчитанных расходов селевых потоков. Выявлено, что после каждого селевого потока мощность селевых отложений на дне канала на участке бывшего пешеходного моста увеличивалась на 1,5 м. Отмечена важная селезащитная роль селепропускного канала и необходимость своевременной его очистки от селевых отложений для обеспечения противоселевой безопасности города Тирныауз.

Ключевые слова: город Тирныауз; река Герхожан-Су; сель; селепропускной канал; скорость селя; селевые отложения; селезащита

Введение

Бассейн реки Герхожан-Су известен катастрофическими селевыми потоками, неоднократно приносившими разрушения городу Тирныауз, расположенному в бассейне реки Баксан в Кабардино-Балкарии (Центральный Кавказ). Наиболее разрушительными были селевые потоки 1999–2000 годов [Сейнова, Золотарев, 2001; Запорожченко, 2002; Черноморец, 2005]. В XXI веке значительные селевые потоки сходили в 2011 и 2017 годах [Докукин и др., 2012; Докукин и др., 2018].

Для защиты города Тирныауз от селевых потоков был построен селепропускной канал, который несколько раз реконструировался после разрушений. Кроме этого на расстоянии 2,3 км от

through the channel at a velocity of 9–12 m/s. Sections of temporal debris flow mass deposit with the preserved structure of debris flow were revealed. Subsequent debris flow waves passed over and carried the deposited debris flow mass down from the channel. It is shown that the determination of the debris flow cross-section from debris flow traces on the walls of the channel can lead to overstatement in the values of the calculated debris flow discharges. It is revealed that after each debris flow at the bottom of the channel, the thickness of the debris flow deposits increased by 1.5 m on the area of the former pedestrian bridge. Protection role was noted of debris flow check channel and the need for its timely cleaning from deposits to ensure the debris flow safety of the Tyrnyauz City.

Keywords: Tyrnyauz city; Gerkhozhan-Su river; debris flow; debris flow check channel; debris flow velocity; debris flow deposits; debris flow protection

устья в долине реки Герхожан-Су возведена сквозная селеудерживающая плотина, которая была разрушена селом в 1999 году.

Таким образом, в настоящее время для защиты города Тирныауз от селей существует только одно противоселевое сооружение – селепропускной канал, левая стенка которого имеет длину 720 м, правая стенка – 1 325 м вместе с габионным продолжением (рисунок 1).

Расстояние между бетонными стенками на участке выше автодорожного моста составляет 30–35 м. Ниже моста канал расширяется до 120 м.

Целью настоящей статьи является исследование функционирования селепропускного канала во время прохождения селей 2011 и 2017 годов и последующих потоков.

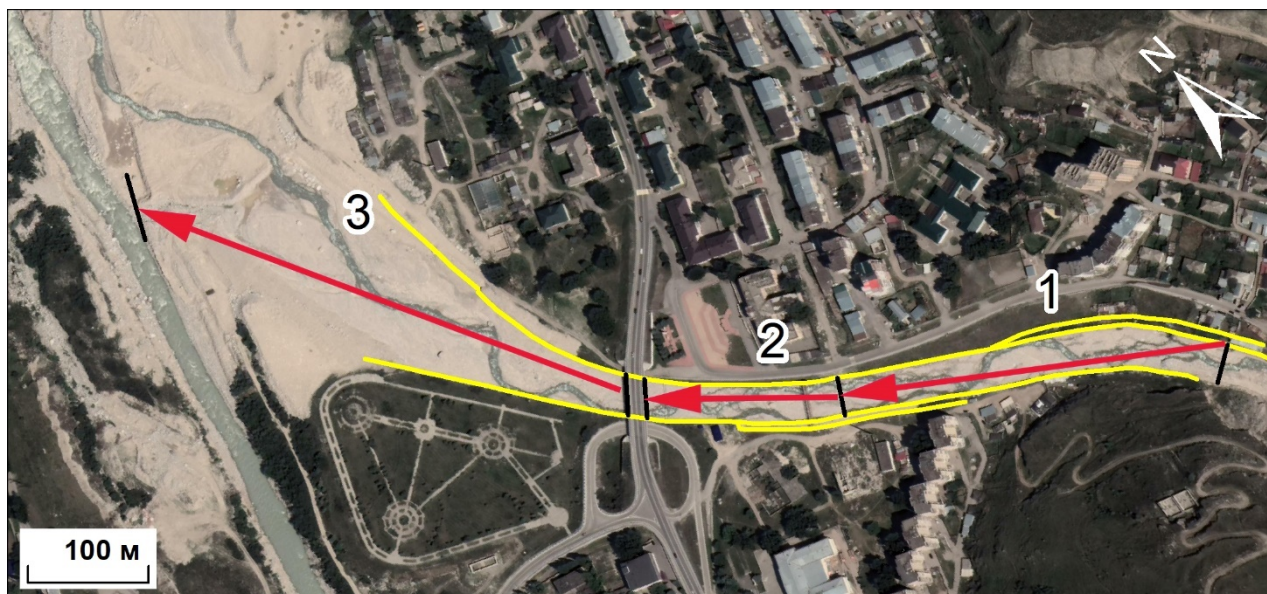


Рисунок 1. Участки измерения скорости селевого потока реки Герхожан-Су в селепропускном канале на космоснимке 25.08.2018 (Источник: Google Earth)

Figure 1. Sites of measurement of the debris flow velocity of the Gerkhozhan-Su River in the debris flow check channel on the satellite image of 08/25/2018 (Google Earth)

Материалы и методы исследования

При исследовании селевых процессов на участке селепропускного канала использованы: космический снимок из программы Google Earth Pro (на дату 25.08.2018), наземные фотографии и вертолётные снимки разных лет, материалы маршрутных наблюдений, видеоролики из Интернета. Наземные фотографии и кадры видеороликов одних и тех же участков привязывались в программном комплексе ArcGIS 10.3 с целью оценки изменений. Видеоролики прохождения селевого потока анализировались с целью фиксации селевых волн на различных участках селепропускного канала и определения скорости селя. Границы участков прохождения селевых волн, отображённых в видеороликах, идентифицировались на космоснимке.

Результаты исследований

По результатам анализа материалов маршрутных наблюдений и видеороликов определены уровни селевых потоков и селевых отложений в селепропускном канале и скорости прохождения селевых потоков на разных участках канала.

Измерение скорости селевых потоков по данным видеороликов

В работе [Запороженченко, 2002] приведены данные о расчётных значениях скорости и расхода селевых потоков на участке селепропускного канала для определения его пропускной способности: в отчёте Новочеркасского инженерно-мелиоративного института средняя скорость селевого потока принята равной 6,05 м/с, по расчётам параметров селя В.А. Герасимова в 1977 году – 6,9 м/с. В работе [Соколова и др., 2019] на основе анализа видеоролика получены данные о скорости селевых волн на участке селепропускного канала в городе Фирген (Австрия) во время прохождения селя 4 августа 2012 года на ручье Фиршницбах. Скорости селевых волн на разных участках составили 7,4–10,0 м/с.

Авторы применили методику из работы [Соколова и др., 2019] для исследования селей реки Герхожан-Су. Анализ данных многочисленных видеороликов селей 14–15 августа 2017 года позволил оценить скорость прохождения селей на различных участках селепропускного канала.

Таблица 1. Скорость селевого потока на участках селепропускного канала.**Table 1.** Debris flow velocity in the sections of debris flow check canal.

№ участка	Расстояние, м	Время, с	Скорость, м/с
1	325	31	10,5
2	160	13	12,3
3	540	55	9,8
3	540	48	11,3

**Рисунок 2.** Глыба в верхней части селепропускного канала, принесённая селевым потоком 14 августа 2017 года. Фото М.Д. Докукина 22.08.2017.**Figure 2.** A block in the upper part of the debris flow check channel brought by the debris flow on August 14, 2017. Photo by Mikhail D. Dokukin 08/22/2017.

Для измерений было отобрано три видеоролика ¹, на которых зафиксировано прохождение селевых волн на трёх участках канала, границы которых можно чётко идентифицировать на космическом снимке,

чтобы определить расстояние, пройденное селем (рисунок 1). В таблице 1 приведены данные измерения скорости прохождения селей на участках селепропускного канала. На участке №3

¹ Сель в Тырнаузе сносит мост 2017!!! [видеозапись] // YouTube. 2017. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Kl0x70gUd3k> (далее – видеоролик «Сель в Тырнаузе сносит мост 2017!!!»)

Свирепствует сель в Эльбрусском районе!!! // YouTube. 2017. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=df6pIO2eEo8> (далее – видеоролик «Свирепствует сель в Эльбрусском районе!!!»)

Сель в Тырнаузе 2017 год // YouTube. 2017. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=8f6R3W0jfIE> (далее – видеоролик «Сель в Тырнаузе 2017 год»)

проведено измерение скорости двух селевых волн по данным видео «Сель в Тырнаузе 2017 год».

Данные таблицы 1 показывают, что измеренная скорость селевого потока почти в два раза превышает расчётную. Но это не означает, что расчётные данные расхода селя нужно увеличить в два раза. Анализ видеороликов и материалов обследования позволил выявить особенности динамики селей на участках канала, которые необходимо учитывать в расчётах и измерениях по следам прохождения селей.

Особенности динамики селевых потоков на участках селепропускного канала

Исследование фотографий разных лет на участках канала до и после селей позволило выявить различия в динамике селей.

На рисунке 2 показана глыба, остановившаяся в верхней части участка №1 селепропускного канала (см. рисунок 1). Высота глыбы составляла 3,5 м, а в поперечнике она достигала 7 м.

Однако отложенная в канале глыба не свидетельствует о том, что на этом участке начинается зона отложения селевой массы. На рисунке 3 показано состояние верхней части селепропускного канала до и после селей 2011 и 2017 годов.

Из рисунка 3 видно, что уровень селевых отложений в канале после селей 03.08.2011 и 15.08.2017 практически не изменился. На одном и том же уровне находились и отметки прохождения селей на стенках канала. Можно сделать вывод о том, что на этом участке расходы селей были одинаковыми, и высота селевых волн составляла 1,5–2,0 м. Селевые потоки проходили этот участок в транзитном режиме. Только ближе к середине участка на дне канала происходило временное отложение селевой массы и уровень отметок от селей на стенках канала стал заметно выше.

Данные видеоролика «Сель в Тырнаузе сносит мост 2017!!!» свидетельствуют о том, что отложенная селевая масса не потеряла жидкую фазу и представляла собой просто остановившийся на некоторое время селевой

поток. Проходящие следующие волны селевого потока проносились по её поверхности и приводили в движение отложенную селевую массу. Она колыхалась, но оставалась на месте.

На рисунке 4 из указанного видеоролика показан гребень селевой волны 14 августа 2017 года. Подошва волны чётко не выражена вследствие того, что селевая масса, на которую натекает волна, вовлекается в движение. Валун на поверхности отложенной ранее селевой массы в левой части кадра уже приподнялся над исходным уровнем.

Впоследствии, к концу селевого процесса 14–15 августа 2017 года, временно отложенная селевая масса была унесена из канала послеселевым паводком или более мощной селевой волной.

На рисунке 5 показан участок пешеходного моста через селепропускной канал – окончание участка №1 до и после селей 2011 и 2017 годов.

Из сравнения фотографий и кадров видеоролика, представленных на рисунке 5, можно сделать несколько выводов:

- 1) уровень селевых отложений в селепропускном канале в створе пешеходного моста после селя 3 августа 2011 года (фрагмент *b*) поднялся на 1,5 м;
- 2) после селей 14–15 августа 2017 года уровень селевых отложений поднялся ещё на 1,5 м (фрагмент *e*);
- 3) перед сносом пешеходного моста толщина отложенной селевой массы составила 4,0 м и под мостом оставался просвет величиной 1,0 м (фрагмент *c*);
- 4) селевая волна, которая снесла пешеходный мост, проносила по ранее отложенной селевой массе и была высотой 1,5 м (фрагмент *d*);
- 5) по окончании селевого процесса 2017 года уровень селевой массы в канале понизился на 2,5 м (фрагмент *e*);
- 6) вследствие временного отложения селевой массы в селепропускном канале определение поперечного сечения селевого потока по следам селей на стенках канала может приводить к завышенным значениям величин рассчитанных расходов селевых потоков.



Рисунок 3. Состояние верхнего участка селепропускного канала до и после селей.

Фото М.Д. Докукина.

Figure 3. State of the upper section of the debris flow check channel before and after debris flows.

Photo by Mikhail D. Dokukin.



Рисунок 4. Гребень селевой волны 14 августа 2017 года на участке № 1 селепропускного канала (кадр видеоролика «Сель в Тырнаузе сносит мост 2017!!!»).

Figure 4. The crest of a debris flow wave on August 14, 2017 at section No. 1 of the debris flow check channel (frame of the Youtube video).

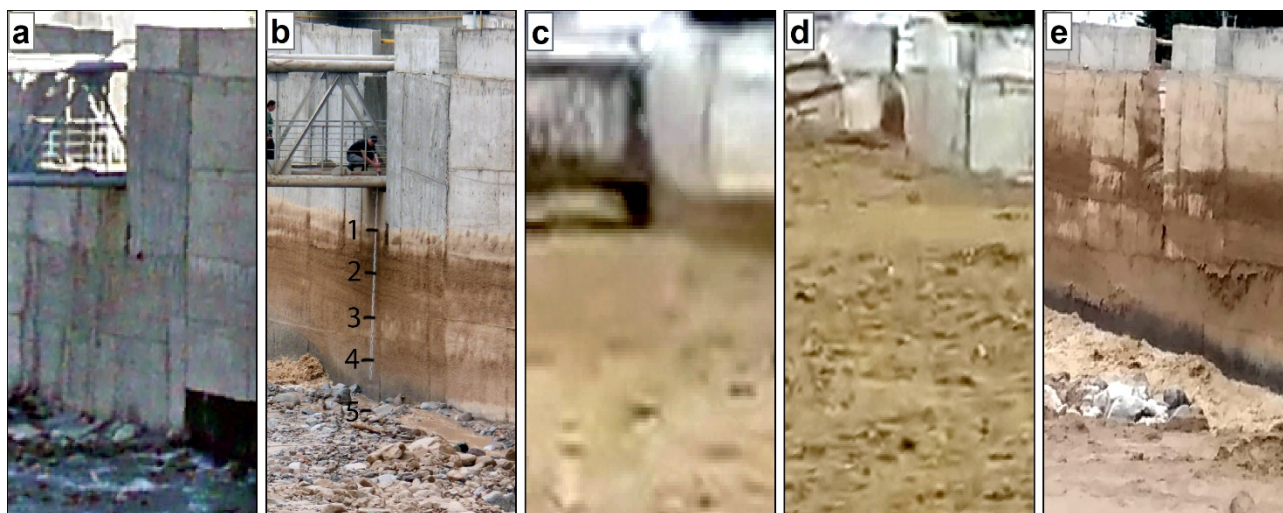


Рисунок 5. Правая стенка селепропускного канала на участке пешеходного моста:

a – 28.06.2008, b – 04.08.2011; c – 14.08.2017 перед сносом моста селевым потоком, d – 14.08.2017 в момент сноса моста, e – 15.08.2017

(a, b, e – фото М.Д. Докукина; c, d – кадры видеоролика «Сель в Тырнаузе сносит мост 2017!!!»).

Figure 5. The right wall of the debris flow check channel on the section of the pedestrian bridge:

a – 06/28/2008, b – 08/04/2011, c – 08/14/2017 before the demolition of the bridge by a debris flow, d – 08/14/2017 at the time of the demolition of the bridge, e – 08/15/2017

(a, b, e – photo by Mikhail D. Dokukin; c, d – frame of the Youtube video).

Таким образом, после каждого селя (по данным селей 2011 и 2017 годов) на окончании участка №1 селепропускного канала толщина селевых отложений увеличивалась на 1,5 м.

Даже небольшие сели откладывают материал на этом участке канала. На рисунке 6

показан тот же участок, что и на рисунке 5 до и после небольших селей в 2019 и 2020 годов. К 2020 году уровень селевых отложений в канале практически сравнялся с уровнем селевой массы в момент сноса пешеходного моста в 2017 году.



Рисунок 6. Правая стенка селепропускного канала на участке бывшего пешеходного моста:
а – фото Р.Х. Калова, б – фото М.Д. Докукина.

Figure 6. Right wall of the debris flow check channel on the site of the former pedestrian bridge:
а – photo by Ruslan Kh. Kalov, б – photo by Mikhail D. Dokukin.



Рисунок 7. Левая стенка селепропускного канала в средней части участка №2
после селей 2011 и 2017 гг. Фото М.Д. Докукина.

Figure 7. The left wall of the debris flow check channel in the middle part of section No. 2
after the debris flows of 2011 and 2017. Photo by Mikhail D. Dokukin.



Рисунок 8. Селевая волна 14 августа 2017 г. преодолевает стенку селепропускного канала на участке № 2 (кадр видеоролика «Свиристует сель в Эльбурском районе!!!»).

Figure 8. Debris flow wave on August 14, 2017 overcomes the wall of the debris flow check channel at section No. 2 (frame of the Youtube video).



Рисунок 9. Селевая волна на участке № 3 (кадр видеоролика «Сель в Тырныаузе 2017 год»).

Figure 9. Debris flow wave at section No. 3 (frame of the Youtube video).

На участке № 2 селепропускного канала также откладывался селевой материал. На рисунке 7 показана часть этого участка после селя 2011 года и после расчистки селевых отложений (уровень отложений понижен на 2,0 м), и после селя 2017 г.

После селей 2017 г. на участке канала, изображённом на рисунке 7, толщина селевых отложений стала немногим больше, чем после селя 2011 г.

Из-за того, что селевая масса отложилась в канале, селевые волны 14 августа 2017 года с относительно невысокой высотой фронта выходили за пределы канала на участке с поперечным выступом левой стенки, изображённом на рисунке 7. На рисунке 8 показан момент перехлёста селевой волны за пределы селепропускного канала.

Если бы к моменту схода селей в 2017 году канал не был расчищен от отложений селя 2011 года (см. рисунок 7), то весьма вероятно селевые

массы в 2017 году выносились бы за пределы канала на нескольких участках и привели бы к разрушению городских построек. Следовательно, условием обеспечения противоселевой безопасности города Тырнауза от последующих селей является своевременная расчистка канала от селевых отложений.

Характерной особенностью селевых волн на участке № 3 канала является то, что высота фронта волны практически не зависела от её ширины. Даже волны шириной фронта более 100 м имели такую же высоту фронта, что и в канале шириной 30 м (рисунок 9).

Отложенная селевая масса на участке № 3 селепропускного канала долгое время находилась в разжиженном состоянии, что делало не эффективным проведение взрывных работ на селевой плотине с целью спуска подпрудного озера на реке Баксан, образовавшегося в результате селей 14–15 августа 2017 года [Докукин и др., 2018].

Литература

Докукин М.Д., Савернюк Е.А., Богаченко Е.М., Иванов Г.И. Сель 3 августа 2011 г. в бассейне реки Герхожан-Су: причины, динамика и возможные последствия // Геориск. 2012. № 2. С. 48–56.

Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Богаченко Е.М., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Хаджиев М.М. Селевые потоки 14–15 августа 2017 г. в бассейне р. Герхожан-Су (Центральный Кавказ): условия и причины формирования, динамика, последствия // Геориск. 2018. Т. 12. № 3. С. 82–94.

Запорожченко Э.В. Сели бассейна р. Герхожан-Су: история проявления, условия формирования, энергетические характеристики // Сборник научных трудов ОАО «Севкавгипроводхоз». 2002. Вып. 15. С. 80–148.

Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья: (Эволюция оледенения и селевой активности). М.: Научный мир, 2001. 203 с.

Выводы

Исследование динамики селей 2011 и 2017 годов реки Герхожан-Су на участке селепропускного канала в городе Тырнауз позволило сделать следующие выводы:

- 1) высота селевых волн в основном не превышает 1,5–2,0 м;
- 2) скорость селей может достигать 12 м/с и более;
- 3) селевая масса может временно отлагаться в селепропускном канале слоем до 4 м и более и затем снова вовлекаться в селевой процесс;
- 4) селевые волны, двигаясь по поверхности временных селевых отложений, могут достигать высоты стенок канала и перехлестывать через него;
- 5) с каждым селем (данные селей 2011 и 2017 годов) толщина селевых отложений в канале на участке выше автодорожного моста увеличивается на 1,5–2,0 м;
- 6) для обеспечения противоселевой безопасности необходимо своевременно извлекать из селепропускного канала накопленные селевые отложения после каждого селя на всех участках канала.

References

Chernomorets S.S. *Selevye ochagi do i posle katastrof. [Origination sites of debris flow disasters: before and after]*. Moscow, Publ. "Nauchnyi mir", 2005. 180 p. (In Russian; abstract in English).

Dokukin M.D., Savernyuk E.A., Bogachenko E.M., Ivanov G.I. Sel' 3 avgusta 2011 g. v basseine reki Gerkhozhan-Su: prichiny, dinamika i vozmozhnye posledstviya [The 3 August 2011 mudflow in the Gerhozhan-Su River basin: causes, dynamics and possible consequences]. *Georisk [Georisk]*, 2012, no. 2, pp. 48–56. (In Russian; abstract in English).

Dokukin M.D., Bekkiev M.Yu., Bogachenko E.M., Kalov R.Kh., Savernyuk E.A., Khadjiev M.M. Selevye potoki 14–15 avgusta 2017 g. v basseine r. Gerkhozhan-Su (Tsentral'nyi Kavkaz): usloviya i prichiny formirovaniya, dinamika, posledstviya [Debris flows 14 and 15 august 2017 in the basin of Gerhozhan-Su river (Central Caucasus): conditions and causes of formation, dynamics, consequences].

Соколова Д.П., Куровская В.А., Остахов А.А., Казаков Н.А. Оценка динамических характеристик селевого потока по видеоматериалам // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1. Вып. 1. С. 31–51. DOI: [10.34753/HS.2019.1.1.003](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.1.003).

Черноморец С.С. Селевые очаги до и после катастроф. М.: Научный мир, 2005. 180 с.

Georisk [Georisk], 2018, vol.12, no. 3, pp. 82–94. (In Russian; abstract in English).

Seinova I.B., Zolotarev E.A. *Ledniki i seli Priel'brus'ya: (Evolutsiya oledeneniya i selevoi aktivnosti)* [Glaciers and debris flows of the Elbrus region (evolution of glaciation and debris flow activity)]. Moscow, Publ. "Nauchnyi mir", 2001. 203 p. (In Russian).

Sokolova D.P., Kurovskaya V.A., Ostashov A.A., Kazakov N.A. Otsenka dinamicheskikh kharakteristik selevogo potoka po videomaterialam [Evaluation of debris flow dynamic characteristics by video materials]. *Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniya* [Hydrosphere. Hazard processes and phenomena], 2019, vol. 1, iss. 1, pp. 31–51 (In Russian; abstract in English) DOI: [10.34753/HS.2019.1.1.003](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.1.003).

Zaporozhchenko E.V. Seli basseina r. Gerkhozhan-Su: istoriya proyavleniya, usloviya formirovaniya, energeticheskie kharakteristiki [Debris flows of the Gerhozhan-Su River basin: history of manifestation, formation conditions, energy characteristics]. *Sbornik nauchnykh trudov OAO «Sevkavgirovodkhoz»* [Proceedings of the JSC "Sevkavgirovodkhoz"], 2002, iss. 15, pp. 80–148. (In Russian).