



Геоморфологические последствия и гидрометеорологические предпосылки экстремального паводка в бассейне р. Цанык, район Большого Сочи

В.Н. Голосов^{1,2}, Ю.С. Кузнецова¹, Н.Н. Иванова¹, А.С. Цыпленков¹, Д.В. Ботавин¹,
М.М. Иванов^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
Россия, golossov@gmail.com, atsyplenkov@gmail.com, nadine_iv@mail.ru,
kuzyulia@gmail.com, dmitry.botavin@gmail.com, ivanovm@bk.ru

²Институт географии РАН, Москва, Россия

Аннотация. Субтропическая зона Черноморского побережья Кавказа являются регионом с высокой повторяемостью внезапных паводков, которые провоцируют существенные переформирования русел водотоков и вынос значительного объема наносов. Исследованы гидрометеорологические причины формирования и количественно оценены геоморфологические последствия прохождения мощного внезапного паводка на р. Цанык (приток Мацесты) 8 сентября 2018 года. Установлено, что внезапный паводок сформировался при ливне слоем 23 мм, выпавшем на следующий день после ливня со слоем 43 мм. Ключевую роль в образовании внезапного паводка 8 сентября сыграло расположение ядра ливня и охват бассейна по площади этим дождем. На 2,3 км участке русла верхнего течения р. Цанык и примыкающем к нему водосборе с 2014 г. проводятся наблюдения за интенсивностью основных экзогенных процессов. Годовой цикл стационарных полевых наблюдений был завершён за 2 дня до прохождения паводка. Это позволило, повторив наблюдения сразу после прохождения паводка, количественно оценить суммарный объём перемещённого материала за данное единичное событие. Максимальные расходы воды при прохождении внезапного паводка как минимум вдвое превышали ранее наблюдавшиеся за период с 2014 г. Установлено, что суммарный объём наносов, включая материал, поступивший со склонов водосбора и сформированный за счёт размыва русла на исследованном участке водосбора, составил 650-700 м³. Это больше суммарных годовых объёмов перемещённого материала за период наблюдений. Почти половина наносов сформировались за счёт размыва берегов русла, сложенных рыхлообломочным материалом и коренными породами.

Ключевые слова: внезапный паводок, перераспределение наносов, русловая эрозия

Ссылка для цитирования: Голосов В.Н., Кузнецова Ю.С., Иванова Н.Н., Цыпленков А.С., Ботавин Д.В., Иванов М.М. Геоморфологические последствия и гидрометеорологические предпосылки экстремального паводка в бассейне р. Цанык, район Большого Сочи. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 438–445.

Geomorphological consequences and hydrometeorological conditions of extreme flood in the Tsanyk River basin, Sochi region

V.N. Golosov^{1,2}, Yu.S. Kuznetsova¹, N.N. Ivanova¹, A.S. Tsyplenkov¹, D.V. Botavin¹,
M.M. Ivanov^{1,2}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, golossov@gmail.com,
atsyplenkov@gmail.com, nadine_iv@mail.ru, kuzyulia@gmail.com,
dmitry.botavin@gmail.com, ivanovm@bk.ru

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow Russia

Abstract. The subtropical zone of the Black Sea coast of the Caucasus is a region with high frequency of flash floods, which led to significant river channel transformation and the removal of a huge amount of sediment. The hydrometeorological causes of the formation are investigated and the geomorphological consequences of the powerful flash-flood on the Tsanyk River (tributary of the Matsesta River) September 8, 2018 are quantified for a 2.3 km section of the channel of the upper reach of the river. It was found that a flash flood formed during a shower with a layer of 23 mm, which fell the day after a shower with a layer of 43 mm. The key role in the formation of the flash-flood on September 8 was played by the location of the shower core and the coverage of the basin over the area by this rain. Since 2014, the intensity of the main exogenous processes the have been monitoring in the 2.5 km reach of the Tsanyk River channel and the adjacent part of the catchment. The annual cycle of stationary field observations was completed 2 days before the flash flood. This made it possible to quantify the total volume of displaced material for this single event by repeating the observations immediately after the flash-flood. The maximum water discharge during given flash flood was at least twice that previously observed for the period from 2014. It was established that the total volume of sediment, including material from the slopes of the catchment and formed due to erosion of the channel in the studied catchment area, amounted to 650-700 m³. This is more than the total annual volumes of displaced material for previous years of observation. Almost half of the sediment was formed due to erosion of the river banks, composed of friable material and bedrock.

Key words: *flash flood, sediment redistribution, channel erosion*

Cite this article: Golosov V.N., Kuznetsova Yu.S., Ivanova N.N., Tsyplov A.S., Botavin D.V., Ivanov M.M. Geomorphological consequences and hydrometeorological conditions of extreme flood in the Tsanyk River basin, Sochi region. In: Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1. Dushanbe: “Promotion” LLC, 2020, p. 438–445.

Введение

Усиление частоты и величины экстремальных гидрологических событий (ЭГС) отмечается на Северном Кавказе в связи с климатическими изменениями [Алексеевский и др., 2016]. Среди ЭГС, зафиксированных на реках Северного Кавказа, значительное место занимают сели [Шнытарков и др., 2012; Магрицкий, 2014]. Между тем, в субтропической зоне Черноморского побережья, которая охватывает достаточно узкую полосу с низкогорным рельефом, нередки явления, которые в англоязычной литературе называются flash-flood, или внезапные ливневые паводки [Kuksina et al., 2017]. Судя по крупности аллювия в руслах малых водотоков, где наблюдаются подобные явления, их мощность вполне сопоставима с селями. Тем не менее, несмотря на достаточно хорошую изученность повторяемости и последствий подобных паводков, которые наиболее широко распространены в субтропическом поясе, до сих пор нет ясного представления об условиях, способствующих их формированию [Куксина и др., 2020].

Цель данного исследования состоит в характеристике причин возникновения и оценке последствий внезапного ливневого паводка, который прошёл в начале сентября 2018 на водосборе р. Цанык (район Большого Сочи).

Объект и методика исследований

Водосбор р. Цанык с площадью водосбора 11,7 км² располагается в центральной части Большого Сочи и по своим морфометрическим параметрам и степени антропогенной нагрузки является типичным речным бассейном предгорно-низкогорной зоны Черноморского побережья Кавказа. Его физико-географическая характеристика бассейна приведена в работах [Цыпленков и др., 2017; Иванова и др., 2018]. В пределах

бассейна выделяются четыре участка с различной степенью антропогенной нагрузки и морфологией дна долины. Участок 6-9 км от устья является наиболее слабо антропогенно преобразованным. Он находится в пределах Сочинского заказника. Русло развивается в естественных условиях, образуя серию вынужденных и адаптированных излучин. На данном участке и примыкающей к нему части водосбора проводятся детальные наблюдения за темпами экзогенных процессов (рис. 1).

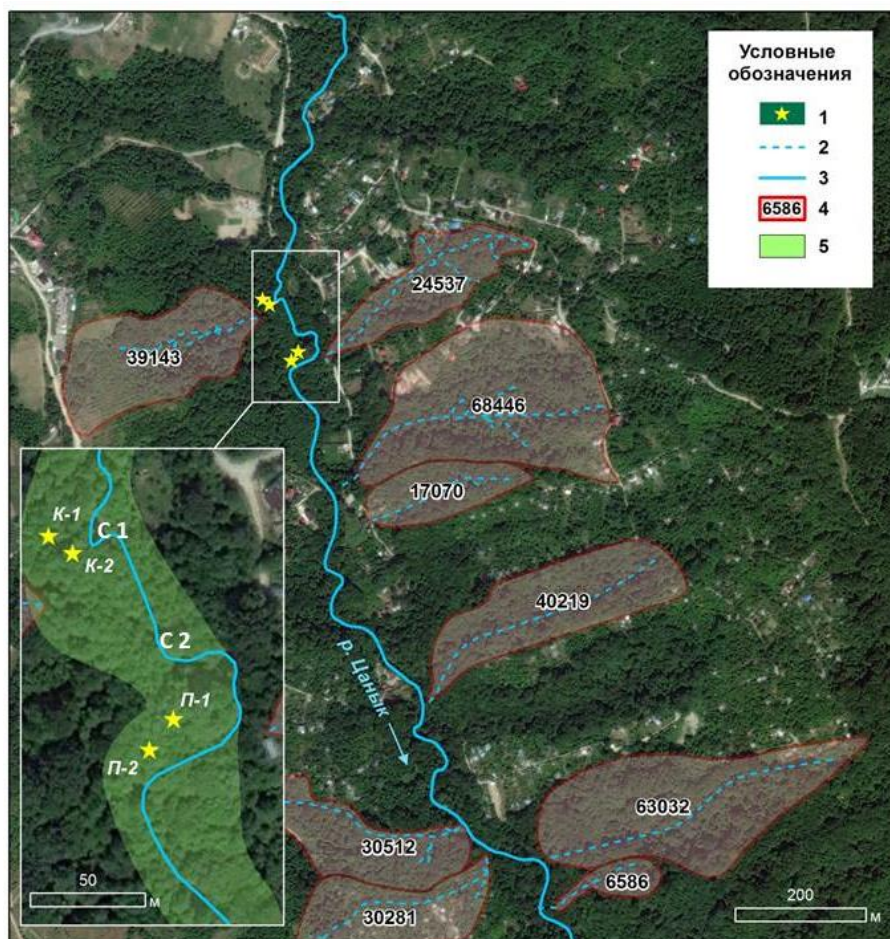


Рис.1. Исследуемая часть водосбора р. Цанык, расположенная в Сочинском заповеднике. Условные обозначения: 1 - разрезы; 2 – временные водотоки; 3 – постоянный водоток; 4 - площади водосборов притоков р. Цанык; 5 - карта врезка , где К-1, К-2 – разрезы на конусе выноса, П-1, П-2 – разрезы на пойме; С1 и С2 – стационары по мониторингу размыва берегов и дна реки

Fig. 1. The studied part of the Tsanyk River catchment, located in the Sochi Reserve. Legend: 1- pits; 2 - temporary watercourses; 3 - permanent watercourse; 4 - catchment areas of the tributaries of the Tsanyk River; 5 - inset map, where K-1, K-2 - pits on the sediment cone, P-1, P-2 - pits on the floodplain; C1 and C2 are section for monitoring bank and bottom erosion

Возможность оценить геоморфологические последствия внезапного паводка на р. Цанык, прошедшего в период 7-9 сентября 2018 г. связана с тем, что на этом объекте несколько лет проводятся ежегодные наблюдения за темпами размыва берегов и характером проявления эрозионно-аккумулятивных процессов на конусах выноса оврагов-притоков. В сентябре 2018 г. ежегодные наблюдения и замеры были проведены за 1-2 дня до паводка, а после его завершения были выполнены повторные замеры, что позволило оценить последствия данного паводка.

Для оценки переформирования пойменно-руслового рельефа р. Цанык на участке русла реки проводится повторная тахеометрическая съемка с помощью электронного

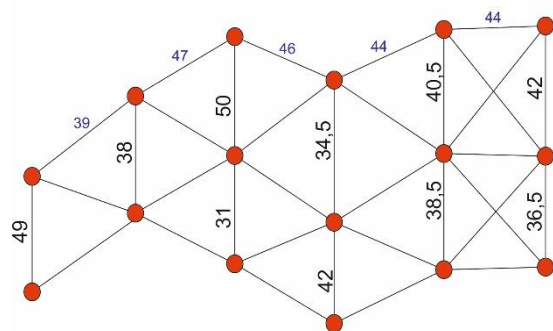
тахеометра Leica в условной прямоугольной системе координат с привязкой к реперной системе. Составление плана рельефа и дальнейший анализ производился в геоинформационной системе ESRI ArcGIS. Оценка темпов размыва бортов русла р. Цаньк проводилась с использованием метода шпильек [Кузнецова и др., 2015]. Ранее были выделены основные типы бортов русла в зависимости от их литологического состава. Основные группы включали: а) коренные склоны, сложенные флишевыми толщами (переслаивание песчаников, аргиллитов и алевролитов); б) уступы пойменно-террасового комплекса, сложенные рыхлыми отложениями. Всего на участке днища долины длиной 2,3 км в сентябре 2016 г. было организовано 6 площадок мониторинга за динамикой размыва береговых уступов. На каждом участке перпендикулярно подмываемому борту забивались шпильки, расположенные рядами, преимущественно в шахматном порядке через 40-60 см (рис. 2).

ЦГ-04

подмываемый коренной склон,
 правый борт долины

рыхлые отложения

шпильки забиты полностью



ЦГ-04	2016-09-01T08:11:55Z	39,79159800000	43,61570500000	195,62352000000
-------	----------------------	----------------	----------------	-----------------

Рис. 2. Участок мониторинга размывов бортов русла р. Цаньк ЦГ-04, схема расположения реперов-шпильек

Fig. 2. The monitoring site TsG-04 for observation for the bank erosion, River Tsanyk, view of pin locations on the channel bank

На двух участках высокой поймы был проведён отбор послойный проб из разрезов для определения содержания в них ¹³⁷Cs. Отбор проводился из передней стенки разреза с площади 15x15 через каждые 3-4 см. Перед отбором было проведено описание отложений. Также на исследуемом участке днища долины регулярно проводилось полевое геоморфологическое картирование, с особым вниманием к элементам рельефа, активно преобразуемым в процессе русловых переформирований. Была определена протяжённость и высота над урезом участков подмыва берегов, сложенных разными породами, зафиксирована крупность аллювия на участках руслах с различной морфологией.

Для оценки динамики и повторяемости выпадения стокоформирующих ливней были собраны данные 3-х часовых осадков за период 1966 по 2018 гг. по метеорологической станции Раздольное, расположенной на западной границе водосбора. Среднегодовое количество осадков в данном регионе составляет 1570 мм за более чем 100-летний период наблюдения [Цыпленков и др., 2017]. Данные с автоматического уровнемера АГК-0193, входящего в Автоматизированную систему мониторинга паводковой ситуации на реках Краснодарского края [<http://emergit.ru/map>] (координаты датчика: 43,57661; 39,7823) использовались для анализа гидрологического режима р. Цаньк.

Результаты и обсуждение

Внезапный паводок, последствия которого оцениваются в статье, сформировался в начале сентября. За день до его формирования на водосборе прошёл ливень 43 мм, который привёл к подъёму уровня воды на 36 см. Максимальный подъём уровня, когда за 40 минут уровень воды достиг 117 мм, был спровоцирован ливнем в 23 мм, выпавшем утром 8 сентября 2018 года. Данный внезапный паводок с гидрологической точки зрения является уникальным для данного водосбора для периода наблюдений за уровнем воды с 2014 года. Следует отметить, что если исходить из данных наблюдений на метеостанции Раздольное, расположенной на западной границе водосбора, он был вызван осадками 99.9% обеспеченности (23 мм), выпавшими примерно через 24 часа после осадков 90% обеспеченности (43 мм). При этом осадки более низкой обеспеченности (25% и менее) не вызывали таких подъёмов уровня на протяжении 5 лет наблюдений.

Ряд исследователей [Бондырев, Церетели, 2007] считают интенсивность осадков 50-80 мм/сутки достаточной для формирования селевого потока на всех водотоках, дренирующих горы Северного Кавказа. На наш взгляд, что данное условие необходимо, но недостаточно для возникновения внезапного дождевого паводка. Ключевую роль в образовании внезапного паводка 8 сентября сыграло расположение ядра ливня и охват бассейна по площади этим дождем. По одной точке измерения слоя осадков, невозможно судить о фактическом максимальном слое, который выпал по площади всего бассейна за дождь с зафиксированным слоем осадков в 23 мм. Ещё более важным фактором является интенсивность ливня, которая, скорее всего, превышала 1 мм/мин, что на фоне выпадения в предшествующий день дождя слоем 43 мм привело к очень быстрому сбросу воды со склонов в русло, что обусловлено перенасыщением влагой относительно маломощных (60-80 см) почв, сформировавшихся на коренных отложениях.

Полевые наблюдения за стоком воды и наносов в период прохождения внезапного паводка проводились на его спаде. Был установлен факт формирования поверхностного плоскостного стока, охватывающего все склоны водосбора, большая часть которых на исследуемом участке находится под лесом. Мутность поверхностного стока была сравнительно невелика. В расширениях днища долины на участках поймы и, особенно, на конусах выноса ряда притоков происходило переотложение наносов. Мощность отложившихся наносов достигала на конусах выноса >10 см. Выполненные ранее расчёты позволяют оценить смыв за подобное событие в 2-3 т/га (Цыпленков и др., 2017), что соответствует поступлению в днище долины р. Цанык на исследуемом 2,3 км участке 250-370 м³ наносов. На участках расширения днища долины, наносы, смываемые со склонов, частично, переоткладываются. Об этом свидетельствует эпюра вертикального распределения ¹³⁷Cs на пойме р. Цанык (рис. 3Б).

Высокие концентрации ¹³⁷Cs в верхних 21 см однозначно указывают на то, что переотложившийся материал поступил за счёт смыва с поверхности склонов. Установлено, что большинство притоков, впадающих в р. Цанык на исследуемом участке, являются зонами транзита наносов, поступающих в них со склонов, что связано с тем, что они уже врезаются до коренных пород. Исключением является правобережный приток, устье которого выходит на высокую пойму в районе стационара (С1 на врезке рис. 1). Здесь при формировании поверхностного стока происходит активное врезание в рыхлые отложения и подмыв берегов, что способствует выносу большого объёма наносов, часть которых переоткладывается на пойме, формируя большой конус выноса площадью порядка 750-800 м². Оценки суммарной аккумуляции, выполненные на основе использования ¹³⁷Cs в качестве маркера, позволили оценить их в 69 -70 см, отложившихся за период с 1986 г до 2015 г., когда проводился отбор (рис. 3А). Среднегодовые темпы аккумуляции составляют 2,3 см/год. Но фактические наблюдения за развитием конуса, которые проводятся с 2014 г., показывают, что было только 2 случая мощной аккумуляции, охватившей большую часть площади конуса выноса. Исходя из предположения, что повторяемость подобных событий была примерно одинаковой за прошедшие с 1986 г. 32 года, можно оценить, что всего за этот период

было 5-6 событий, аналогичных по стоку воды и наносов внезапному паводку 8 сентября 2018 года. Не более 10-20% материала, или 15 м³, вынесенного в днище долины, поступает вместе со стоком воды в русло р. Цанык.

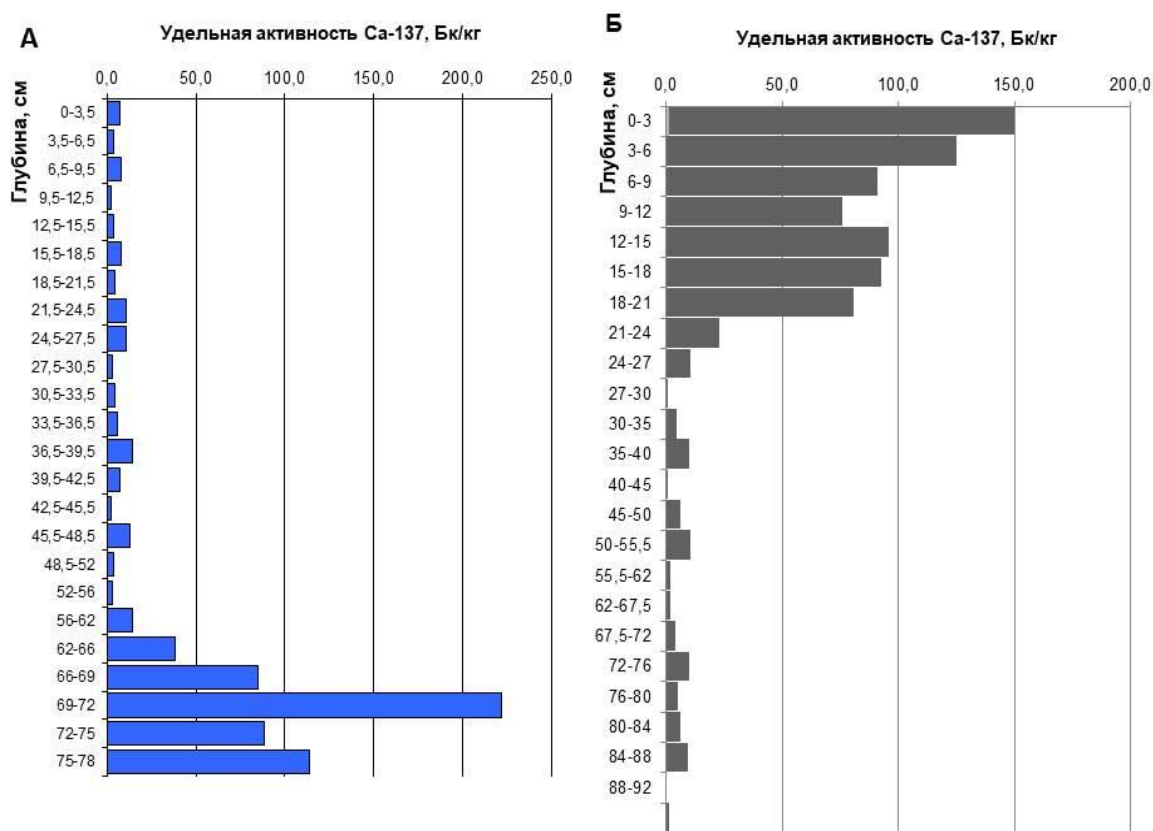


Рис. 3. Эпюры вертикального распределения ¹³⁷Cs в отложениях конуса выноса притока (разрез К-1, врезка на рис.1) и высокой поймы (разрез П-2)

Fig. 3. Plots of the ¹³⁷Cs vertical distribution in the sediments of the tributary cone (K-1, inset in Fig. 1) and high floodplain (pit П-2)

Сравнение результатов тахеометрических съемок днища долины на участке между стационарами 1 и 2 (рис. 1, врезка) до и после паводка 7-9 сентября 2018 г. показало, что это гидрологическое событие привело к изменениям как его плановых очертаний, так вертикальных отметок. Максимальное зафиксированное отступление бровки подмываемого склона составило 30-50 см, для большинства участков средние значения – 10-30 см, что соответствует максимальному и среднему объему материала, вынесенного при разрушении уступа пойменного яра, в 0,38 м³/м² и 0,16 м³/м² соответственно. На прямолинейном участке русла между стационарами был перемещён примерно 10 сантиметровый слой донных отложений, что составило порядка 24 м³, из которых не более 6-7 м³ переотложилось в русле в виде конуса выноса перед резким поворотом русла реки (рис. 4). Аналогичные изменения произошли на других прямолинейных участках, где русло продолжает врезаться в рыхлообломочные отложения пролювиально-аллювиального происхождения. Ниже по течению начиная с середины исследуемого 2,3 км участка р. Цанык, поток протекает по коренным породам и здесь донные наносы, поступающие с верхних участков, в основном переносятся транзитом. Врезание русла происходит локально на участках, где коренные породы более податливы к разрушению благодаря процессам выветривания.



Рис. 4. Конус выноса на участке изгиба русла р. Цаньк в районе стационара 2 (рис. 1, врезка С2) до (А) и после (Б) внезапного паводка (Фото Голосова В.Н.)

Fig. 4. The sediment cone in the bend of the riverbed Tsanyk, section for monitoring bank and bottom erosion (Fig. 1, inset C2) before (A) and after (B) the flash flood (Photo by Golosov V.N.)

Обобщённые результаты оценок темпов размыва берегов по всем 6 участкам мониторинга свидетельствуют, что размыв берегов за внезапный паводок 8 сентября 2018 г. превышает суммарный размыв за год, как для бортов, сложенных рыхлыми отложениями, так и для сложенных коренными породами (флиш), причём в последнем случае более чем вдвое (таблица).

Таблица. Средние удельные объёмы размыва берегов с различным литологическим строением за разные интервалы времени (m^3/m^2)

Table. Average specific volumes of erosion of banks with different lithological structure in different time intervals (m^3/m^2)

Литология подмываемых берегов	Период наблюдений		
	Сентябрь 2016 - сентябрь 2017 гг.	Сентябрь 2017 - 6 сентября 2018 гг.	6 – 9 сентября 2018 г.
Рыхлые аллювиально-пролювиальные отложения	0,035	0,042	0,045
Переслаивание песчаников, аргиллитов и алевролитов	0,014	0,012	0,025

Таким образом, учитывая протяжённость секторов размыва берегов, объём наносов, вынесенных при прохождении внезапного паводка, составил на исследованном участке русла порядка 285-290 м³. Суммарный, включая вынос со склонов и размыв русла, объём наносов, перемещённых водотоком за экстремальный паводок, составил 650-700 м³, из которых не менее половины было вынесено за счёт размыва берегов и дна русла основного водотока.

Заключение

По результатам стационарных наблюдений удалось оценить условия формирования и геоморфологические последствия внезапного паводка на минимально нарушенном участке водосбора р. Цанык – типичной малой реки низкогорной зоны субтропического пояса ЧПК. Показано, что данный паводок, по максимальному расходу воды вдвое превышающий все паводки за 5-летний период наблюдения, сформировался при выпадении ливня со слоем 23 мм (99% повторяемость), но после 43 мм ливня, выпавшего за день до него. Суммарный объём наносов, вынесенный за пределы данного участка за данный паводок, составляет 650-700 м³, из которых более половины сформировалось за счёт размыва берегов и дна русла. Согласно данным стационарных наблюдений это превышает суммарный вынос материала с данной части водосбора за год.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проекты №16-05-00815 (полевые данные), №20-35-70035 (обработка, анализ гидрометеорологических данных) и РНФ проект №19-17-00181 (расчёты бассейновой и русловой эрозии, подготовка текста).

Список литературы

- Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Колтерманн П.К., Торопов П.А., Школьный Д.И., Белякова П.А. Наводнения на черноморском побережье Краснодарского края. - Водные ресурсы. 2016, № 1 (43), с. 3–17.
- Бондырев И.В., Церетели Э.Д., 2007. Катастрофические селевые потоки на юге Кавказа. В кн.: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа, Труды Международной научн.-практич. конференции. Владикавказ, 20-22 сентября 2007 г., Владикавказ, ВНЦ РАН и РСО-А., с. 108-115.
- Иванова Н.Н., Голосов В.Н., Цыпленков А.С., Кузнецова Ю.С., Ботавин Д.В. Источники бассейновой составляющей стока наносов малой реки низкогорно-предгорного пояса Черноморского побережья Кавказа (на примере р. Цанык). - Инженерные изыскания, 2018, № 7–8 (12), с. 62–76.
- Кузнецова Ю.С., Голосов В.Н., Куксина Л.В. Внезапные паводки: факторы формирования, распространение и методы прогнозирования. ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России, Москва, 2015, с. 207–214.
- Куксина Л.В., Голосов В.Н., Промахова Е. В. Причины возникновения и география внезапных ливневых паводков. - Вестник МГУ, сер.5, география, 2020, №1, с.11-22.
- Магрицкий Д.В. Пространственно-временные характеристики наводнений на Черноморском побережье Российской Федерации. - Вестник Московского университета, серия 5: География, 2014, №6, с. 39–47.
- Цыпленков А.С., Голосов В.Н., Куксина Л.В. Оценка бассейновой составляющей стока взвешенных наносов 2015 в малых речных бассейнах сухих и влажных субтропиков при экстремальном стоке. - Инженерные изыскания, 2017, № 9, с. 54–65.
- Шныпарков А.Л., Колтерманн К.П., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Перов В.Ф., 2012. Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа. Геориск, № 4, с. 20–25.
- Kuksina L.V., Golosov V.N., Kuznetsova Y.S. Cloudburst floods in mountains: State of knowledge, occurrence, factors of formation. - *Geography and Natural Resources*. 2017, Vol. 38(1), p. 20–29. <http://emercit.ru/map/> (дата обращения: 27.09.2018).