



<https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-7-8-62-74>

УДК 551.435.162/24:556.51/54:631.438.2

ИСТОЧНИКИ БАССЕЙНОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СТОКА НАНОСОВ МАЛОЙ РЕКИ НИЗКОГОРНО-ПРЕДГОРНОГО ПОЯСА ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА (НА ПРИМЕРЕ Р. ЦАНЫК)

ИВАНОВА Н.Н.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, nadine_iv@mail.ru
Адрес: Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия

КУЗНЕЦОВА Ю.С.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, kuzyulia@gmail.com

ГОЛОСОВ В.Н.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, gollossov@gmail.com

БОТАВИН Д.В.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, dmitry.botavin@gmail.com

ЦЫПЛЕНКОВ А.С.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, atsyplenkov@gmail.com

Аннотация: на примере изучения слаборазрушенного участка бассейна р. Цанык, расположенного в районе Большого Сочи в предгорно-низкогорной зоне Черноморского побережья Кавказа, выявлены особенности формирования и источники бассейновой составляющей стока наносов реки при возникновении внезапных паводков. Набор полевых и расчетных методов, включая датировку отложений с помощью изотопа ^{137}Cs , метод шпилек, метод Янга, эрозионное моделирование и другие использованы для определения темпов процессов денудации и аккумуляции. Выявлены процессы локального и дальнего перемещения материала. Установлено, что темпы крипа составляют 2–2,2 см/год, интенсивность обвално-осыпных процессов варьирует в зависимости от пород в интервале 1–3,5 см/год. Процессы плоскостного смыва и линейные размывы способствуют перемещению части материала с поверхности водосбора в русло реки. Выделено четыре типа склонов и склоновых водосборов по особенностям доставки наносов с площади водосбора в русло реки. Среднегодовые темпы аккумуляции наносов в конусе выноса оврага составили за период с 1986 г. 2,3 см/год. При этом на основании изучения аккумулятивных отложений конуса выноса, включая содержание в них изотопа ^{137}Cs , установлено, что основными источниками наносов являются продукты овражных размывов, обвално-осыпных процессов и отседания склонов. Всего за примерно 30-летний период произошло пять — шесть эпизодов катастрофического выноса наносов. Соотношение выноса материала со склоновых водосборов и измеренного стока наносов в бассейне р. Цанык в период формирования дождевого паводка низкой обеспеченности позволяет утверждать, что бассейновая часть стока наносов составляет не менее 75%. Данные о соотношении склонов и склоновых водосборов различного типа в пределах малых речных бассейнов субтропического пояса Черноморского побережья Кавказа должны учитываться при расчетах инженерных сооружений по защите инфраструктурных объектов от воздействия внезапных паводков или селей.

Ключевые слова: темпы денудации; внезапные паводки; источники наносов; сток наносов; бассейновая составляющая стока наносов; субтропическая зона

Ссылка для цитирования: Иванова Н.Н., Голосов В.Н., Цыпленков А.С., Кузнецова Ю.С., Ботавин Д.В., 2018. Источники бассейновой составляющей стока наносов малой реки низкогорно-предгорного пояса Черноморского побережья Кавказа (на примере р. Цанык). Инженерные изыскания, Том XII, № 7–8, с. 62–74, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-7-8-62-74>.

SOURCES OF THE BASIN COMPONENT OF THE SEDIMENT YIELD ON THE SMALL RIVER IN THE FOOTHILL-LOWLAND ZONE OF THE BLACK SEA COAST OF THE CAUCASUS (USING THE EXAMPLE OF THE TSANYK RIVER)

NADEZDA N. IVANOVA*

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
nadine_iv@mail.ru
Address: Bld. 1, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia*

VALENTIN N. GOLOSOV

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
gollossov@gmail.com*

ANATOLIY S. TSYPLENKOV

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
atsyplenkov@gmail.com*

YULIA S. KUZNETSOVA

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
kuzylia@gmail.com*

DMITRIY V. BOTAVIN

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
dmitry.botavin@gmail.com*

Abstract: this study aims to evaluate features of the formation and sources of the basin component of the sediment yield during flash floods. Measuring campaigns were conducted in the weakly disturbed section of the Tsanyk River basin, located in the Greater Sochi area in the foothill-lowland zone of the Caucasus Black Sea coast. We used a set of field and calculation methods, including sediment dating with application of ^{137}Cs , pin method, Yang's method, erosion modeling and others techniques for determining the rate of denudation and deposition processes. We investigated the processes of local and long-distance sediment movement. It was established that the rate of creep is 2-2.2 cm/year, the intensity of scree processes varies depending on the rock types in the range 1-3.5 cm/year. The processes of sheet erosion and linear erosion contribute to the movement of part of the eroded material from the catchment area to the river channel. Four types of slopes and slope catchments are distinguished according to the features of a sediment delivery from the catchment area to the river channel. The average annual sedimentation rate in the gully fan is amounted to 2.3 cm/year since 1986. At the same time, on the basis of studying the accumulative deposits of the gully fan, including the content of the ^{137}Cs isotope in the different layers, it was established that the main sources of sediments are material produced by gully erosion, scree processes and slopes settling. 5-6 episodes of catastrophic sediment removal occurred in this particular slope catchment for 30-year period. The ratio between a sediment removal from the slope catchments to the river channel and the measured sediment yield in the Tsanyk River during the rain floods of low repeatability makes it possible to state that the basin component of sediment yield is at least 75% of the total. Information about the ratio of slopes and slope catchments of various types within the small river basins of the subtropical belt of the Black Sea coast of the Caucasus should be taken into account when calculating engineering structures for protecting infrastructure facilities from the impact of flash floods or mudflows.

Key words: denudation rates; flash-floods; sediment sources; sediment yield; basin component of sediment yield; subtropical belt

For citation: Ivanova N.N., Golosov V.N., Tsyplenkov A.S., Kuznetsova Yu.S., Botavin D.V., 2018. Sources of the basin component of the sediment yield on the small river in the foothill-lowland zone of the Black sea coast of the Caucasus (using the example of the Tsanyk River). *Engineering Survey*, Vol. XII, No. 7-8, pp. 62-74, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-7-8-62-74>.

Введение

Предгорно-низкогорная зона субтропического пояса Черноморского побережья Кавказа вследствие благоприятных ландшафтно-климатических условий является одной из наиболее освоенных среди горных территорий РФ. Большое количество осадков, их высокая интенсивность [4, 13] и расчлененный рельеф способствуют активному проявлению процессов денудации. Вносит существенный вклад и высокая сейсмичность региона. Эпицентры землетрясений силой до шести баллов сосредоточены в сравнительно узкой полосе вдоль Кавказского побережья Черного моря от г. Сочи до г. Батуми. Наиболее активными в сейсмическом отношении являются районы Сочи, Красной Поляны, Головинки и Лесного [2]. По другим оценкам

вся агломерация Большого Сочи относится к зоне девятибалльных сейсмических воздействий [11].

Данные мониторинговых наблюдений показывают, что вероятность формирования экстремальных или внезапных паводков (flash-floods), приносящих значительный материальный ущерб [10], наиболее велика в бассейнах малых рек [3]. Это связано с рядом причин природного и антропогенного характера. Компактность речного бассейна повышает вероятность выпадения единичного ливня высокой интенсивности над всем водосбором или его большей частью. Большие уклоны склонов и высокая степень расчленения линейными формами рельефа способствуют концентрации стока и быстрому добеганию воды и наносов в днище основ-

ной долины [15, 6]. Интенсивность и повторяемость экстремальных паводков усиливает высокая степень антропогенной нагрузки [5]. Комфортные природные условия обуславливают значительную освоенность такого рода водосборов, приводящую к увеличению коэффициентов поверхностного стока воды, а при значительной доле сельскохозяйственных угодий — и наносов [21, 18]. Совокупность перечисленных факторов, наряду с достаточно большими уклонами собственно русел водотоков, способствует высокой повторяемости дождевых паводков и достаточно частому проявлению внезапных паводков с большими рисками для разрушения инфраструктуры и даже гибели людей [15, 29, 22, 26]. Наличие на склонах и в днищах долин толщи рыхлообломочного



Рис. 1. Местоположение района работ

Fig. 1. Location of the study area

материала обуславливает насыщение паводочного потока наносами и может придавать ему свойства селя¹.

Изучению внезапных паводков в последние десятилетия посвящено большое количество исследований [20, 27, 17 и др.]. Однако в них явно недостаточно внимания уделяется выявлению источников наносов, формирующихся в пределах склонов речного водосбора. Между тем их вклад в сток наносов реки при прохождении внезапных паводков сопоставим, а во многих случаях и превышает долю собственно русловых размывов. Причем наименее изучены источники бассейновой составляющей стока наносов, образующихся вследствие проявления процессов денудации в пределах ненарушенных или слабонарушенных антропогенной деятельностью частей бассейна малых рек.

Прогноз частоты и разрушительной силы экстремальных эрозионных событий и проектирование мер защиты невозможны без исследования механизмов поступления в русла рек наносов,

формирующихся за счет различных процессов денудации на склонах водосборов. Целью данной работы является оценка особенностей формирования бассейновой составляющей стока воды и наносов и выявление путей транспортировки материала со склонов в днище речной долины в пределах слабо нарушенного участка бассейна малой реки Черноморского побережья Кавказа.

Объект исследования

Для детальных исследований выбран бассейн р. Цанык — типичной малой реки предгорно-низкогорной зоны Черноморского побережья Кавказа, расположенной в районе Большого Сочи (рис. 1). Ее исток находится в седловине между вершинами г. Пикет на высоте около 600 м над уровнем моря. Общая длина долины составляет около 12,5 км, перепад высот между истоком и устьем равен 572 м. Долина р. Цанык ориентирована субмеридианально, в основном вкост простираения геологических структур. Она сильно врезана,

на значительном протяжении имеет глубину 40–80 м и ширину 100–400 м. Продольный профиль реки вогнутый, близкий к выработанному, однако осложнен ступенями, обусловленными составом отложений флишевых толщ, прорезаемых потоком. В местах перегибов профиля долина расширяется (местами до одного километра), борта становятся более выположенными, иногда террасированными. В верхнем и среднем течении долина р. Цанык выработана в флишевых толщах палеогена, представляющих собой чередование аргиллитов, местами карбонатных, алевролитов, мергелей и песчаников. Во влажном климате субтропиков большая часть этих пород отличается высокой устойчивостью к процессам выветривания [2]. На склонах и в днище долины коренные породы перекрываются полигенетическими рыхлыми осадками различной мощности и состава — от тонких илистых до глыбово-валунных. Мощность рыхлого склонового чехла изменяется в диапазоне от 0,5

¹ Баринов А.Ю., 2009. Геоморфологическая оценка ливневой селеопасности Черноморского побережья России. Автореф. ... канд. геогр. наук, Москва.

до 1 м и зависит от уклона, скорости выветривания слагающих данный участок коренных пород и интенсивности процессов денудации.

Детальные исследования проводились на участке верхнего течения р. Цаньк, в наименьшей степени затронутом антропогенным воздействием. Небольшую площадь здесь занимают дачные участки, расположенные преимущественно на субгоризонтальных поверхностях террас, русло реки в трех местах пересекают грунтовые дороги. Основная часть территории находится под многоярусными колхидскими лесами с мощным подлеском и разреженным вследствие высокой затененности травянистым покровом. Леса подвергаются умеренной рекреационной нагрузке, в основном местным населением.

За более чем столетний период наблюдений за осадками (метеостанция Раздольное, с 1898 г.) [30] среднегодовое их количество составило около 1570 мм, при этом в последние полвека наблюдается явная тенденция к их увеличению. Если в конце 1950-х гг. фиксировалось в среднем 1450 мм/год, то среднемноголетняя величина осадков за период 1951–2014 гг. выросла до 1630 мм. Одновременно увеличивается размах колебаний между годами с максимальным и минимальным количеством осадков. В 1898–1950 гг. он составлял 956 мм, а в 1951–2014 гг. — 1235 мм. Отмечено и увеличение интенсивности выпадающих дождей. За весь период метеонаблюдений более 80% случаев выпадения интенсивных (110–245 мм/сутки) осадков крайне низкой обеспеченности (менее 0,1%) приходится на период 1951–2014 гг. Для оценки вероятности формирования паводков в разные сезоны был проведен анализ внутригодового распределения осадков, который показал, что максимум выпадения дождей наблюдается в сентябре, а минимум — в апреле — мае и августе.

В бассейне малой полугорной реки с невысокой сельскохозяйственной освоенностью водосбора, какой является р. Цаньк, доля бассейновой и русловой составляющих в стоке наносов бывает различной в периоды межени и дождевых паводков. В межень (преимущественно весной и в конце лета) основным поставщиком материала являются осыпные и обвальные процессы на подмываемых бортах русла. Причем сам процесс, например, отседания блоков террас или коренного берега может быть инициирован предыдущими дождевыми осадками, т.е. имеет место «отсрочка» его проявления.

Во время дождевых паводков активизируется вынос материала по притокам р. Цаньк, являющимися в своем большинстве временными водотоками. При этом в период паводков редкой обеспеченности вне зависимости от степени сопряженности устьев притоков с основной рекой большая часть выносимого из них материала достигает русла.

Материалы и методы

Для определения пространственного распространения и интенсивности проявления экзогенных процессов, являющихся источниками бассейновой составляющей стока наносов, выявления путей поступления материала в днище основной долины, а также скоростей размывов бортов русла, сложенных различными породами, использовался комплексный подход, включающий широкий набор методов.

Проведена детальная геоморфологическая съемка участка водосбора в верхнем течении р. Цаньк, определено пространственное положение основных источников формирования наносов и путей их транспортировки со склонов непосредственно в днище долины или в ее притоки. При помощи GPS съемки были выделены границы водосборов притоков р. Цаньк, и в полевых условиях проведена оценка степени их сопряженности с руслом основной реки.

Для определения динамики переформирования бортов русла р. Цаньк и конусов выноса притоков заложены стационары, проведены повторные детальные тахеометрические съемки конусов выноса оврагов-притоков. В период прохождения дождевого паводка, вызванного ливнем 1,5% обеспеченности в апреле 2015 г., на двух створах, расположенных в верховьях и на приустьевом участке реки, были проведены наблюдения за расходами воды и наносов.

Для определения темпов аккумуляции материала на участках поймы и на конусе выноса использовался радиоизотопный метод, основанный на выявлении темпов аккумуляции по результатам интерпретации эпюр вертикального распределения изотопа ^{137}Cs . Особенностью данного изотопа техногенного происхождения является то обстоятельство, что после выпадения из атмосферы, в основном с осадками, он быстро и прочно фиксируется на почвенных частицах и в дальнейшем переносится только совместно с ними. При этом на участках, не затронутых эрозионно-аккумулятивными процессами, максимум его содержания в почвенном профиле

располагается у поверхности на глубине 2–4 см, а затем быстро убывает, снижаясь практически до нуля на глубинах 15–25 см [28, 24]. Поэтому продукты плоскостного смыва с ненарушенных распашкой или другим антропогенным воздействием склонов при слабых и умеренных темпах смыва отличаются высоким содержанием ^{137}Cs , тогда как его концентрация в продуктах размыва оврагов, осыпей, оползней — минимальна [19].

В пределах Европейской части России в зонах аккумуляции наносов часто выделяются два пика ^{137}Cs , которые относятся к максимуму выпадения ^{137}Cs глобального (1963 г.) и чернобыльского (1986 г.) происхождения [8, 23]. Перед началом отбора проб делалось детальное описание строения аккумулятивной толщи с выделением горизонтов по различиям в механическом составе отложений и цвете, а также наличию разных включений. Отбор проб производился послойно с площади 15×15 см обычно через 3 см в верхней части разреза и через 5 см в нижней части отбираемой толщи. В разрезах, заложенных на поверхности пойменных сегментов с различными типами русла и на конусе выноса оврага, отобрано 65 образцов. Образцы высушивали, размалывали, взвешивали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм, далее в подготовленных для анализа пробах измеряли удельную концентрацию ^{137}Cs на коаксиальном германиевом гамма-спектрометре с погрешностью 5–10%. Для каждого разреза построена эпюра вертикального распределения концентрации ^{137}Cs , интерпретация которой позволила выделить толщу наносов, накопившуюся за период после чернобыльской аварии, то есть после 1986 г. Установленные таким образом темпы современной аккумуляции наносов дают представление об интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на различных участках днища долины р. Цаньк.

Темпы основных экзогенных процессов (выветривания, крипа, осыпных и суффозионных) определялись по результатам натурных наблюдений. Исследования медленного смещения рыхлого склонового чехла (крип) при помощи метода Янга были начаты в 1977 г. одним из авторов [1], в дальнейшем они периодически возобновлялись, с участием членов авторского коллектива, вплоть до начала XXI века [25]. Интенсивность суффозии и тоннельной эрозии оценивалась путем повторных из-

мерений параметров суффозионных воронок с помощью рулетки. Скорость осыпных процессов на дочетвертичных бортах долины, в том числе на подмываемых берегах реки, определялась с использованием метода шпилек. Также при помощи данного метода осуществлялось исследование темпов размыва бортов русла.

Определение интенсивности смыва со склонов проводилось расчетными методами с использованием эрозионных моделей (Универсального Уравнения Эрозии Почв и его модификаций) для различных сценариев формирования склонового стока (типичных и экстремальных) [14]. Также были проведены прямые наблюдения за особенностями формирования поверхностного стока на склонах непосредственно в период выпадения стокоформирующих ливней.

Факторы формирования бассейновой составляющей стока наносов

В условиях влажных субтропиков и высокого расчленения рельефа действует широкий набор экзогенных процессов, различающихся по интенсивности, площади проявления и дальности транспортировки материала. Одни из них, например, выветривание, действуют повсеместно и подготавливают материал для дальнейшего перемещения процессами денудации. Перенос подготовленного материала может быть локальным (крип, оползни и осыпи), а может осуществляться на значительные расстояния (тоннельная эрозия, плоскостной смыв, линейная эрозия временных водотоков).

В рассматриваемом регионе выветривание является одним из основных факторов дезагрегации дочетвертичных пород и формирования рыхлого чехла, который впоследствии подвергается воздействию процессов перемещения материала. Во влажном климате при высокой трещиноватости дочетвертичных пород [3] из-за сейсмичности района исследований, выветривание протекает достаточно интенсивно. Для определения его темпов авторами были проведены натурные эксперименты — взвешенные образцы наиболее широко распространенных пород в течение года экспонировались на поверхности и на глубине 30 см. В результате выявлено, что масса образцов аргиллитов, алевролитов и песчаников, располагавшихся на поверхности, уменьшилась на 6,6; 2,6 и 13,8% соответственно, а на глубине 30 см — на 10,4; 1,7 и 15,7% [25]. Таким

образом, в целом процессы выветривания идут несколько быстрее внутри рыхлообломочной толщи, хотя различия сравнительно невелики. Высокие темпы выветривания песчаников, по сравнению с другими породами, связаны, вероятно, с их сильной трещиноватостью. При этом полевые наблюдения позволяют сделать заключение о том, что на темпах выветривания наиболее значительно сказывается трещиноватость конкретного слоя флишевой толщи.

Процессом, распространенным повсеместно и перемещающим подготовленный выветриванием материал вниз по склону за счет совместного воздействия температурно-влажностных колебаний и силы тяжести, является медленное массовое смещение рыхлого чехла или крипа. Он развивается при широком диапазоне уклонов, в том числе очень небольших. Определение скоростей этого процесса с некоторыми перерывами проводилось нами в районе исследований с 1977 г. Средние величины, полученные для периодов разной продолжительности (1977–1980, 1980–1986 и 1980–2005 гг.) оказались вполне сопоставимыми (табл. 1). Это позволяет утверждать, что ранее установленные закономерности различий в темпах смещения рыхлообломочной толщи по глубине и в зависимости от уклона склона [1] справедливы в целом для низкогорно-предгорного пояса субтропической зоны Черноморского побережья Кавказа. Вследствие относительно невысоких скоростей для большей части склонов крип можно рассматривать как процесс локального перемещения, хотя в геологическом масштабе времени дальность переноса материала этим процессом может быть весьма значительной. Однако это не относится к наиболее крутым задернованным участкам бортов притоков. Здесь, благодаря большим уклонам, крип является важным поставщиком материала в днище.

Масштабы оползневой активности в районе Большого Сочи очень велики, причем еще в середине 1980-х гг. более 70% случаев локальных оползней было спровоцировано деятельностью человека [16]. В 2000-х гг. вклад антропогенной составляющей в активизацию оползней существенно увеличился [7, 9]. На исследуемом участке водосбора в настоящее время не отмечено значительного развития оползней, возможно, в силу небольшого антропогенного пресса, хотя локальные оползни-сплывы периодически происходят под лесом.

Овражная эрозия широко развита на исследуемом участке бассейна, большая часть оврагов прорезает коренной борт долины и выходит на пойму, на поверхности которой накапливаются пролювиальные отложения. При прохождении рядовых паводков вклад овражной эрозии в суммарный сток наносов крайне мал, и только при формировании экстремального стока овражные выносы начинают доминировать в бассейновой составляющей стока наносов. Подобная ситуация характерна и для материала, перемещаемого процессами плоскостного смыва. Сложная обстановка в долине р. Цаньк во время дождевого паводка 12.04.2015 г., вызванного ливнем 1,5% обеспеченности (за сутки выпало 60 мм осадков), не позволила провести полный цикл измерений мутности и расходов воды, поэтому восстановить точные характеристики паводка не представляется возможным. Однако обработка полученных данных показала, что при средней мутности потока около 14 г/м³ вклад русловой эрозии составил не более 12%, а в основном взвешенные наносы сформированы за счет материала, поступившего в русло с площади водосбора благодаря стоку временных водотоков из линейных понижений на склонах и плоскостному смыву.

В исследуемом регионе активно проявляются процессы суффозии и тоннельной эрозии. Регулярные наблюдения и измерения объемов системы труб, тоннелей, колодцев и других открытых форм, образованных в днище пологой ложбины (Селецкая щель, территория Большого Сочи), выполняемые авторами в течение ряда лет, показали, что в период интенсивного выпадения ливневых осадков по ним идет мощный подземный сток, приводящий к подмыванию стенок тоннелей. Впоследствии, уже в течение более сухого периода конца лета — начала осени, происходит полное или частичное обрушение кровли и стенок. Образовавшийся материал заполняет днища воронок и мелких русел, кроме того, имеет место оползание стенок отрицательных форм. Все это приводит к уменьшению их объема. В течение второй половины года осадки не очень обильные, но выпадают часто, что способствует поддержанию менее интенсивного, но постоянного подземного стока и постепенному выносу накопившегося рыхлого материала. Измерения показывают увеличение объема отрицательных форм [25]. Таким образом, как и в случае отседания склоно-

Таблица 1
Table 1

Темпы медленного смещения материала, мм/год (1977–1986 гг. — по данным [1]) Rates of creep, mm/year (1977–1986 — according to the data from [1])									
Период	1977–1980 гг.			1980–1986 гг.			1980–2005 гг.		
Смещение шпилек	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Верхняя часть склона	2,27	0,97	1,8	2,19	3,6	2,41	2,25	0,43	2,34
Нижняя часть склона	2,0	2,28	2,07	2,42	2,54	2,23	1,72	0,0	1,97

Примечание: 1 — смещение по падению склона; 2 — вертикальное смещение; 3 — суммарное смещение

вых блоков, имеет место «отсрочка» проявления процесса.

Важным источником наносов являются обвально-осыпные процессы на подмываемых крутых коренных бортах долины и сложенных пойменно-руслowym аллювием участках пойменно-террасового комплекса, а также на отдельных участках подмываемых бортов притоков основного русла. Продукты осыпания поступают непосредственно в русло, или накапливаются на поверхности поймы под осыпным склоном и могут быть опять вовлечены в процесс транспорта материала при катастрофических паводках. При этом сами по себе темпы обвально-осыпных процессов контролируются скоростью физико-химического выветривания слагающих склоны пород, а также землетрясениями, характерными для данной территории, но проявляющимися эпизодически. За период с 1884 по 1968 годы в Сочи произошло 67 макросейсмических событий, из которых восемь достигали силы до семи баллов. С 1948 по 1968 годы было отмечено около 100 местных землетрясений. Ежедневно сейсмостанция Сочи фиксирует несколько подземных толчков амплитудой до трех баллов [31]. Такого рода события не приводят к разрушениям, но служат спусковым механизмом для активизации многих экзогенных процессов.

Результаты наших стационарных измерений темпов размыва бортов русла р. Цаньк в течение четырех лет (2014–2017 гг.), которые могут быть уточнены при продолжении мониторинга, показали, что размыв идет со скоростью до 3–3,5 см/год на осыпных стенках, сложенных рыхлыми отложениями, и 1–1,5 см/год — на стенках, сформированных коренными породами. При прохождении паводков разной обеспеченности происходит размыв и подмыв бортов русла, сложенных рыхлообломочным материалом, что способствует их актив-

ному отступанию. На участках лобовой атаки зафиксированные скорости размыва составляют от 5 до 20 см/год в зависимости от мощности потока, на участках бокового подмыва темпы разрушения стенок несколько ниже. Надо отметить, что катастрофических паводков в исследуемой части бассейна р. Цаньк не было не только за время проведения мониторинга, но и в течение последних 30 лет, что подтверждается отсутствием аккумуляции на высокой пойме за послечернобыльский период по данным, полученным при помощи радиоцезиевого метода. При прохождении паводков низкой обеспеченности величины размывов могут быть существенно выше.

По особенностям формирования стока наносов и степени сопряженности с руслом реки Цаньк выделены следующие типы склонов и склоновых водосборов.

1. Практически нерасчлененные элементарные склоны, опирающиеся непосредственно на пойму или русло основной реки. В зависимости от крутизны и характера поверхности (скальные выходы, чехол рыхлых отложений) и расположения относительно русла реки (подмываемые или не подмываемые берега) они характеризуются преобладанием гравитационных процессов (обвалы и осыпи), медленного смещения материала (крип), плоскостного смыва. Рыхлый материал, мобилизованный плоскостным смывом, в основном переотлагается внутри склона.
2. Склоновые водосборы без четкого линейного понижения, обычно с небольшим овражным врезом перед выходом на пойму. В склоновой части характеризуются системой вторичных врезов, связанных между собой слабо выраженными в рельефе тальвегами. Врезание

временного русла происходит локально и провоцируется чаще всего биогенными факторами — размывом нор животных или искорей, образованных поваленными деревьями. Широкое развитие имеет тоннельная эрозия — на некоторых участках поверхностный сток переходит в подземное состояние, вызывая периодическое обрушение поверхности над «подземным» руслом. Вследствие отсутствия выраженной протяженной линейной эрозионной формы современный конус выноса на пойме практически не формируется, мобилизованный на склоне материал в основном переоткладывается внутри водосборов такого типа (к нему относится эрозионная форма на стационаре 2 — рис. 2).

3. Водосборы притоков-оврагов в основном без постоянного стока. Овраги прорезают борт долины, отличаются наличием отвершков, чаще всего представляющих собой пологосклонные ложбины без вторичных врезов, хорошо выраженным водосбором, ступенчатым руслом, локальным проявлением оползневой активности и процессов отседания на бортах. Устья обычно выходят на пойму р. Цаньк, формируя наложенный конус выноса. Система временных тальвегов на конусе выноса характеризуется большой динамичностью и может менять свои очертания при каждом эпизоде стока. Наносы, образующиеся в пределах таких водосборов, поступают в русло принимающей реки в основном только при крупных эрозионных событиях. К этому типу относится овраг на стационаре 1 (см. рис. 2).
4. Водосборы притоков с постоянным стоком — ручьев. Водотоки чаще всего имеют плохо вырабо-

таный продольный профиль (пожистое русло), долину V-образной формы с узким дном практически без развитой поймы. Постоянный сток зависит не столько от площади водосбора, сколько от характера обводненности геологических пород. В силу большей крутизны и меньшей длины склонов таких водосборов степень их транзитности выше, чем у нерасчлененных элементарных склонов, опирающихся непосредственно на русло или пойму основной реки. Притоки этого типа обладают наибольшей степенью сопряженности с руслом принимающей реки, т.к. прорезают пойму и впадают непосредственно в р. Цаньк. Морфология долин и русел свидетельствует об их преимущественно транзитном характере.

Выделенные по характеру проявления экзогенных процессов четыре типа склоновых водосборов представляют собой, в сущности, генетический ряд развития эрозионных форм — от практически нерасчлененного элементарного склона к склону с системой тальвегов и промоин, чаще всего повторяющих его продольный профиль, далее к водосбору оврага с отличным от склонового продольным профилем и к бассейну малой реки — притока. Заложение первичных форм линейной эрозии, вероятно, во многом обусловлено зонами повышенной трещиноватости коренных пород. Значительную роль играют также случайные факторы — наличие искорей, нор животных или возникновение любых других нарушений поверхности. Дальнейшая эволюция этих форм определяется потенциальной возможностью регрессивной и глубинной эрозии и наличием достаточной площади водосбора. Так, склоновые водосборы второго типа отличаются небольшой площадью, верхняя граница их не выходит за бровку основной долины, что существенно ограничивает объем стока. Для склоновых водосборов третьего типа характерно большое количество отвершков, верховья которых располагаются выше бровки основной долины и собирают сток со склонов междуречья.

По мере усиления степени расчлененности склонового водосбора, увеличения крутизны склонов усиливаются темпы практически всех процессов денудации (табл. 2). Рыхлый материал, подготовленный выветриванием или процессами локального переноса, перемещается на значительные расстояния

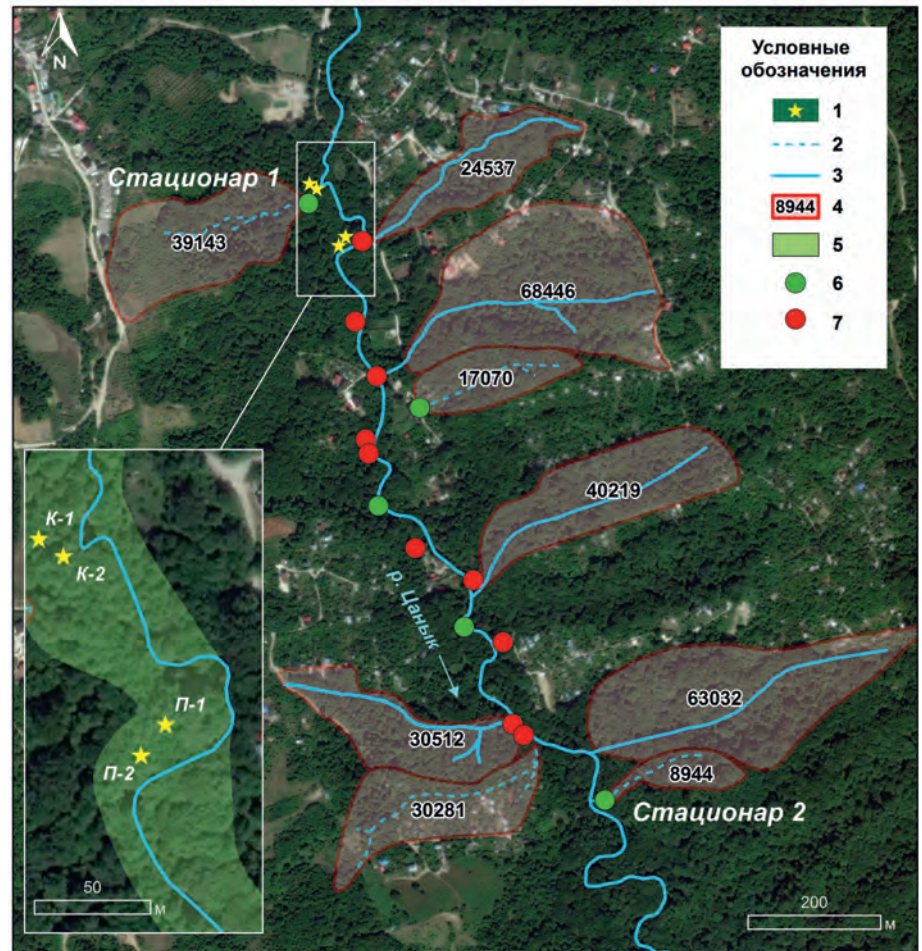


Рис. 2. Схема исследованной части водосбора р. Цаньк. Обозначения: 1 — точки отбора проб для определения концентраций изотопа ^{137}Cs ; 2 — временные водотоки; 3 — постоянные водотоки; 4 — площади водосборов детально исследованных притоков, м²; 5 — пойма р. Цаньк; 6 — устья притоков, выходящих на пойму р. Цаньк; 7 — устья притоков, выходящих в русло р. Цаньк

Fig. 2. Map of the study area of the catchment Tsanik River. Designations: 1 — sampling points for determining ^{137}Cs isotope concentrations; 2 — temporal watercourses; 3 — constant watercourses; 4 — catchment areas of research tributaries; 5 — Tsanik river floodplain; 6 — tributary mouth located at the Tsanik's floodplain; 7 — tributary mouth located at the Tsanik's channel

склоновым стоком (плоскостной смыв), а в случае его концентрации в тальвегах оврагов вместе с овражными выносами поступает непосредственно в русло основной реки. Немаловажную роль в увеличении скорости добега стока на водосборах притоков играет значительно меньшая, чем в основной долине, длина склонов. В общем случае, чем больше плотность расчленения, тем короче элементарные склоны водосборов-притоков, и тем быстрее склоновый сток добежит до русел притоков и попадет в основную реку.

Оценка темпов фактической аккумуляции в днище долины р. Цаньк была проведена с использованием радиоцезиевого метода в пределах наложенного на поверхность поймы конуса выноса берегового оврага и на участке поймы, расположенном вне зоны его влияния (стационар 1 — см. рис. 2). Установлено,

что темпы аккумуляции пролювия составляют в среднем 2,3 см в год. За послечернобыльский период в верхней части конуса (непосредственно у выхода оврага на пойму) накопилось более одного метра наносов, в центральном секторе, занимающем наибольшую площадь, — 60–80 см. В периферической части конуса выноса, подмываемой речным потоком, мощность слоя послечернобыльской аккумуляции составила не менее 30–50 см. Таким образом, суммарный прирост объема конуса за почти 30-летний период можно оценить в 1400–1600 м³ или 2000 т. Анализ эпюры вертикального распределения ^{137}Cs в толще пролювия (рис. 3, а) позволяет также сделать выводы об источниках наносов. Низкие концентрации изотопа в послечернобыльских отложениях свидетельствуют об их преимущественном формировании за счет обвально-осыпных и

Ранжирование склонов и склоновых водосборов бассейна р. Цаньк по соотношению долевого вклада различных экзогенных процессов и вкладу бассейновой составляющей в сток наносов реки
Ranking of slopes and slope catchments of the Tsanyk River basin on the ratio of the contribution of various exogenous processes and the contribution of the basin component to the river sediment yield

Типы склонов и склоновых водосборов	Экзогенный процесс	Нерасчлененные элементарные склоны	Типы склоновых водосборов		
			С фрагментарно выраженным тальвегом	С хорошо выраженным линейным врезом (оврагом)	С выработанным руслом с постоянным стоком
Плоскостной смыв		+	+	++	++
Крип		+	+	++	+++
Оползни и оплывины			+	++	+++
Тоннельная эрозия		+	+++	+	
Отседание блоков				+	++
Линейная эрозия			+	+++	++
Обвально-осыпные		+	+	++	+++

Примечание: *здесь и далее степень значимости экзогенного процесса в формировании бассейновой составляющей стока наносов реки при выпадении экстремальных ливней.

оползневых процессов на бортах и водосборе оврага, а также врезания самой овражной формы. Схожая ситуация с доминированием выноса из оврагов и крупных промоин наблюдалась и при исследовании аккумуляции наносов в днищах долин в предгорьях Тянь-Шаня [12].

За период проведения мониторинга зафиксирован один случай формирования значительного стока с аккумуляцией наносов мощностью 5–10 см, охватывающей 60–70% тела конуса выноса, и с отчетливыми следами поступления материала, выносимого временным водотоком из оврага, непосредственно в русло р. Цаньк (рис. 4). Описание разрезов, заложенных на конусе выноса, позволило выделить пять — шесть эпизодов экстремальной аккумуляции, случившихся за период с 1986 г. Можно с большой степенью достоверности предположить, что подобные и даже несколько большие по объему стока воды и наносов события, по крайней мере, в исследованной части бассейна, случались примерно раз в пять — шесть лет. Даже если принять коэффициент доставки наносов с водосбора оврага равным 10%, то минимальный вынос преимущественно взвешенных наносов в русло р. Цаньк за одно эрозионное событие составит не менее 30–35 т. При этом приведенная величина, вероятнее всего, является заниженной, поскольку натурные наблюдения во время эпизода экстремального стока показали, что в этой ситуации степень сопряженности устья оврага и основного русла резко увеличивается за счет формирования в теле конуса хорошо выраженных промоин глубиной 10–20 см (рис. 5).

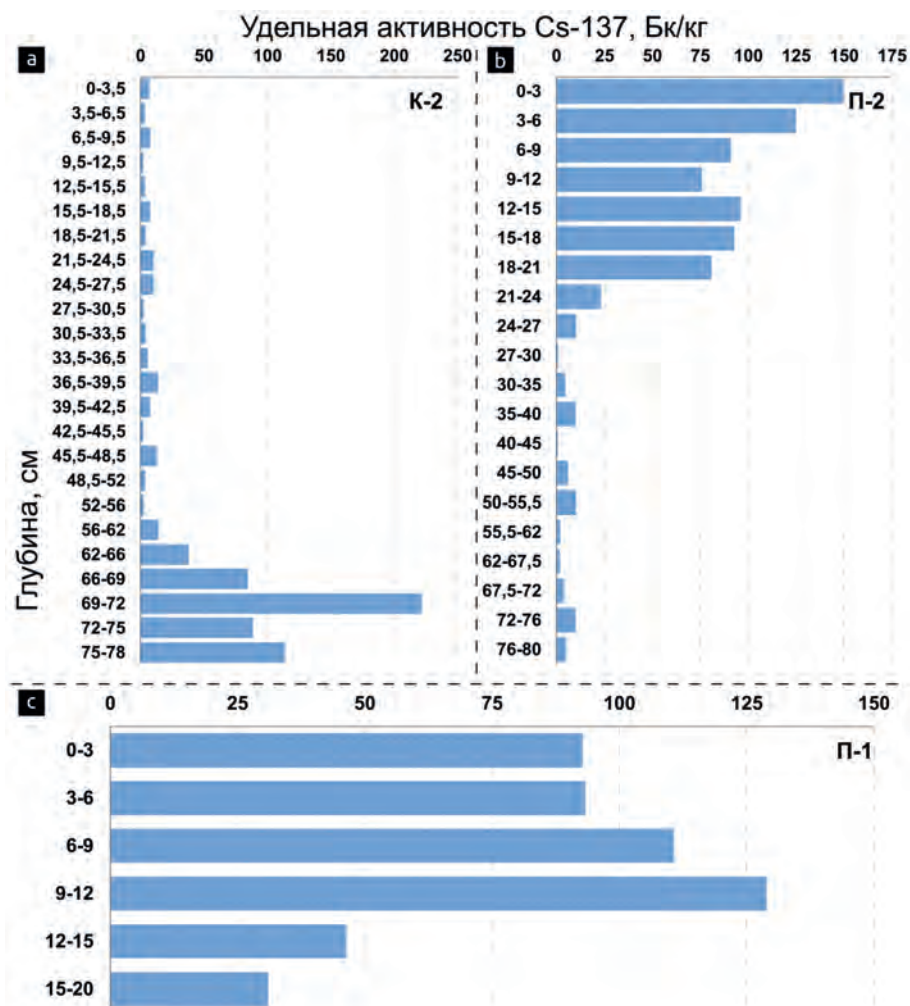


Рис. 3. Эпюры вертикального распределения удельной активности изотопа ^{137}Cs в отложениях конуса выноса оврага (а), поймы на участке прямолинейного русла (б), поймы на участке меандрирующего русла (с)

Fig. 3. Diagrams of the vertical distribution of ^{137}Cs inventories within gully cone (a), the floodplain in the section of the straight channel (b), the floodplain of meandering channel (c)

Таким образом, количество материала, поступающего с водосбора оврага (склоновый водосбор третьего типа) за одно эрозионное событие, практически

сопоставимо по величине с рассчитанными по эрозионной модели объемами плоскостного смыва, формирующимися в пределах всего бассейна р. Цаньк в течение года [14].

По результатам полевых исследований на изученном участке долины р. Цаньк выявлено 17 притоков с разной площадью водосбора (см. рис. 2). Устья девяти из них выходят непосредственно в русло р. Цаньк, т.е. характеризуются максимальной степенью сопряженности с основной рекой. В это число входят все крупные притоки-ручьи (водосборы четвертого типа). Остальные притоки, к которым относятся и овраг на стационаре 1, выходят на пойму. Тем не менее, наши наблюдения показали, что во время паводков такого рода притоки являются активными поставщиками наносов в русло, несмотря на максимальную для изученного отрезка долины ширину поймы на этом участке. Следовательно, подавляющая часть материала, формирующегося за счет размыва бортов и днищ притоков р. Цаньк, при прохождении экстремальных паводков поступает в русло основной реки, существенно превышая долю продуктов плоскостного смыва, которая невелика в связи с небольшой площадью пашни в бассейне.

Исследованная часть водосбора реки в основном находится под лесом, что многократно снижает поверхностный сток за счет лучшей водопроницаемости почв и перехвата значительной части выпадающих осадков кронами деревьев. Сказывается также и роль древесно-кустарниковой растительности и травяного покрова в уменьшении ударного воздействия капель дождя. Сравнение расчетов бассейновой составляющей стока наносов для рек Цаньк (Черноморское побережье Кавказа) и Сан-Леонардо (Сицилия), верифицированных по данным натурных наблюдений, показало, что объем материала, формирующегося на склонах сильно освоенного бассейна р. Сан-Леонардо, на два — три порядка превышает аналогичный показатель для относительно слабо освоенного бассейна р. Цаньк [14]. Оба бассейна расположены в субтропической зоне, при этом водосбор р. Цаньк характеризуется даже большим эрозионным потенциалом осадков.

Местом промежуточной аккумуляции наносов, поставляемых склоновыми водосборами второго и третьего типа, является поверхность поймы, куда выходят устья ряда эрозионных форм. Кроме того, во время сильных паводков,



Рис. 4. Поступление овражных наносов в русло р. Цаньк во время паводка, вызванного ливнем 1,5%-ной обеспеченности

Fig. 4. Gully-derived sediments income during hydrological event caused by rainfall of 1,5% occurrence



Рис. 5. Поток наносов на поверхности конуса выноса оврага во время паводка, вызванного ливнем 1,5%-ной обеспеченности

Fig. 5. Sediment flux at the gully cone surface during hydrological event caused by rainfall of 1,5% occurrence

когда вода частично или полностью затопливает пойму, обогащенный наносами поток в зависимости от морфометрии пойменной поверхности может здесь частично разгружаться. Для количественной оценки темпов пойменной аккумуляции за последние 30 лет и

определения источников поступления наносов был также использован радиоцезиевый метод.

В пределах прямолинейного отрезка русла фактическая аккумуляция наносов на поверхности поймы, достаточно удаленной от склонов долины, практически

отсутствует, по крайней мере, после 1986 г. (рис. 3, б). Следовательно, с 1986 г. на детально исследованном участке днища долины р. Цаньк не формировались паводки со стоком воды, превышающим пропускную способность русла между бровками пойменных яров. Косвенно об этом свидетельствует и наличие на пойме древостоя без каких-либо следов деформаций в нижней части стволов, которые могли бы возникнуть в случае воздействия насыщенного наносами потока. На участке меандрирующего русла на поверхности поймы отмечен слой аккумуляции мощностью около девяти сантиметров. Однако материал, накопившийся в разрезе над слоем с максимальным содержанием ^{137}Cs (чернобыльский пик выпадения ^{137}Cs в мае 1986 г.), характеризуется высокими концентрациями изотопа (см. рис. 3, б). Следовательно, это переложенные продукты плоскостного смыва, так как содержание ^{137}Cs на эродированных участках склона максимально в верхних 2–3 см почвы. Содержание изотопа ^{137}Cs во взвешенных наносах реки во много раз ниже, т.к. при высоких паводках значительную их часть составляет материал, формирующийся за счет овражных размывов, осыпных процессов, оползней и подмыва берегов, то есть источников наносов, в которых концентрация изотопа ^{137}Cs минимальна. Зафиксированная на пойме аккумуляция продуктов плоскост-

ного смыва подтверждает роль поймы как буферной зоны между склонами и руслом реки.

Заключение


Анализ результатов мониторинговых наблюдений в бассейне р. Цаньк (Черноморское побережье Кавказа) показал, что при формировании экстремальных паводков овражная эрозия является важным компонентом бассейновой составляющей стока наносов. При рядовых подъемах уровня ее вклад в суммарный сток наносов ничтожно мал, а доминирующую роль играют осыпные процессы на подмываемых берегах, сложенных рыхлообломочным материалом, и плоскостной смыв на склонах водосбора.

Соотношение выноса материала со склоновых водосборов и измеренного стока наносов в бассейне р. Цаньк в период формирования дождевого паводка низкой обеспеченности позволяет утверждать, что бассейновая часть стока наносов составляет не менее 75%.

Для водосборов малых горных и полугорных рек с относительно неширокой поймой во время эпизодов экстремально-го стока характерно резкое увеличение степени сопряженности притоков с основной рекой, что приводит к быстрому подъему уровня воды и формированию паводковой волны, насыщенной наносами, которые формируются как за счет ак-

тивизации процессов эрозии берегов и дна постоянных водотоков, так и резкого роста бассейновой составляющей стока наносов прежде всего за счет усиления темпов денудационных процессов на водосборах третьего и четвертого типов.

При невысоких подъемах уровня, когда вода не выходит за бровки пойменных яров, поверхность поймы служит местом промежуточной активной аккумуляции продуктов плоскостного смыва, поступающих со склонов. Таким образом, пойма является буферной зоной между склонами водосбора и руслом реки.

Для малых рек Черноморского побережья Кавказа с незначительной антропогенной нагрузкой на водосборе соотношение площадей водосборов и склонов различного типа (по степени доставки наносов бассейнового происхождения в русло реки) во многом определяет вклад бассейновой составляющей в сток наносов, формирующийся при прохождении внезапных паводков. Это следует учитывать при расчетах инженерных сооружений по защите инфраструктурных объектов от воздействия такого рода природных явлений. 

Работа выполнена по плану научно-исследовательских работ НИЛ эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева и при финансовой поддержке РФФИ (16-05-00815).

Список литературы

1. Ажигиров А.А., Голосов В.Н., 1990. Оценка медленного смещения почвенно-грунтовых масс при инженерно-географических исследованиях. Геоморфология, № 1, с. 33–40.
2. Ефремов Ю.В., Шумакова А.А., 2013. Морфолитодинамические условия формирования селевых потоков на Северо-Западном и Западном Кавказе. Геология, география и глобальная энергия, № 3 (50), с. 158–168.
3. Куксина Л.В., Голосов В.Н., Кузнецова Ю.С., 2017. Ливневые паводки в горах: изученность, распространение, факторы формирования. География и природные ресурсы, № 1, с. 25–35.
4. Ларионов Г.А., 1993. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. Издательство МГУ, Москва.
5. Магрицкий Д.В., 2014. Пространственно-временные характеристики наводнений на Черноморском побережье Российской Федерации. Вестник Московского университета, Серия 5 География, № 6, с. 39–47.
6. Магрицкий Д.В., Алексеевский Н.И., Крыленко И.Н., 2013. Риски наводнений в низовьях и устьях рек Черноморского побережья России. Материалы Всероссийской научной конференции, Новочеркасск, 2013, с. 181–187.
7. Мальнева И.В., Крестин Б.М., Гонсировский Д.Г., Кононова Н.К., 2008. Оценка естественной и техногенной активизации опасных геологических процессов в горных районах интенсивного хозяйственного освоения (на примере территории Большого Сочи и Красной Поляны). Разведка и охрана недр, № 6, с. 29–33.
8. Маркелов М.В., Голосов В.Н., Беляев В.Р., 2012. Изменение темпа аккумуляции наносов на поймах малых рек в центре Русской равнины. Вестник Московского университета, Серия 5 География, № 5, с. 70–76.
9. Минина М.В., Королев В.А., 2015. Типизация оползней долины реки Мзымта с целью обоснования инженерной защиты. Инженерная геология, № 2, с. 28–40.
10. Панов В.Д., Базелюк А.А., Лурье П.М., 2012. Реки Черноморского побережья Кавказа: Гидрография и режим стока. Донской издательской дом, Ростов-на-Дону.
11. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Шварев С.В., Лутиков А.И., Новиков С.С., 2008. Оценка уровня сейсмической опасности района Большого Сочи в связи со строительством олимпийских объектов. Геориск, № 4, с. 6–12.

12. Сафаров Х.Н., Маркелов М.В., Голосов В.Н., Вольфграмм Б., 2014. Оценка темпов перераспределения наносов на склонах малого водосбора лессового пояса Таджикистана на основе использования радиоцезиевого метода. *Геоморфология*, № 1, с. 53–65.
13. Ткаченко Ю.Ю., 2012. Опасные гидрометеорологические явления на Черноморском побережье, связанные с выпадением сильных осадков. Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей. Триумф, Москва, с. 43–46.
14. Цыпленков А.С., Голосов В.Н., Кукушина Л.В., 2017. Оценка бассейновой составляющей стока взвешенных наносов в малых речных бассейнах сухих и влажных субтропиков при экстремальном стоке. *Инженерные изыскания*, № 9, с. 54–65.
15. Шныпарков А.Л., Колтерманн П.К., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Перов В.Ф., Колтерманн К.П., 2012. Селевой риск на черноморском побережье Кавказа. *Геориск*, № 4, с. 20–25.
16. Annual report on monitoring of exogenic processes dynamics within the Caucasian Black Sea coast (Krasnodar region), 1985. Sochi.
17. Barrera A., Llasat M.C., Barriendos M., 2006. Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1351 to 2005. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, No. 6, pp. 505–518.
18. Borga M., Stoffel M., Marchi L., Marra F., Jakob M., 2014. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, No. 518B, pp. 194–205.
19. Collins A.L., Walling D.E., and Leeks G.J.L., 1997. Source type description for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. *Catena*, Vol. 29, pp. 1–27.
20. Costa J.E., 1988. Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. *Flood Geomorphology*, in Baker V.R., Kochei R.C., Patton P.C. (eds.). Chichester: John Wiley and Sons, pp. 113–122.
21. Gaume E., Borga M., 2008. Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations. *Journal of Flood Risk Management*, No. 1(4), pp. 175–189.
22. Gaume E., Valerie B., Pietro B., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaskovicova L., Bloschl G., Borga M., Dumitrescu A., Daliakopoulos J., Garcia J., Irimescu A., Kohnova S., Koutroulis A., Marchi L., Matreata S., Medina V., Preciso E., Sempere-Torres D., Stancalie G., Szolgay J., Tsanis I., Velasco D., and Viglione A., 2009. A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*, Vol. 367, pp. 70–78, <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028>.
23. Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V., 2013. Application of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia. *Hydrological Processes*, No. 27, pp. 807–821.
24. Kirchner G., Strebl F., Bossew P., Ehlken S., Gerzabek M.H., 2009. Vertical migration of radionuclides in undisturbed grassland soils. *Journal Environ. Radioact.*, No. 100, pp. 716–720.
25. Kuznetsova Y.S., Grigoreva T.M., Golosov V.N., Markelov M.V., Derkach A.A., Bolysov S.I., 2012. Monitoring of exogenic geomorphic processes in urban areas of the Sochi region, the Caucasian Black sea coast. *Antropopresja w wybranych sirefach morfoklimatycznych — zapis zmian w rzezbie i osadkach*, Sosnowec, 2012, pp. 226–230. (in Poland).
26. Llasat M.C., Llasat-Botija M., Prat M.A., Porcu F., Price' C., Mugnai A., Lagouvardos K., Kotroni V., Katsanos D., Michaelides S., Yair Y., Savvidou K. and Nicolaides K., 2010. High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database. *Adv. Geosci.*, Vol. 23, pp. 47–55, <http://doi.org/10.5194/adgeo-23-47-2010>.
27. Montz B. E. and Grunfest E., 2002. Flash flood mitigation: recommendations for research and applications. *Environ. Hazards*, No. 4, pp. 15–22.
28. Owens P.N., Walling D.E., He Q., 1996. The behaviour of bomb-derived caesium-137 fallout in catchment soils. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 32, pp. 169–191.
29. Petrović A., Kostadinov S., Dragičević S., 2014. The inventory and characterization of torrential flood phenomenon in Serbia. *Pol. Journal of Environ. Stud.*, No. 23, pp. 823–830.
30. Веселов В.М., Прибыльская И.Р. Автоматизированная Информационная Система Обработки Режимной Информации (АИСОРИ). URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения: 09.10.2018).
31. Портал Око Планеты, 2018. URL: <https://oko-planet.su> (дата обращения: 17.09.2018).

References

1. Azhigirov A.A., Golosov V.N., 1990. Estimation of the slow displacement of soil and soil masses in engineering-geographical studies. *Geomorphology*, No. 1, pp. 33–40. (in Russian)
2. Efremov Yu.V., Schumakova A. A., 2013. Morpholodidynamic conditions of mudflow formation on the Nord-Western and Western Caucasus. *Geology, Geography and Global Energy*, No. 3(50), pp. 158–168. (in Russian)
3. Kuskina L.V., Golosov V.N., Kuznetsova Yu.S., 2017. Cloudburst floods in mountains: state of knowledge, occurrence, factors of formation. *Geography and Natural Resources*, No. 1, pp. 25–35. (in Russian)
4. Larionov G.A., 1993. Erosion and deflation of soils. Moscow State University Publishing House, Moscow. (in Russian)
5. Magritskii D.V., 2014. Spatial-temporal parameters of floods at the black sea coast of the Russian Federation. *Bulletin of Moscow State University, Series 5, Geography*, No. 6, pp. 39–47. (in Russian)

6. Magritskii D.V., Alekseevskii N.I., Krylenko I.N., 2013. Flood risks in the downstreams and estuaries of Black sea coast rivers. Materials of the All-Russian Scientific Conference, Novocherkassk, 2013, pp. 181–187. (in Russian)
7. Malneva I.V., Krestin B.M., Gonsirovskii D.G., Kononova N.K., 2008. Assessment of activization of hazardous geological processes in the area of Major Sochi and Krasnaya Polyana. Prospect and protection of mineral resources, No. 6, pp. 29–33. (in Russian)
8. Markelov M.V., Golosov V.N., Beliaev V.R., 2012. Changes in the sedimentation rates on the floodplains of small rivers in the central Russian Plain. Bulletin of Moscow State University, Series 5, Geography, No. 5, pp. 70–76. (in Russian)
9. Minina M.V., Korolev V.A., 2015. Typification of landslides in the Mzymta river valley for the purpose of substantiation of engineering protection. Engineering Geology, No. 2, pp. 28–40. (in Russian)
10. Panov V.D., Bazeliuk A.A., Lure P.M., 2012. The rivers of the Caucasus Black Sea coast: hydrography and hydrological regime. Don Publishing House, Rostov-on-Don. (in Russian)
11. Rogozhin E.A., Ovsutshenko A.N., Shvarev S.V., Lutikov A.I., Novikov S.S., 2008. Seismic hazard level estimation of the region of Big Sochi in relation to the construction of Olympic buildings. Georisk, No. 4, pp. 6–12. (in Russian)
12. Safarov Kh.N., Markelov M.V., Golosov V.N., Volfgang B., 2014. An assessment of sediment redistribution on the slopes of small catchment in the loess zone of Tadjikistan by using radiocesium dating. Geomorphology, No. 1, pp. 53–65. (in Russian)
13. Tkachenko Iu.Iu., 2012. Hazardous hydrological and meteorological events due to heavy rainfall at the Black Sea coast. Natural and social risks in the coastal zone of the Black and Azov Seas. Triumph, Moscow, pp. 43–46. (in Russian)
14. Tsyplenkov A.S., Golosov V.N., Kuksina L.V., 2017. Assessment of basin component of suspended sediment yield generated due to rainfall events at small rivers in wet and dry subtropics. Engineering Surveys, No. 9, pp. 54–65. (in Russian)
15. Shnyarkov A.L., Koltermann K.P., Seliverstov Iu.G., Sokratov S.A., Perov V.F., 2012. Debris flows risk in the caucasian black sea coastal zone. Georisk, No. 4, pp. 20–25. (in Russian)
16. Annual report on monitoring of exogenic processes dynamics within the Caucasian Black Sea coast (Krasnodar region), 1985. Sochi.
17. Barrera A., Llasat M.C., Barriendos M., 2006. Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1351 to 2005. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., No. 6, pp. 505–518.
18. Borga M., Stoffel M., Marchi L., Marra F., Jakob M., 2014. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: flash floods and debris flows. Journal of Hydrology, No. 518B, pp. 194–205.
19. Collins A.L., Walling D.E., and Leeks G.J.L., 1997. Source type description for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. Catena, Vol. 29, pp. 1–27.
20. Costa J.E., 1988. Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. Flood Geomorphology, in Baker V.R., Kochei R.C., Patton P.C. (eds.). Chichester: John Wiley and Sons, pp. 113–122.
21. Gaume E., Borga M., 2008. Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations. Journal of Flood Risk Management, No. 1(4), pp. 175–189.
22. Gaume E., Valerie B., Pietro B., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaskovicova L., Bloschl G., Borga M., Dumitrescu A., Daliakopoulos J., Garcia J., Irimescu A., Kohnova S., Koutroulis A., Marchi L., Matreata S., Medina V., Preciso E., Sempere-Torres D., Stancalie G., Szolgay J., Tsanis I., Velasco D., and Viglione A., 2009. A compilation of data on European flash floods. Journal of Hydrology, Vol. 367, pp. 70–78, <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028>.
23. Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V., 2013. Application of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia. Hydrological Processes, No. 27, pp. 807–821.
24. Kirchner G., Strebl F., Bossew P., Ehlken S., Gerzabek M.H., 2009. Vertical migration of radionuclides in undisturbed grassland soils. Journal Environ. Radioact., No. 100, pp. 716–720.
25. Kuznetsova Y.S., Grigoreva T.M., Golosov V.N., Markelov M.V., Derkach A.A., Bolysov S.I., 2012. Monitoring of exogenic geomorphic processes in urban areas of the Sochi region, the Caucasian Black sea coast. Antropopresja w wybranych siefach morfoklimatycznych — zapis zmian w rzezbie i osadkach, Sosnowec, 2012, pp. 226–230. (in Poland).
26. Llasat M.C., Llasat-Botija M., Prat M.A., Porcu F., Price C., Mugnai A., Lagouvardos K., Kotroni V., Katsanos D., Michaelides S., Yair Y., Savvidou K. and Nicolaidis K., 2010. High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database, Adv. Geosci., Vol. 23, pp. 47–55, <http://doi.org/10.5194/adgeo-23-47-2010>.
27. Montz B. E. and Grunfest E., 2002. Flash flood mitigation: recommendations for research and applications. Environ. Hazards, No. 4, pp. 15–22.
28. Owens P.N., Walling D.E., He Q., 1996. The behaviour of bomb-derived caesium-137 fallout in catchment soils. J. Environ. Radioact., Vol. 32, pp. 169–191.
29. Petrović A., Kostadinov S., Dragičević S., 2014. The inventory and characterization of torrential flood phenomenon in Serbia. Pol. Journal of Environ. Stud., No. 23, pp. 823–830.
30. Veselov V.M., Pribil'skaya I.R. Automated Information System of Monitoring Observations Processing (AISORI). URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (accessed: 09 October 2018). (in Russian)
31. Eye of the Planet, 2018. URL: <https://oko-planet.su> (accessed: 17 September 2018). (in Russian)

Информация об авторах

ИВАНОВА НАДЕЖДА НИКОЛАЕВНА

Старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, Россия

ГОЛОСОВ ВАЛЕНТИН НИКОЛАЕВИЧ

Ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.н., г. Москва, Россия

ЦЫПЛЕНКОВ АНАТОЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

КУЗНЕЦОВА ЮЛИЯ СЕРГЕЕВНА

Научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, Россия

БОТАВИН ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ

Старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, Россия

Information about the authors

NADEZDA N. IVANOVA

Senior research scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, Russia

VALENTIN N. GOLOSOV

Leading research scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geography), Moscow, Russia

ANATOLIY S. TSYPLENKOV

Junior research scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

YULIA S. KUZNETSOVA

Research scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, Russia

DMITRIY V. BOTAVIN

Senior research scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, Russia

