



Количественная оценка антропогенного воздействия на активизацию селевых процессов в малых водосборах хр. Аибга (район пос. Красная Поляна)

С.В. Шварев^{1,2}, С.В. Харченко^{3,1}, В.Н. Голосов^{3,1}, М.И. Успенский³

¹Институт географии РАН, Москва, Россия, shvarev@igras.ru

²Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия, shvarev@ifz.ru

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. Одной из основных задач исследования является количественная оценка вклада современных климатических изменений и усиления антропогенного пресса в увеличение доли бассейновой составляющей в сток наносов рек. Тестовым полигоном для исследований выбрана площадь на левом борту долины р. Мзымта в районе курорта Роза-Хутор. Эта территория обладает характерными чертами, позволяющими оценить основные факторы, влияющие на денудацию. С одной стороны, участок типичен по показателям современных климатических изменений. С другой – подвержен интенсивным тектоническим воздействиям, активизирующим крупномасштабные смещения склонового чехла. А с третьей стороны – участок является ареной интенсивного техногенного воздействия с четкими временными маркерами, одним из которых является этап освоения территории в ходе подготовки Олимпиады-2014 и последующего развития инфраструктуры и спортивно-туристических объектов. В пределах тестового полигона выбран типичный малый водосбор (долина ручья Сулимовский), на примере иерархической структуры которого осуществлена количественная оценка изменений рельефа, интенсивности денудационно-аккумулятивных процессов с применением дистанционного мониторинга и цифрового моделирования. С использованием БПЛА и DGPS составлены ортофотопланы и цифровые модели местности ключевых участков. Для каждого селевого водосбора оценена трансформация площади водосбора, обусловленная сооружением дорог и инфраструктурных объектов, и на основе сопоставления ЦМР для данных водосборов на момент времени перед началом строительства и на сентябрь 2019 года определены объёмы (с различной точностью в зависимости от детальности ЦМР) механического перемещения грунта и денудации за счёт активизации склоновых и водно-эрозионных процессов. Данные дешифрирования верифицированы на местности. На основании этих данных определены основные причины активизации денудационных процессов, локализованы участки с опасной ситуацией и даны рекомендации по исправлению ситуации.

Ключевые слова: малый водосбор, активизация селей, БПЛА, ЦМР, дистанционный мониторинг, Мзымта, Роза-Хутор

Ссылка для цитирования: Шварев С.В., Харченко С.В., Голосов В.Н., Успенский М.И. Название. 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. 529–540.

Quantitative assessment of anthropogenic impact for debris flow activation in small catchments of the Aibga Ridge (Krasnaya Polyana village area)

S.V. Shvarev^{1,2}, S.V. Kharchenko^{3,1}, V.N. Golosov^{3,1}, M.I. Uspensky³

¹*Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, shvarev@igras.ru*

²*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, shvarev@ifz.ru*

³*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

Abstract. One of the main tasks of the study is to quantify the contribution of modern climate changes and enlarged anthropogenic pressure to the increase in the share of the basin component of river sediment runoff. The area on the left side of the Mzymta river valley close to the Rosa Khutor resort was chosen as a test site for research. The area has characteristic features that allow us to assess the main factors affecting denudation. On the one hand, the site is typical in terms of modern climate change. On the other hand, it is subject to intense tectonic influences that activate large-scale displacements of the slope cover. On the third hand, the site is an arena of intensive technogenic impact with clear time markers, one of which is the stage of development of the territory during the preparation of the 2014 Olympics and the subsequent development of infrastructure and sports and tourist facilities. A typical small catchment area within the test polygon (the valley of the Sulimovsky stream), was selected using the features of its hierarchical structure. The quantitative assessment of changes in terrain and intensity of denudation-accumulative processes was performed using remote monitoring and digital modelling. Orthophotographs and digital elevation models of key areas were compiled using UAV and DGPS. The transformation of each mudflow catchment caused by the construction of roads and infrastructure facilities was estimated on the comparison of the DEM at the time before construction and in September 2019. The volumes of mechanical movement of soil and denudation due to the activation of slope and water-erosion processes were determined (with varying accuracy depending on the detail of the DEM). Data interpretation was verified on the ground and based on these data, the main reasons for the activation of denudation processes were identified, areas with a dangerous situation were localized, and recommendations were made to correct the situation.

Key words: *small catchment area, debris flow activation, UAV, DEM, remote monitoring, Mzymta, Rosa Khutor*

Cite this article: Shvarev S.V., Kharchenko S.V., Golosov V.N., Uspensky M.I. Quantitative assessment of anthropogenic impact for debris flow activation in small catchments of the Aibga Ridge (Krasnaya Polyana village area). 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. 529–540.

Введение

Долина р. Мзымты обладает высоким потенциалом развития опасных экзогенных процессов, связанным с высококонтрастным рельефом, слабоустойчивым коренным субстратом и большим объемом рыхлого чехла, значительным количеством осадков, высокими скоростями вертикальных тектонических движений и сильной сейсмичностью. Крупные селевые и оползневые катастрофы являются серьезным рельефообразующим фактором, в природных условиях проявляющимся относительно редко и связанным с исключительными гидрометеорологическими или

сейсмотектоническими событиями. До определенной степени устойчивое состояние поддерживалось естественным растительным покровом, регулирующим распределение поверхностного и подземного стока воды. Активное строительство на склонах хр. Аибга привело к масштабным преобразованиям естественных ландшафтов на водосборе р. Мзымты и кардинально изменило режим формирования стока на водосборах ручьев разной водности, дренирующих левобережную часть водосбора реки в районе п. Эсто-Садок и выше по течению вплоть до впадения р. Пслух. Перестройка малых водосборов, произошедшая в связи с сооружением объектов инфраструктуры, многократное увеличение и искусственная локализация поверхностного стока привели к резкой активизации геоморфологических процессов, в частности, селевых. Следы их (несортированные наносы по днищам небольших долин и лотков, поваленный лес, глубокие врезы, сопровождаемые оползнями) регистрируются по всей периферии отрога хр. Аибга, на северной оконечности которого стоит Горная олимпийская деревня (абс. высоты 1100 – 1250 м). Основной целью исследований является количественная оценка денудации, связанной с естественными и антропогенными причинами. Задачи работы – сопоставление динамики процессов за разные периоды времени и в разных масштабах, определение факторов, воздействующих на денудацию, и оценка скоростей и объемов стока наносов.

Объекты исследования

Район исследований расположен на левом борту долины р. Мзымта и включает тестовый полигон площадью 25,2 км² с несколькими объектами мониторинга: бассейн ручья Сулимовский (S=6,9 км²), бассейн правого притока ручья Сулимовский в районе курорта Роза Хутор (S=0,8 км²) и четыре ключевых участка для детальных исследований – «Сулимовский» (№1, S=0,2 км²), «Селевой» (№2, S=0,16 км²), «Овражный» (№3, S=0,13 км²) и «Притрассовый» (№4, S=0,38 км²). Участки выбраны с учетом естественной иерархии и «ярусного» моделирования на 4-х уровнях в масштабах 1:25000-1:10000; 1:10000-1:5000; 1:5000-1:2500; 1:2500-1:1000 (рис. 1).

Развитие селевых процессов на территории исследований определяется благоприятным сочетанием ландшафтных, геоморфологических, климатических и геологических факторов (рис. 2). В естественных условиях в постоянном (с ежегодной активизацией) и коротко-периодичном (до первых десятков лет) режиме здесь развиваются обвально-осыпные, лавинные, солифлюкционные процессы в верхних ярусах рельефа и оползневые, селевые и эрозионные – в средних и нижних. При этом площадь регулярно поражаемых территорий не превышает первых процентов от общей площади.

Не является исключением и водосбор ручья Сулимовский, правобережные притоки которого развиваются в крупных оползневых цирках, а основное русло обладает типичными для воздействия селей чертами рельефа: транзитный селевой лоток в верхней части, терраса и конус выноса в устье. Морфологически выраженные черты экзогенной геодинамики практически не проявляются в почвенно-растительном покрове, что свидетельствует об их редко-периодическом проявлении, при котором происходит полное восстановление леса. В оценке активизации крупных оползневых и селевых проявлений в бассейне руч. Сулимовский можно ориентироваться на периодичность около 1 тыс. лет, установленной для других участков в долине р. Мзымта [Овсюченко и др., 2016].

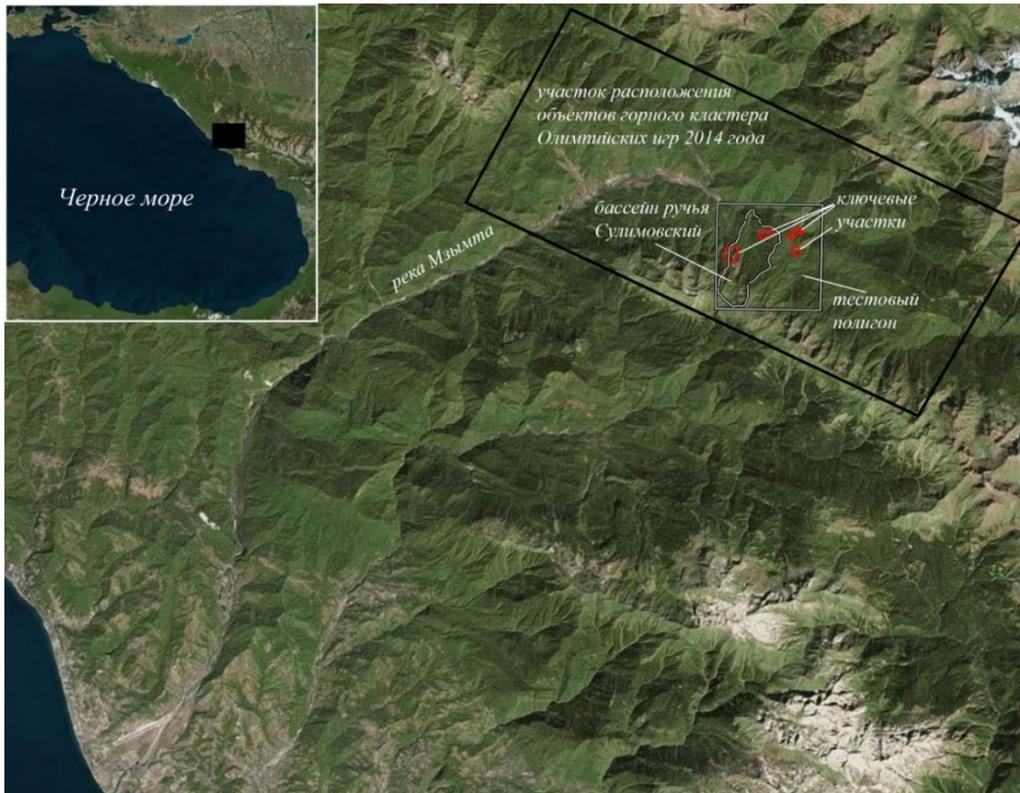


Рис. 1. Схема расположения тестового полигона и ключевых участков

Fig. 1. Scheme of the test polygon and of the key areas

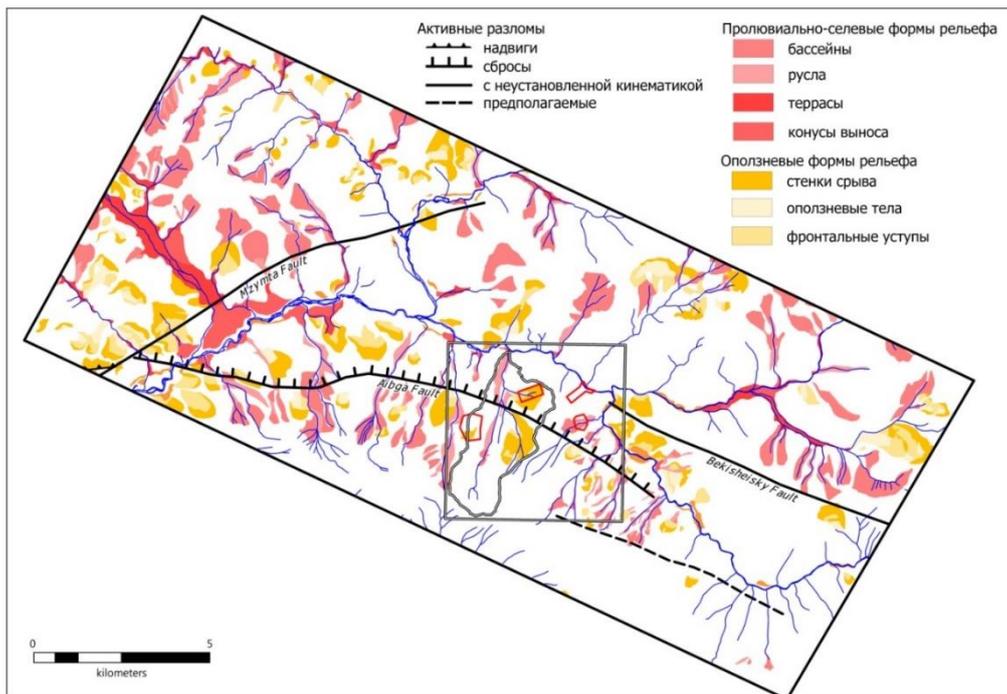


Рис. 2 Схема соотношения активных тектонических структур [Овсюченко и др., 2013; Овсюченко и др., 2016] и проявлений ЭГП [Шварев, 2009]

Fig. 2 Relationship of active tectonic structures [Ovsyuchenko et al., 2013; Ovsyuchenko et al., 2016] and of exogenic processes manifestations [Shvarev, 2009]

Материалы и методы

Оценка воздействия антропогенной деятельности на активизацию экзогенных процессов, мониторинг и расчет изменений в режиме денудации выполнена на основе сравнения иерархически соподчиненных бассейнов. Масштабный диапазон исследований (1:1000 до 1:25000) лимитируется с одной стороны детальностью разрешения $\approx 0,5$ м для оценки взаимодействия элементов структуры естественных и искусственных объектов, а с другой стороны – потребностями исследования селевых водосборов как единых систем. Временной диапазон ограничивается началом активного освоения (2006 г.) и актуальным состоянием (сентябрь 2019 г.). Для сравнения использованы материалы аэрофотосъемки и лазерного сканирования 2006 г. (выполнены ООО «Инжгео», г. Краснодар), космических съемок 2019 г. (сервис GOOGLE) и съемок с БПЛА DJI Mavic Pro.

На основе космических и аэрофотоснимков построены ортофотопланы 2006 и 2019 гг., а на базе материалов лазерного сканирования и аэрофотосъемки с БПЛА – ЦМР и ЦММ (рис. 3). В целях создания ЦММ установлены реперы по данным DGPS. Для верификации данных дешифрирования выполнены рекогносцировочные маршруты и обследования ключевых участков. Оценка антропогенной трансформации и экзогенной динамики, изменение пространственной структуры бассейнов и отдельных водотоков, расчет изменений площадей и объемов перемещенного материала проведен на основе сопоставления и точного совмещения ортофотопланов с использованием ГИС-технологий на всех иерархических уровнях, а с использованием ЦМР и ЦММ – на ключевых участках.

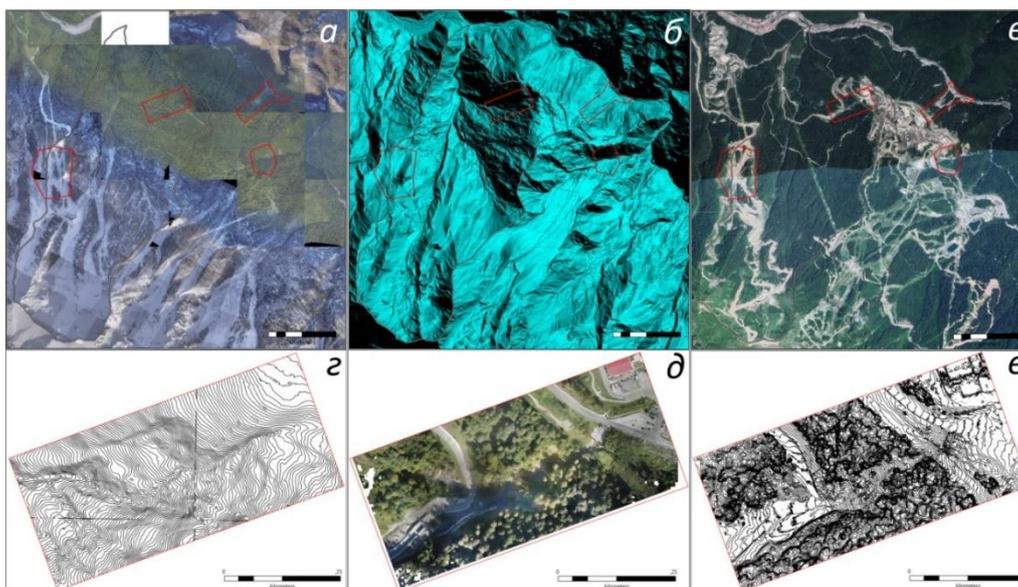


Рис. 3. Исходные материалы для анализа, тестовый полигон: а – монтаж аэро-ортофотоснимков 2006 г.; б – ЦМР, созданная по результатам съемки LIDAR (выполнена в 2006 г. ООО «Инжгео», г. Краснодар), в – монтаж космоснимков высокого разрешения (сервис GOOGLE, съемка 2019 года); ключевой участок №1 (правый приток ручья Сулимовский): г – топографическая схема с сечением горизонталей 2 м (по данным LIDAR 2006 г.); д – ортофотоснимок (по материалам съемки БПЛА, сентябрь 2019 г.); е – топографическая схема с сечением горизонталей 2 м (по данным БПЛА-съемки, 2019 г.)

Fig. 3. Initial data for analysis, test polygon: a - the combination of aerial orthophotos of 2006; б - DEM created based on the results of LIDAR survey (performed in 2006 LLC "Ingeo", Krasnodar), в - the combination of high-resolution satellite images (GOOGLE service, shooting 2019); key section #1 (right tributary of the Sulimovsky stream): г - a topographic scheme with contour lines of 2 m (according to LIDAR 2006); д - orthophotos (based on UAV shooting, September 2019); e - the topographic scheme with contour lines of 2 m (according to UAV shooting, 2019)

Результаты исследований

Тестовый полигон и бассейн ручья Сулимовский. По состоянию на 2006 г. на территории тестового полигона антропогенное воздействие (рис. 4а) затронуло около 5% площади и было распределено неравномерно с максимумом в его западной части, где на тот момент существовали объекты горнолыжной инфраструктуры. Следы активных экзогенных процессов (рис. 4б) занимали около 0,1%. К 2019 г. антропогенная трансформация продвинулась в верхние (южные) участки полигона и на восток (рис. 4в). Площадь измененных ландшафтов выросла в 5,5 раз (с 1,27 км² до 6,89 км²) и достигла 27%, а по отдельным бассейнам увеличилась в 40-45 раз. При этом произошло резкое количественное увеличение по отдельным показателям (открытый грунт), достигающее 30 раз.

Ответная реакция экзогенных процессов проявилась в прибавлении к перечню проявлений ЭГП оползней, осыпей и оврагов, а также в резком увеличении (до 7 раз) пораженных площадей суммарно достигших 0,8% площади тестового полигона, а по бассейнам ручья Сулимовский и его правого притока до 1,3 и 4% соответственно. В целом можно констатировать, что комплексная антропогенная трансформация, достигающая 10% территории при данных типах и параметрах воздействия и природных условиях, вызывает активизацию ЭГП на 0,1% площади; трансформированность 25–30% – около 1–1,5% пораженности и около 50% трансформированности – до 4% пораженности.

Бассейн правого притока ручья Сулимовский и ключевой участок №1. Эта территория и ключевой участок №1 особенно интересны в свете максимальной трансформированности (более 50%) и пораженности (4,1%) (рис. 5).

Анализ дистанционной информации – ортофотоплана (рис. 3д) и цифровой модели местности (рис. 3е) выявил пространственно взаимосвязанный комплекс эрозионно-селевых процессов, активизация которых обусловлена нерациональной антропогенной деятельностью. Исследуемый участок можно подразделить на три части; 1) верхняя, в пределах которой сток с площади, занимаемой курортом «Роза-Хутор» локализуется инженерными сооружениями и отводится в естественные русловые формы; 2) средняя, в пределах которой сток осуществляется естественным способом в русле притока ручья Сулимовский и 3) нижняя, где сток искусственно перераспределяется с локализацией под мостовым переходом и отводом вдоль склона долины.

В пределах верхнего участка сток в вершину притока ручья Сулимовский осуществляется двумя путями: а) на западном - сток локализован водопропускным сооружением под дорогой; б) на восточном определяется случайным переливом с полотна автодороги. Несоответствие водопропускных сооружений объемам стока в первом случае приводит к размыву водобойного колодца над водопропуском и габионного крепления склона под водопропуском. Во втором случае, случайный сброс вод вдоль полотна автодороги приводит к размыву укрепления откоса и русловым врезам, которые, сливаясь ниже откоса локализуются вдоль подпорной стенки с её частичным разрушением.

В пределах среднего участка русла суммируемый сток провоцирует интенсивную глубинную эрозию, сопровождаемую боковыми размывами, блоковыми оползнями и сплывами. Значительный объем размываемого материала аккумулируется в нижней части участка перед мостом. Мостовой переход в верхней (по течению) части нарушается ударным воздействием селевых потоков и сопровождающими врез оползнями. Боковой водоотвод, предназначенный для перераспределения стока, находится в подвешенном состоянии и не осуществляет запроецированных функций.

В пределах нижнего участка локализация стока под мостовым переходом провоцирует развитие глубинной эрозии, оползней и селей ниже по течению от моста. Основное русло подрезает основание моста, а боковые отвершки приближаются к полотну автодороги.

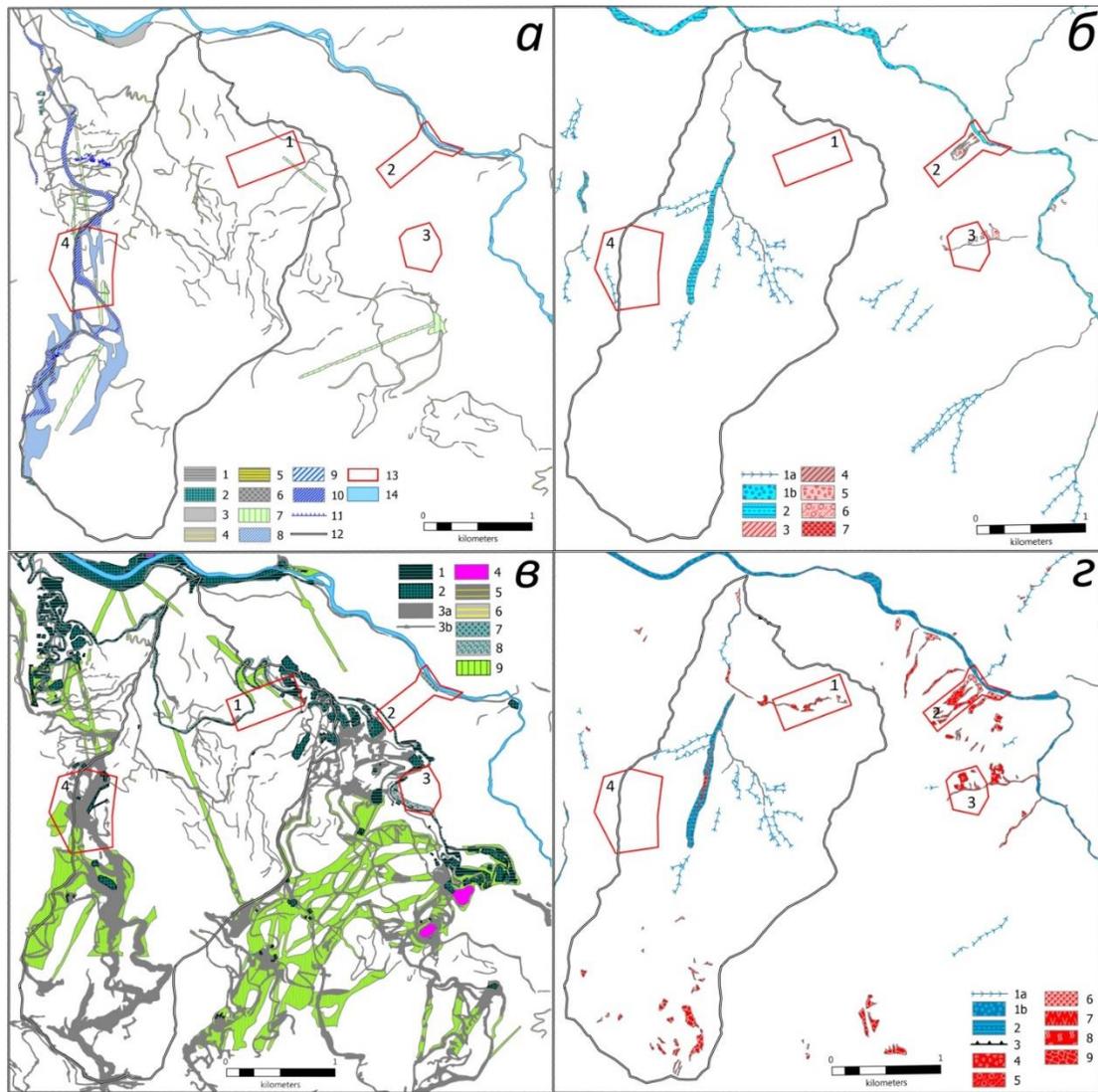


Рис. 4. Аналитические схемы по результатам интерпретации дистанционной информации: ситуация на 2006 г.: а – антропогенная нарушенность, 1 – участки с твердым искусственным покрытием (преимущественно автодороги); 2 – участки со смешанным покрытием (дороги, капитальные строения, инженерные сооружения); 3 – участки со снятым почвенно-растительным покровом (грунтовые дороги, строительные площадки и пр.); 4 – вырубки под линейные сооружения; 5 – дорожные полки; 6 – дорожные насыпи; 7 – вырубки площадные; 8 – вырубки под горнолыжные трассы; 9 – откосы горнолыжных трасс; 10 – спланированные (выровненные) площадки горнолыжных трасс; 11 – защитные террасы на склонах; 12 – граница бассейна руч. Сулимовский; 13 – границы ключевых участков; 14 – русло р. Мзымта; б – активные проявления ЭГП, 1 – участки активной русловой эрозии (а – мелких ручьев; б – крупных рек); 2 – участки пойменной аккумуляции; 3 – активные оползневые и эрозионные уступы; 4 – неактивные оползневые и эрозионные уступы; 5 – участки комплексной склоновой денудации (оползневые, осыпные, эрозионные); селевые: 6 – русла; 7 – конусы выноса; ситуация на 2019 г.: в – антропогенная нарушенность, 1 – участки с твердым искусственным покрытием (преимущественно автодороги); 2 – участки со смешанным покрытием (дороги, капитальные строения, инженерные сооружения); 3 – участки со снятым почвенно-растительным покровом (грунтовые дороги, строительные площадки и пр.); 4 – пруды; 5 – вырубки под линейные сооружения; 6 – дорожные полки; 7 – защитные галереи; 8 – насыпи; 9 – вырубки площадные; г – активные проявления ЭГП, 1 – участки активной русловой эрозии (а – мелких ручьев; б – крупных рек); 2 – участки пойменной аккумуляции; 3 – оползневые и эрозионные уступы; 4 – участки комплексной склоновой денудации; 5 – селевые русла; 6 – селевые конусы; 7 – овраги; 8 – оползни; 9 – скальные осыпи

Fig. 4. Analytical schemes based on the results of remote information interpretation: the situation for 2006: а – anthropogenic transformation, 1 – areas with a hard artificial surface (mainly roads); 2 – areas with a mixed surface (roads, capital buildings, engineering structures); 3 – areas with the removed soil and vegetation cover (dirt roads, construction sites, etc.); 4 - forest clearing for linear structures; 5 – road shelves; 6 – road embankments; 7 – area cuttings; 8 – cuttings for ski slopes; 9 – slopes of ski slopes; 10 - levelled ski slopes; 11 -protective terraces on the slopes; 12 - the border of the Sulimovsky stream basin; 13 - borders of key sections; 14 - riverbed of the Mzymta river; б - active manifestations of EGP, 1 - areas of active riverbed erosion (a - small streams; b-large rivers); 2 - areas of floodplain accumulation; 3 - active landslide and erosion ledges; 4 - inactive landslide and erosion ledges; 5 - areas of complex slope denudation (landslides, debris slopes, slope erosion); the situation for 2019: в - anthropogenic transformation, 1 – areas with a hard artificial surface; 2 – areas with a mixed surface; 3 – areas with the removed soil and vegetation cover; 4 – ponds; 5 - forest clearing for linear structures; 6 – road shelves; 7 – road galleries; 8 - road embankments; 9 – area cuttings; г - active manifestations of EGP, 1 - areas of active riverbed erosion; 2 - floodplains; 3 - landslide and erosion ledges; 4 - areas of complex slope denudation; 5 – debris flow channel; 6 - debris flow cone; 7 – gullies; 8 – landslides; 9 - taluses

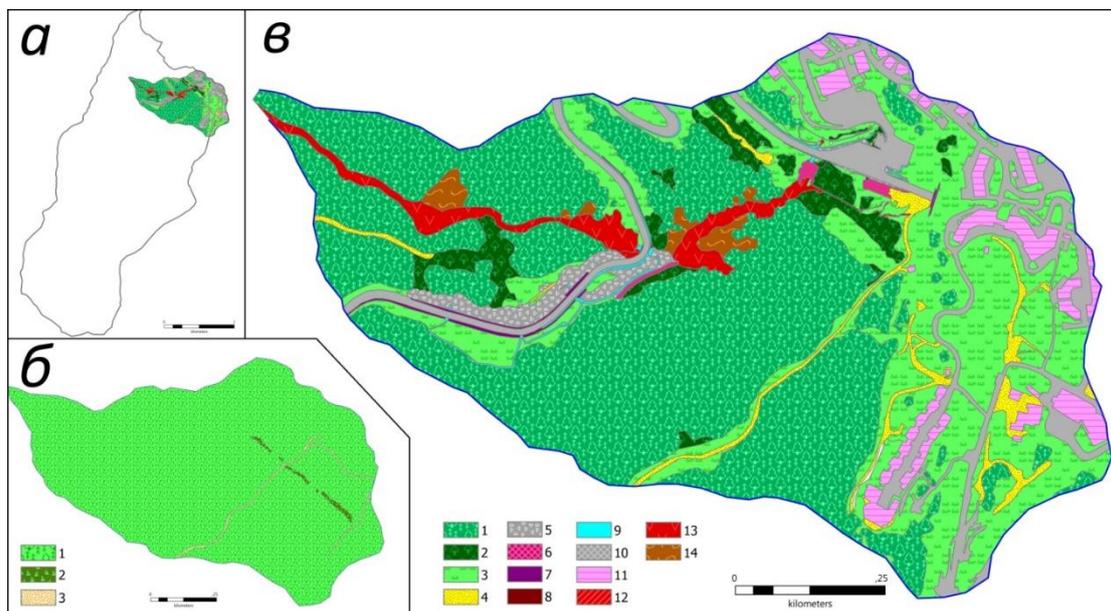


Рис. 5. Ситуационные схемы по результатам дешифрирования дистанционной информации: а) схема расположения бассейна правого притока ручья Сулимовский; б) 2006 год, 1 – древесная растительность; 2 – вырубki с нарушенным почвенно-растительным покровом; 3 – дороги с грунтовым покрытием; в) 2019 год, 1 – древесная растительность; 2 – кустарниковая растительность и мелколесье; 3 – луговая растительность и искусственные посадки (газоны); 4 – участки со снятым почвенно-растительным покровом (грунтовые дороги, строительные площадки и пр.); 5 – отсыпки щебня, отвалы; 6 – участки с укрепленным грунтом (габионы, анкеры и пр.); 7 – капитальные защитные сооружения; 8 – капитальные заборы и ограждения; 9 – капитальные водоотводные и водопропускные сооружения; 10 – участки с твердым покрытием (асфальт, бетон); 11 – капитальные здания и сооружения; 12 – активные эрозионные врезы (овраги, промоины); 13 – селевое русло; 14 – эрозионно-оползневые склоны

Fig. 5. Situational schemes based on the remote data: а) the location of the basin of the right tributary of the Sulimovsky stream; б) 2006, 1 – woody vegetation; 2 – cuttings with disturbed soil and vegetation cover; 3 - roads with an unpaved surface; в) 2019, 1 – woody vegetation; 2 – shrubby vegetation and small woodlands; 3 – meadow vegetation and artificial landings (lawns); 4 – plots with removed soil and vegetation (unpaved roads, construction Sites, etc.); 5 – gravel deposits, dumps; 6 - areas with strengthened soil (gabions, anchors, etc.); 7 - capital protective structures; 8 - capital fences; 9 - capital drainage and culverts; 10 - areas with a hard surface (asphalt, concrete); 11 - capital buildings and structures; 12 - active erosion (ravines, washouts); 13 - mudflow channel; 14 -erosion and landslide slopes

Сравнение ЦМР по результатам лазерной съемки 2006 г. и ЦММ 2019 г. выявляет изменения планового положения основного русла и притоков (рис. 6б, фрагменты 1-3), а также его продольного профиля (рис. 6в), свидетельствующие об углублении русла до 10-15 м на отрезке протяженностью около 400 м ниже организованного водосброса. Изменения рельефа, обусловленные преимущественно механическим изъятием грунта, достигают величин 25 м и более (рис. 6б, фрагмент 4). Среднее изменение высот на площади 68 тыс. м² составляет 9,7 м. Для расчета объема денудации была взята погрешность в два метра. Итоговый объем изъятых материалов (природными и антропогенными процессами) за 13 лет составляет 660 тыс. м³ с погрешностью в ± 150 м³.

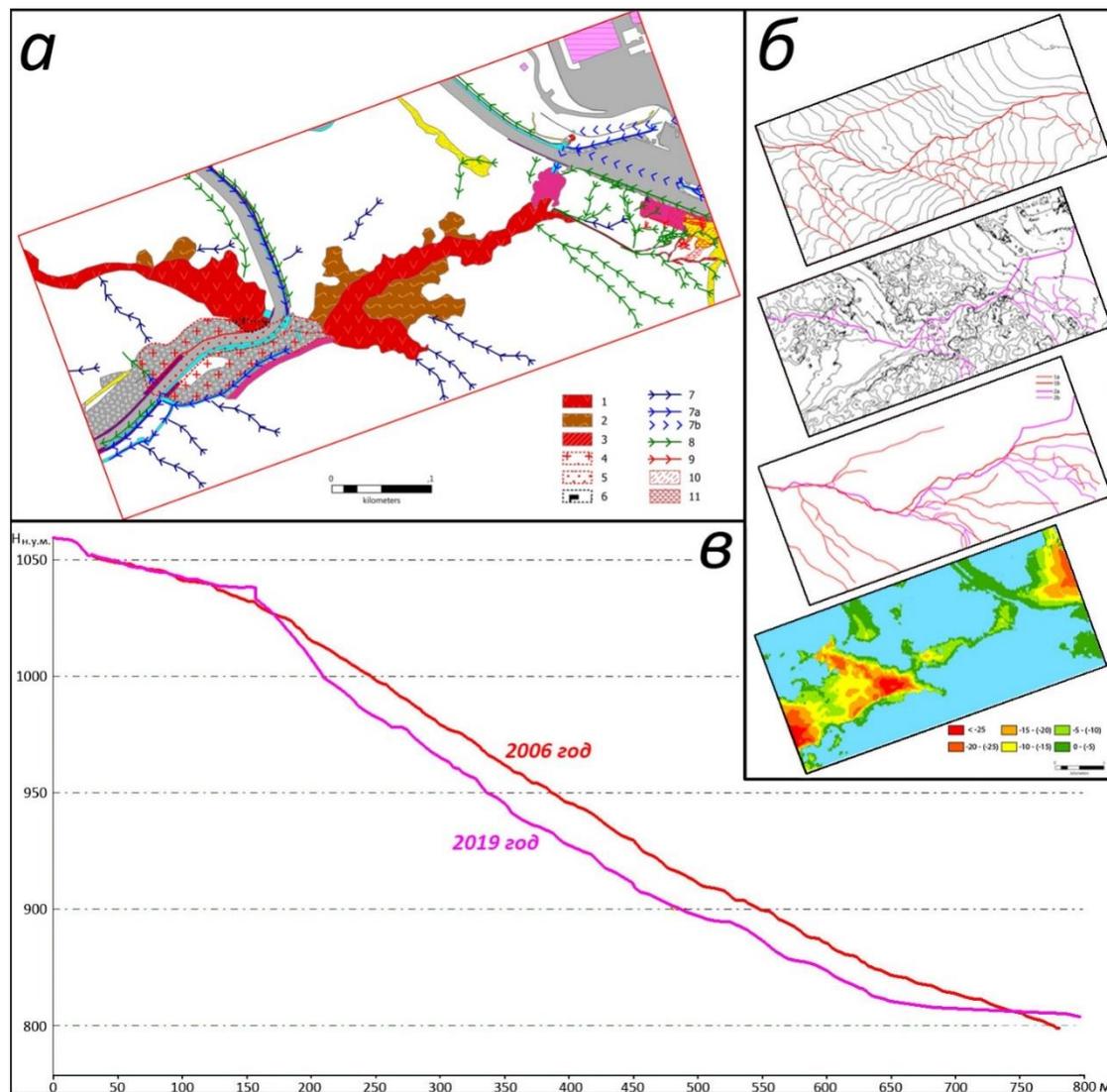


Рис. 6. Развитие эрозионно-селевых процессов в бассейне правого притока ручья Сулимовский: а) схема дешифрирования взаимоотношений ЭГП и антропогенных объектов на сентябрь 2019 г., 1 – селевое русло; 2 – эрозионно-оползневые врезы; 3 – активные овраги; 4 – фрагменты естественной поверхности селевого конуса выноса; 5 – участки расчищенного конуса выноса; 6 – эродированный участок конуса выноса; 7 – фрагменты сохранившейся естественной системы стока; 8 – участки техногенно локализованного (проектного) стока: а – поверхностного; б – подземного; 9 – участки техногенно спровоцированного (нерегулируемого) стока; 10 – активные эрозионные врезы, борозды; 11 – участки площадного смыва; б) развитие эрозионной сети: 1) – по состоянию на 2006 г (сечение горизонталей 2 м); 2) по состоянию на 2019 год (сечение горизонталей 2 м); 3) сравнительная схема русел водотоков 2006 и 2019 года; 4) схема изменения высоты поверхности по результатам сравнения ЦМР 2006 г. и ЦММ 2019 г.; в – изменение профиля основного русла правого притока ручья Сулимовский на ключевом участке №1 за 2006-2019 гг.

Fig. 6. Development of erosion-mudflow processes in the basin of the right tributary of the Sulimovsky stream: a) diagram of the relationship of EGP and anthropogenic objects for September 2019, 1 – mudflow channel; 2 – erosion-landslide slopes; 3 – active ravines; 4 – fragments of the natural surface of the mudflow cone; 5 – sections of the cleared mudflow cone; 6 – eroded section of the mudflow cone; 7 – fragments of the preserved natural erosion system; 8 – sections of technogenically localized (project) runoff: a – surface; b – underground; 9 – areas of technogenically provoked (unregulated) runoff; 10 – active erosion gully, furrows; 11 – areas of washout; 12 – plumes of temporary watercourses; б) state and dynamics of the erosion network: 1) – as of 2006 (isohypces of 2 m); 2) as of 2019 (isohypces of 2 m); 3) comparative scheme of streams configuration in 2006 and 2019; 4) change of surface obtained by the comparison of DEM 2006 and DTM 2019; в - the changing profile of the main channel, 2006-2019 years

По-видимому, активизации эрозионно-селевой деятельности способствовали не только увеличение объема поверхностного стока и его концентрация в верхней части русла, но и углубление местного базиса эрозии на уровне полки дорожного полотна. На этом уровне отмечаются остатки селевого конуса выноса частично расчищенного, а частично прорезанного более поздней эрозией.

В ходе рекогносцировочных маршрутных исследований (рис. 7) были выявлены участки активного развития селевых, оползневых обвальных процессов и подтверждены причинно-следственные связи между активизацией процессов и антропогенной деятельностью. Определены основные факторы антропогенного воздействия на активизацию процессов: 1) целенаправленная концентрация стока водосборными сооружениями; 2) случайная концентрация стока дорожной сетью и другими инженерными сооружениями; 3) увеличение поверхностного стока из-за твердого искусственного покрытия; 4) увеличение поверхностного стока из-за снятия естественного почвенно-растительного покрова; 5) подрезка склонов дорожными полками и выемками, а также горнолыжными трассами; 6) перераспределение стока с водонасыщением оползнеопасных участков. Выявлены участки нерационального строительства, как играющие активную провоцирующую роль, так и не работающие по назначению полностью или частично.

Выводы

Результаты совместного анализа дистанционных и наземных данных показывают, что за период 2006–2019 гг. произошло качественное и количественное (в среднем более чем в 5 раз) увеличение антропогенной трансформированности достигшей 25–30% территории, а по отдельным бассейнам более 50%. В свою очередь произошло качественное и количественное (в среднем более чем в 7 раз) увеличение пораженности ЭГП, достигшей в среднем 0,8% территории, а по отдельным бассейнам 4%. Объем суммарной техногенной и техногенно стимулированной денудации на отдельных участках достигает 0,0006 км³ за 13 лет.

Установлено, что активизации селевой деятельности связана с нерациональной техногенной деятельностью, включающей: 1) некорректные расчеты стока для сети водопропускных и водоотводных сооружений; 2) неправильно спланированная территория, допускающая неконтролируемый сток; 3) недоучет парагенетически взаимосвязанных процессов, интенсификация части которых приводит к саморазвитию комплекса.

Интенсивность развития эрозионно-селевых процессов, значительные скорости развития при непосредственной близости к инженерным сооружениям и транспортным коммуникациям, представляют угрозу для хозяйственной деятельности и жизни людей. Решение проблемы заключается в экстренных мерах по переоценке стоковых характеристик для всей антропогенно-трансформированной территории на основе корректной численной модели, основанной на фактических данных. На её основе необходимо перепроектирование защитных сооружений для эффективной компенсации повышенных от устойчивого природного уровня характеристик стока.

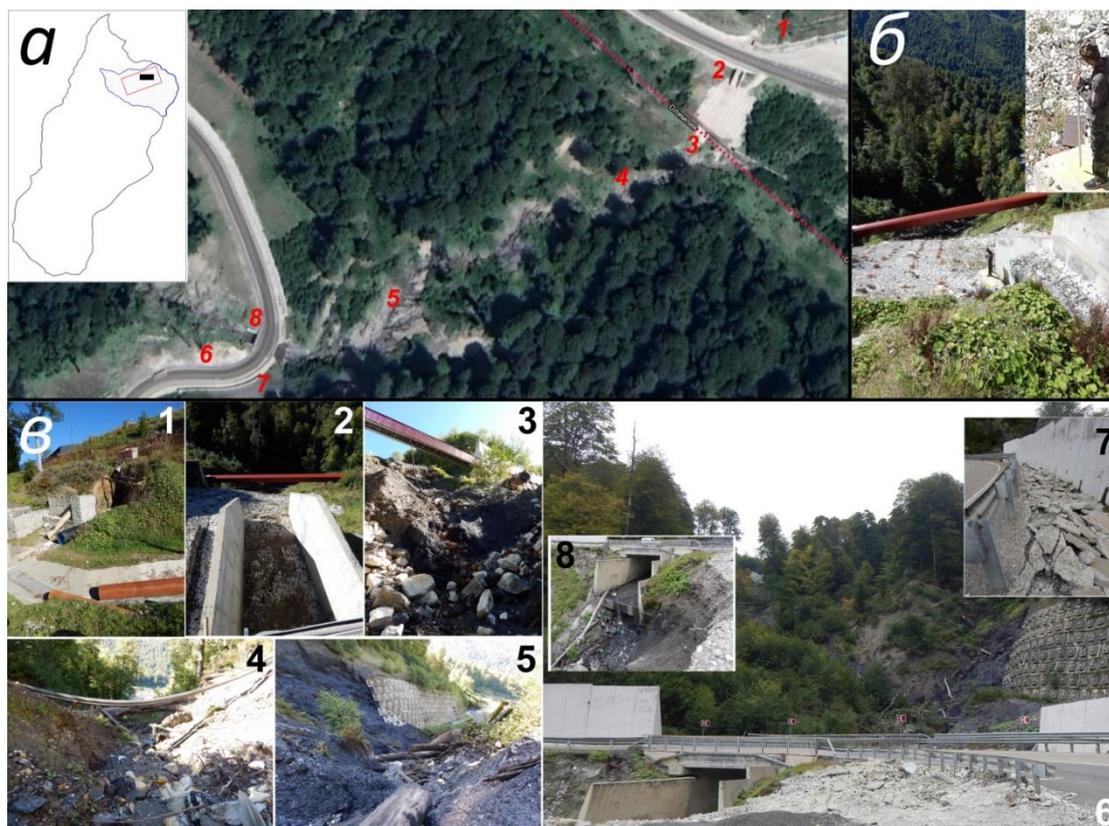


Рис. 7. Наземные исследования на ключевой площадке с активизацией селевых процессов под антропогенным воздействием: а – расположение ключевого участка в иерархической структуре бассейнов, номера точек соответствуют фотографиям ниже; б – организация дистанционной съемки с БПЛА: установка репера и расчет координат для геодезической привязки дистанционной съемки; в – участки наземного обследования: 1 – искусственный водосбор, активный размыв под трубой на склоне; 2 – бетонный водосбросовый лоток под полотном дороги; 3 – верхняя часть селевого вреза под водосбросовым лотком, разрушение анкерного крепления под лотком, боковой размыв под трубой по левому борту; 4 – селевой врез в верхней части, размыв основания водопроводной трубы; 5 – селевой врез в средней части выше дорожного полотна; 6 – участок пересечения притока ручья Сулимовский и дороги, селевой врез на контакте с анкерным противооползневым креплением; 7 – коробление бетонных плит над водопропускным лотком из-за оползневого смещения полотна дороги; 8 – активный размыв основания водопропускного сооружения под полотном автомобильной дороги.

Fig. 7. Ground study on the key area with the activation of mudflow processes under the anthropogenic influence: a - the location of the key area in the hierarchical structure of the basins, the point numbers correspond to the photos below; б - the organization of remote shooting from a UAV: setting a reference point and calculating coordinates for geodetic reference of remote shooting; c - ground points of the study: 1 - artificial catchment, active erosion under the pipe on the slope; 2 - a concrete spillway tray under the roadbed; 3 - the upper part of the debris flow erosion under spillway tray, the destruction of anchoring under the tray, lateral erosion under the pipe on the left side; 4 - debris flow erosion in the upper part, destruction of the base of a water pipe; 5 - debris flow erosion in the middle part above the roadway; 6 - the area of intersection of Sulimovskiy brook tributary and road, debris flow erosion into contact with the anchor anti-landslide mount; 7 - warping concrete slabs over culverts tray from landslide displacement of the roadway; 8 - active erosion of the base of the culverts under the road

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 19-17-00181.

Список литературы

- Несмеянов С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа. М.: Недра, 1992. 254 с.
- Овсяченко А. Н. , Хилько А. В. , Шварев С. В., Костенко К.А. Мараханов А.В., Рогожин Е.А., Новиков С.С., Ларьков А.С. Комплексные геолого-геофизические исследования активных разломов в Сочи-Краснополяном районе // *Физика Земли*. — 2013. — С. 116–138.
- Овсяченко А.Н., Меньшиков М.Ю., Рогожин Е.А., Корженков А.М. Циклы сейсмической активности во второй половине голоцена на Западном Кавказе и их связь с этапами цивилизационного развития (на примере верховьев р. Мзымта) // *Геофизические процессы и биосфера*, 2016, Т. 15, № 2, с. 5–38
- Федоренко В.С. Горные оползни и обвалы, их прогноз. Издательство Московского университета. 1988 г. 211с.
- Шолпо В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука, 1993. 192 с.
- Шварев С.В. Детальное геоморфологическое картографирование в верховьях р. Мзымты // *ИнтерКарто/ИнтерГИС 15: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт*. М-лы Международной конференции, Пермь, Гент, 29 июня – 5 июля 2009 г., Том 2, Пермь, 2009, с.462-464.