

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 7th International Conference

Chengdu, China, 23–27 September 2024



Edited by
S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC
Moscow
2024

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
7-й Международной конференции

Чэнду, Китай, 23–27 сентября 2024 г.



Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева

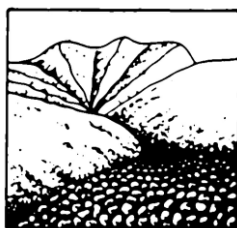
ООО «Геомаркетинг»
Москва
2024

泥石流： 灾害、风险、预测、防治

會議記錄

第七届国际会议

中国成都, 2024年9月23日至27日



編輯者

S.S. Chernomorets, K. Hu, K. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC

莫斯科

2024

УДК 551.311.8
ББК 26.823
С29

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). – Ed. by S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC. 622 p.

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2024. 622 с.

泥石流：灾害、风险、预测、防治。 會議記錄 第七届国际会议. 中国成都。 編輯者 S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – 莫斯科: Geomarketing LLC. 622 p.

ISBN 978-5-6050369-6-8

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), К. Ху (Институт горных опасностей и окружающей среды Китайской академии наук), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (Lomonosov Moscow State University), K. Hu (Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS), K.S. Viskhadzhieva (Lomonosov Moscow State University).

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).

Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

© Селевая ассоциация

© Debris Flow Association



Особенности строения древних селевых конусов в верхней части долины р. Мзымта

А.А. Пономарев, А.А. Пономарев, О.В. Зеркаль

ООО «Инжзащита», Сочи, Россия, set092222@gmail.com

Аннотация. Долина реки Мзымта, впадающей в Черное море, находится в юго-западной части Западного Кавказа. В административном отношении данный регион находится в городе-курорте Сочи на юге России. Кавказская горная система расположена на юге Восточно-Европейской платформы и сформировалась в результате взаимодействия Евразийской и Аравийской литосферных плит. В орографическом плане долина реки Мзымта, на рассматриваемом участке, представляет собой типичную долину горной реки, заложение которой подчинено общим закономерностям тектонического строения региона. В верхней части долина занимает днище межгорного понижения, заложенного в «общекавказском» северо-западном направлении, в средней части изменяет свое направление на юго-западное, а в районе хребта Ах-цу (нижняя часть) течет строго в северном направлении. Долину в ее среднем течении характеризуют крутые склоны, значительный размах рельефа, порожистый характер течения реки. В продольном профиле долины четко выражены участки переломов профиля, связанные с древними и современными оползневыми телами и селевыми конусами.

Ключевые слова: древний сель, р. Мзымта, Западный Кавказ

Ссылка для цитирования: Пономарев А.А., Пономарев А.А., Зеркаль О.В. Особенности строения древних селевых конусов в верхней части долины р. Мзымта. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2024, с. 384–393.

Structural features of ancient debris flow cones in the upper part of the Mzymta River valley

A.A. Ponomarev, A.A. Ponomarev, O.V. Zerkal

“Engprotection” Ltd., Sochi, Russia, set092222@gmail.com

Abstract. The valley of the Mzymta River, which flows into the Black Sea, is located in the southwestern part of the Western Caucasus. This region is located in southern Russia. The Caucasian Mountain system is located in the south of the East European Platform and was formed as a result of the interaction of the Eurasian and Arabian lithospheric Plates. In orographic terms, the valley of the Mzymta River, in the area under consideration, is a typical valley of a mountain river, the foundation of which is subordinated to the general patterns of the tectonic structure of the region. In the upper part, the valley occupies the bottom of the intermountain depression, laid down in the "all-Caucasian" north-westerly direction, in the middle part it changes its direction to the south-west, and in the area of the Ahtsu ridge (lower part) it flows strictly in a northerly direction. The valley in its middle course is characterized by steep slopes, a significant range of relief, and the rapid nature of the river flow. The longitudinal profile of the valley clearly shows areas of profile fractures associated with ancient and modern landslide bodies and debris flow cones.

Key words: ancient debris flow, Mzymta river, Western Caucasus

Cite this article: Ponomarev A.A., Ponomarev A.A., Zerkal O.V. Structural features of ancient debris flow cones in the upper part of the Mzymta River valley. In: Chernomoretz S.S., Hu K., Viskhadzheva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). Moscow: Geomarketing LLC, 2024, p. 384–393.



Введение

Цель данного исследования состояла в изучении геоморфологических, морфометрических и инженерно-геологических особенностей строения селевых конусов верхней части долины р. Мзымта на примере характерного участка.

Долина реки Мзымта, впадающей в Черное море, находится в юго-западной части Западного Кавказа. В административном отношении данный регион находится в городе-курорте Сочи на юге России (рис. 1).

Территория верхней части долины р. Мзымта отличается значительными темпами хозяйственного освоения. До середины двухтысячных годов регион выделялся низкой степенью антропогенного изменения естественных условий. Однако в рамках реализации строительства объектов горного кластера, предназначенных для проведения олимпийских игр 2014-го года, регион подвергся значительному техногенному вмешательству.

Краткий обзор проблемы

В пределах верхней части долины р. Мзымта на данный момент располагаются крупные горнолыжные курорты с развитой инфраструктурой. Инфраструктура курортов включает в себя горнолыжные трассы, автомобильные и канатные дороги, а также обширную сеть сооружений инженерной защиты.

В пределах верхней части долины р. Мзымта широко развиты склоновые процессы. Помимо многочисленных регулярных современных оползней, селей, камнепадов значительное влияние на современное состояние инженерно-геологических условий территории оказывают проявления древних склоновых процессов. В пределах верхней части долины существует множество древних оползневых и селевых тел. Тогда как крупные тела древних каменных лавин и оползней преимущественно развиты в верхних и средних частях бортов долины (1500–1700 м над уровнем моря), на более низких высотах залегают крупные конусы выносов древних селевых потоков. Объем конусов зачастую превышает десятки и сотни миллионов кубических метров. Конусы обладают сложным строением характерным для всего региона северо-западной части западного Кавказа. Благодаря благоприятным геоморфологическим условиям на конусах древних селей расположены наиболее крупные населенные пункты региона. Также в пределах конусов расположена основная часть наиболее важных объектов горнолыжной инфраструктуры. В рамках данной работы будут рассмотрены геоморфологические, морфометрические и инженерно-геологические особенности строения древних селевых конусов в верхней части долины р. Мзымта на примере одного из самых крупных и хорошо изученных участков (рис. 1).

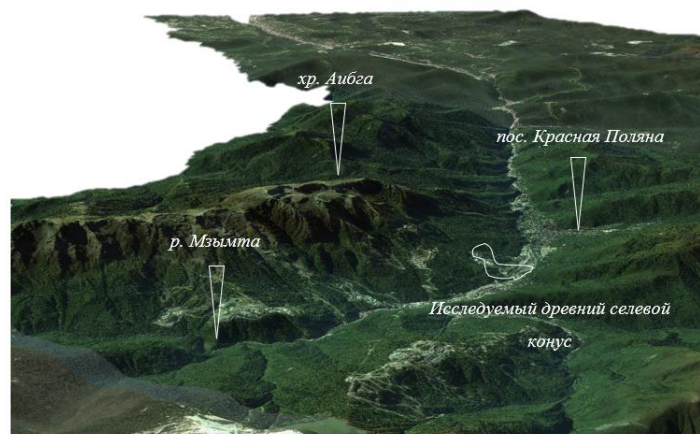


Рис. 1. Обзорная схема Верхней части долины р. Мзымта



Геоморфологические особенности исследуемого древнего селевого конуса

Региональная геоморфология

Район верхней части долины р. Мзымта является узлом сопряжения нескольких крупных общекавказских структурных зон. Здесь наблюдается резкая перестройка зоны значительного межгорного понижения, занятого долиной реки Мзымта и ориентированного в общекавказском направлении.

Основными элементами рельефа, к которым тяготеет исследуемая территория, представлены хребтом Аибга и сопряженной с ней долиной реки Мзымта. Хребет Аибга в районе Красной Поляны представляет собой линейную положительную структуру с максимальной высотой в 2470 м (III пик Аибги) и средними высотами хребта в 2200–2300 м. По облику хребет типично высокогорный с выраженными формами древнего оледенения, наличием выраженных эрозионных форм (кулуаров). В вертикальном разрезе склонов обращает на себя внимание наличие ступеней рельефа [Аджигрей и др., 1976].

В орографическом плане долина реки Мзымта, на рассматриваемом участке, представляет собой типичную долину горной реки, заложение которой подчинено общим закономерностям тектонического строения региона. В верхней части долина занимает днище межгорного понижения, заложенного в «общекавказском» северо-западном направлении, в средней части изменяет свое направление на юго-западное, а в районе хребта Ах-цу (нижняя часть) течет строго в северном направлении. Долину в ее среднем течении характеризуют крутые склоны, значительный размах рельефа, порожистый характер течения реки. В продольном профиле долины четко выражены участки переломов профиля, связанные с древними и современными оползневыми телами и селевыми конусами.

Современные геоморфологические и морфометрические характеристики исследуемого конуса выноса

Необходимо отметить, что в процессе строительства горнолыжной инфраструктуры при подготовке зимних олимпийских игр 2014 г. в г. Сочи геоморфологическое строение исследуемого участка претерпело значительные изменения. По этой причине описание геоморфологических и морфометрических характеристик исследуемого селевого конуса будет дано в естественном состоянии (рис. 2).

В геоморфологическом отношении участок исследований приурочен к эрозионно-денудационному склону подножия левобережного склона долины р. Мзымта расположенному между платообразным расширением гребня отрога второго порядка хр. Аибга (урочище «Медвежьи поляны»). Эрозионно-гравитационные склоны с активным и умеренным коллювиальным сносом прослеживаются в полосе 700–800 м вдоль подножия левого склона долины р. Мзымты. Они крутые (более 30°), имеют высоту до 300–350 м. Эрозионные склоны характерны также для бортов овражной сети, прорезающей северный склон хребта Аибга. Для них характерна значительная крутизна (более 30°), изрезанность мелкими бороздами. Склоны вогнутые или прямолинейные, обычно задернованные или же покрыты мелким кустарником. В пригребневой части местами наблюдаются выходы на поверхность коренных пород.

Оползневые тела приурочены к мощным делювиальным шлейфам. Микрорельеф оползневых тел ступенчатый, часто с вторичными оползневыми срывами и с активной мелкой овражно-балочной сетью с глубиной вреза 1–3 м. Крупные оползневые тела, вероятно, связаны с региональными геологическими разломами.

Генезис конусов выноса в устьях балок, прорезающих левый склон долины реки Мзымты считают пролювиально-селевым. Конуса выноса наложены на первую надпойменную террасу.



Абсолютные отметки поверхности конуса в естественном состоянии составляют от 500 м у подножия склона на границе с современным руслом р. Мзымта до 800 м в зоне питания. Экспозиция макросклона – северная. Длина конуса от зоны отрыва до границы зоны аккумуляции (не затронутой эрозионными процессами р. Мзымта) составляет 1,3 км. Ширина конуса варьируется от 100 м в (наиболее узкой части – зона транзита) до 1000 м (в наиболее широкой части, зона аккумуляции, не затронутой эрозионными процессами р. Мзымта) (рис. 3).

Древний конус выноса сформировался по руслу безымянного ручья (условно назван ручей 1) и полностью изменил палеорельеф территории. Вновь сформировавшиеся русла ручьев 2 и 3 четко отсекают селевые образования от соседних склоновых массивов отрога второго порядка хр. Аибга (рис. 2).

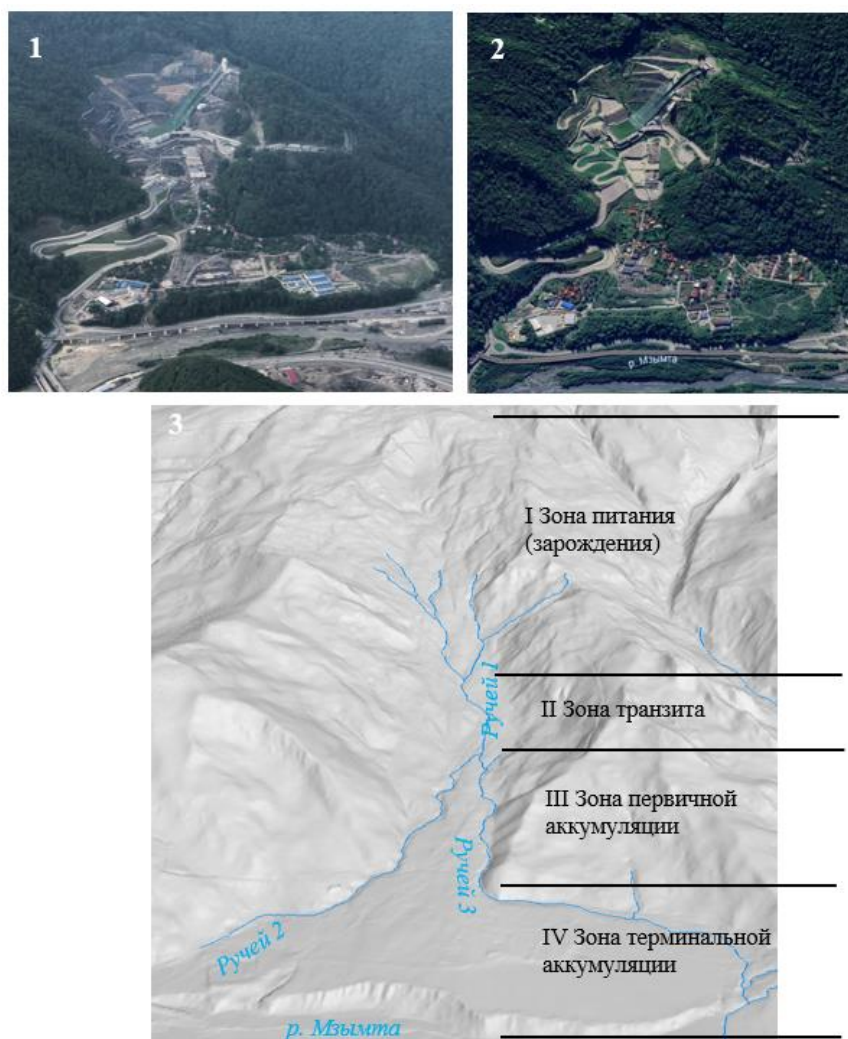


Рис. 2. Рельеф исследуемого конуса выноса на разных этапах антропогенного изменения: 1 – на момент 2012 г., 2 – на момент 2024 г., 3 – TIN модель конуса в естественном состоянии на момент 2009 г.

Морфометрические параметры исследуемого селевого конуса позволяют определить достаточно четкое зональное районирование по типу движения масс селя (рис. 3). На высотном профиле и профиле крутизны поверхности по конусу выноса можно выделить зону питания (зарождения), зону транзита, зону первичной аккумуляции, и зону терминальной аккумуляции.



Зона питания (зарождения) начинается с высоты 680 м и выше по профилю конуса и обладает протяженностью порядка 1000 м. Зона характеризуется значительными уклонами поверхности, в среднем 20–30 градусов. Формирование данной зоны и всего древнего селя в целом обусловлено накоплением значительного количества дисперсного материала в следствии схода крупномасштабной каменной лавины выше по склону, чей объем составлял порядка 20 млн м³. Таким образом рассматриваемый древний сел является вторичным процессом по отношению к древней каменной лавине.

Зона транзита протяженностью порядка 250 м располагается в промежутке между абсолютными отметками поверхности 620 и 680 м н.у.м. Для зоны транзита характерны уклоны поверхности порядка 10–20 градусов.

Зона первичной аккумуляции располагается на высотных отметках 550–620 м н.у.м. по профилю конуса выноса и обладает протяженностью порядка 400 м. Для данной зоны характерны величины углов крутизны поверхности от 10 до 15 градусов. Данная зона была сформирована путем образования толщи пролювиальных отложений в пределах локального выполаживания в палеорельефе. По-видимому, русло р. Мзымта на данном участке имело изгиб в южном направлении и локальное выполаживание было приурочено ко второй цокольной надпойменной террасе.

Зона терминальной аккумуляции начинается с высоты 500 м н.у.м. и простирается до высот с абсолютными отметками 550 м по высотному профилю исследуемого конуса выноса. Для данной зоны характерны уклоны крутизны поверхности не более 10 градусов, поверхности в пределах данной зоны являются наиболее пологими участками в пределах всего исследуемого конуса выноса. Протяженность данной зоны составляет порядка 300 м. Во время своего формирования отложения данной зоны перекрывали русло р. Мзымта вплоть до противоположного берега и ее протяженность была значительно больше. В настоящее время зона терминальной аккумуляции исследуемого конуса выноса наложена на первую надпойменную террасу долины р. Мзымта. Зона активно подвержена боковой эрозии, о чем свидетельствуют крутые уклоны (до 50 градусов) по направлению к руслу р. Мзымта.

Морфометрические и геоморфологические особенности исследуемого конуса выноса позволяют четко выделить зоны его развития, а также определить наиболее вероятных механизм развития. В дальнейшем для каждой зоны будет описан ее литологический состав и подверженность вторичным геологическим и инженерно-геологическим процессам.

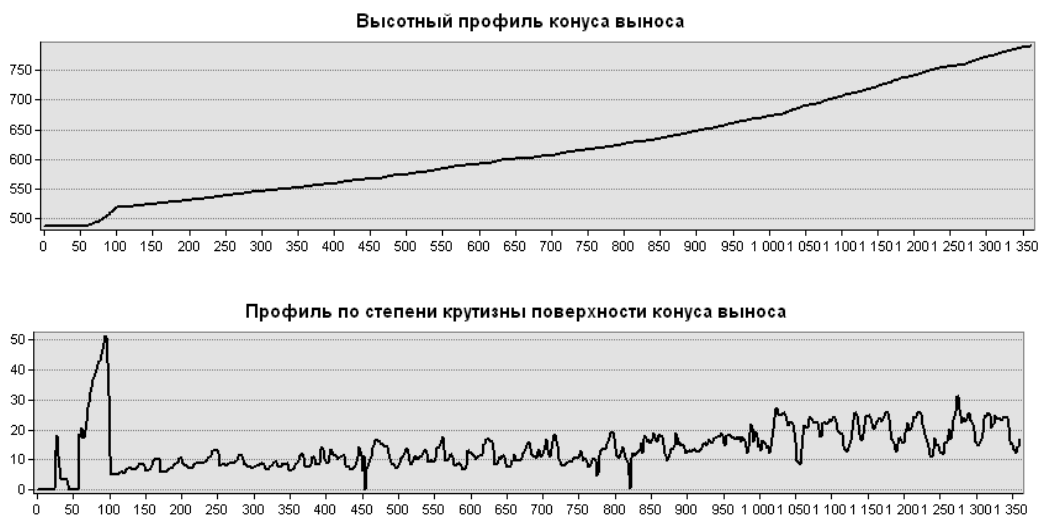


Рис. 3. Профиль по степени крутизны поверхности конуса выноса (в градусах) и высотный профиль конуса выноса с зональным разделением по типу движения селевых масс



Современные геологические и инженерно-геологические характеристики исследуемого древнего конуса выноса

В процессе подготовки зимних олимпийских игр 2014 г. в г. Сочи в пределах исследуемого конуса выноса был воздвигнут обширный комплекс объектов горнолыжной инфраструктуры. Сооружения и здания включают в себя автодороги, канатную дорогу, многочисленные сооружения инженерной защиты. Наиболее крупным сооружением в пределах исследуемого конуса выноса является уникальный комплекс трамплинов к-125 и к-95. В процессе строительства данных зданий и сооружений был выполнен обширный комплекс инженерных изысканий на разных участках исследуемой территории. Материалы инженерных изысканий легли в основу исследования геологических и инженерно-геологических характеристик исследуемого древнего конуса выноса.

Учитывая обширное антропогенное воздействие на геологические и инженерно-геологические условия исследуемой территории в качестве источника данных, были отобраны результаты предшествующих началу основных строительных работ изысканий. Расположение используемых для анализа геологических и инженерно-геологических условий выработок отображено на рис. 4. В рамках данного исследования геологические и инженерно-геологические условия будут описаны для каждой из выделенных характерных зон.

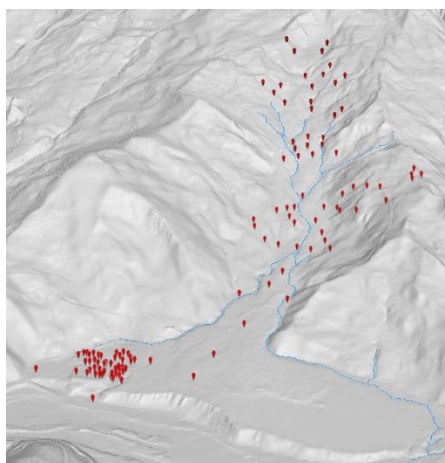


Рис. 4. Расположение используемых для анализа геологических и инженерно-геологических условий выработок

Прежде чем перейти к описанию геологических и инженерно-геологических особенностей каждой из зон исследуемого конуса выноса необходимо дать краткую характеристику грунтов коренной основы, подстилающих собой более поздние пролювиальные отложения.

Селевые отложения исследуемого конуса выноса подстилаются юрскими аргиллитами Эстосадокской (J1es) и Чвежипсинской свит (J1cv) (рис. 5). Грунты данных свит чрезвычайно схожи между собой и их четкое разделение затруднительно. Рассматриваемая толща имеет признак типичный для дистальной флишевой фации, а именно: преобладание пылеватой и глинистой фракции, что говорит о весьма большой глубине образования [Фролов, 1988].

Важнейшей особенностью исследуемых грунтов с инженерно-геологической точки зрения является их крайне низкая устойчивость к выветриванию. В результате выветривания в флишевой толще образуются прослой очень слабых пород – сильно выветрелых и разуплотненных тонкочешуйчатых, «глинизированных» аргиллитов (и даже глин), прочность которых в водонасыщенном состоянии еще более снижается [Шадунц, 1975].



Данные особенности грунтов коренной основы обуславливают их широкую вовлеченность в склоновые процессы путем формирования дополнительных потенциально неустойчивых склоновых массивов. По этой причине в литологическом строении исследуемого конуса выноса помимо характерных для пролювиальных отложений крупнообломочных грунтов, выделяется также большое количество дезинтегрированных элювиальных отложений коренных юрских аргиллитов.

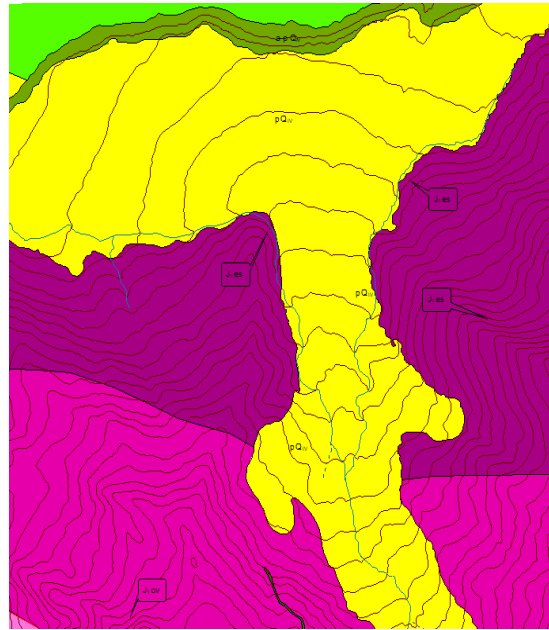


Рис. 5. Фрагмент оцифрованной государственной геологической карты российской федерации масштаба 1:200000 [Государственная геологическая карта Российской Федерации, 2000]

Зона питания (зарождения) характеризуется практически полным отсутствием в разрезе пролювиальных отложений. Как было представлено выше, данная зона располагается в пределах тела древней крупномасштабной каменной лавины. В процессе своего формирования древний селевой поток затронул лишь часть отложений оползневого тела.

Для зоны питания (зарождения) характерно залегание с поверхности значительных мощностей (более 20 м) делювиально-оползневых отложений. Данные грунты по разновидности относятся к щебенистым с суглинистым полутвердым заполнителем. Под оползневыми грунтами залегает дезинтегрированная элювиальная толща выветрелых юрских аргиллитов. По причине наличия в пределах участка изысканий значительного количества субвулканических тел (даек) литологически разделить юрские аргиллиты коренного залегания от вовлеченных в древний оползневой процесс крупнообломочных отложений весьма сложно. Для древних оползневых отложений характерны следующие показатели физико-механических характеристик: $C=12,90$ кПа; $\varphi=25,77^\circ$; $E=35,06$ Мпа.

Расчеты устойчивости по склонам в пределах верхней части зоны питания (зарождения) указывают на невысокий запас коэффициента устойчивости в естественном состоянии (в пределах единицы). Вторичные оползневые процессы в пределах данной зоны носят весьма широкое распространение.

Зона транзита характеризуется сложным и неоднородным литологическим составом. Суммарная мощность селевых отложений в пределах данной зоны значительно разнится от 0,5–1,5 до 7–10 м. Значительные мощности селевых отложений приурочены к локальным понижениям в палеорельефе. Для таких участков также характерно перекрытие селевых отложений образованиями более поздних оползней. Литологически пролювиальные отложения отделяются от оползневой более высокой дисперсности крупнообломочного материала. На некоторых участках транзитной зоны



оползневые отложения перекрыты более молодыми пролювиальными образованиями, что свидетельствует о регулярном развитии вторичных селевых процессов на исследуемой территории (рис. 6).

В целом в пределах зоны транзита как вторичные, так и первичные пролювиальные отложения представлены дресвяными грунтами с суглинистым полутвердым заполнителем. Что характерно в пределах зоны в селевых отложениях отсутствуют включения глыб. Данная особенность обусловлена высокой крутизной палеорельефа на данном участке. Пролувиальные отложения в пределах исследуемого конуса повсеместно обводнены и являются коллекторами. Современные склоновые процессы в пределах зоны транзита (до начала активного антропогенного воздействия) развиты слабо. Основные участки развития оползней приурочены к склонам отрогов хр. Аибга.

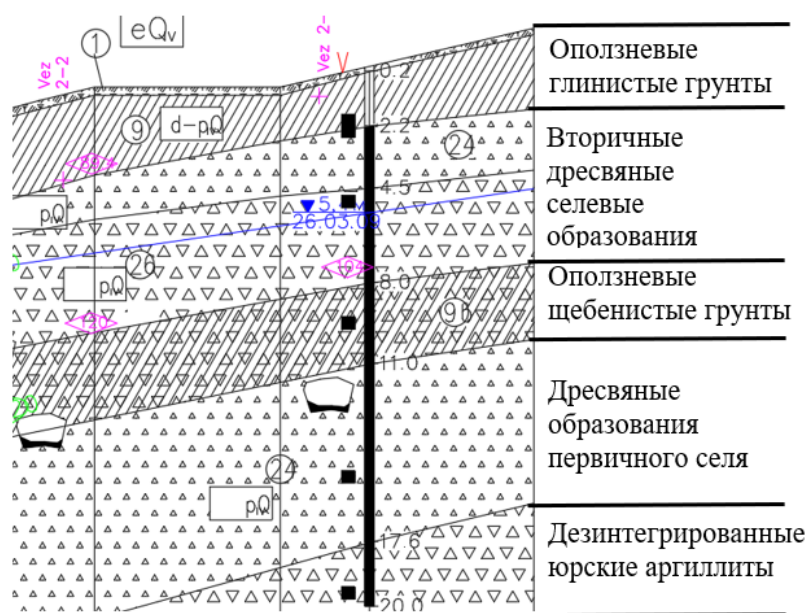


Рис. 6. Фрагмент инженерно-геологического разреза по профилю селевого конуса в пределах зоны транзита

Зона первичной аккумуляции характеризуется дальнейшим увеличением мощности селевых отложений. Средняя мощность составляет 20 м. В пределах нижней границы мощность пролювиальных отложений установить не удалось. Оползневые отложения в данной зоне либо отсутствуют, либо имеют спорадическое распространение. Толща пролювиальных грунтов представлена щебенистыми грунтами с суглинистым полутвердым заполнителем в нижней части разреза и щебенистыми суглинками в верхней. Литологический переход от щебенистых грунтов к суглинкам сохраняет тенденцию с уменьшением высот абсолютных отметок. Увеличение количества глинистого материала связано с делювиальными процессами по склону (рис. 7). Толща селевых отложений сильно обводнена. В пределах зоны первичной аккумуляции отсутствуют проявления современных склоновых процессов по причине низких значений углов наклона поверхности.

Зона терминальной аккумуляции по мощностям селевых отложений не сильно превосходит зону первичной аккумуляции. Мощность в пределах этой зоны составляет от 20 до 25 м, тем не менее на участках локальных понижений палеорельефа мощность может достигать 30 м. Селевые отложения в пределах зоны терминальной аккумуляции представлены щебенистыми грунтами с суглинистым полутвердым заполнителем в верхней части разреза и дресвяными грунтами с суглинистым полутвердым заполнителем в нижней. Глинистые селевые отложения в пределах зоны терминальной аккумуляции отсутствуют из-за низких темпов делювиальных процессов.



Подстилающими грунтами для селевых отложений в пределах зоны терминальной аккумуляции служат аллювиальные глыбовые отложения р. Мзымты (рис. 8). Согласно значениям абсолютных отметок по превышению русла данные отложения слагают первую надпойменную террасу р. Мзымта. Перекрытие селевых отложений первой террасы позволяет охарактеризовать возраст исследуемого конуса выноса как постголоценовый. В пределах зоны терминальной аккумуляции потенциально могут развиваться эрозионные процессы в связи с близостью русла р. Мзымты, однако широкая сеть берегоукрепительных сооружений сводит активность эрозионных процессов практически к нулю.

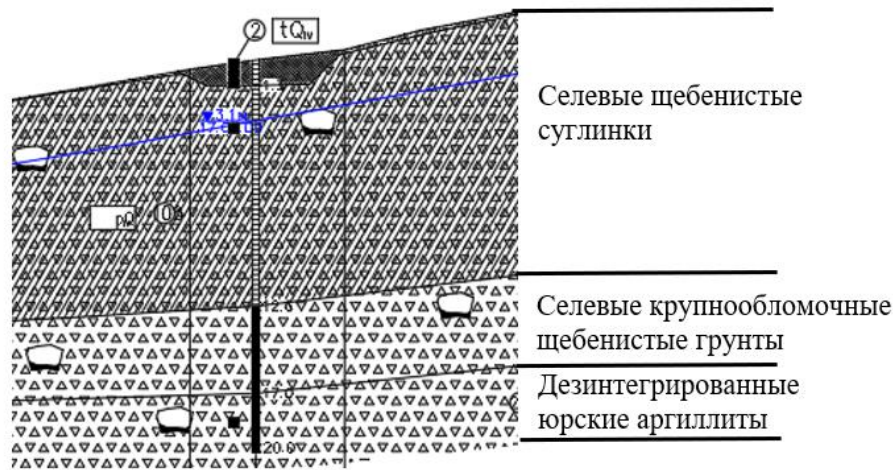


Рис. 7. Фрагмент инженерно-геологического разреза по профилю селевого конуса в пределах зоны первичной аккумуляции

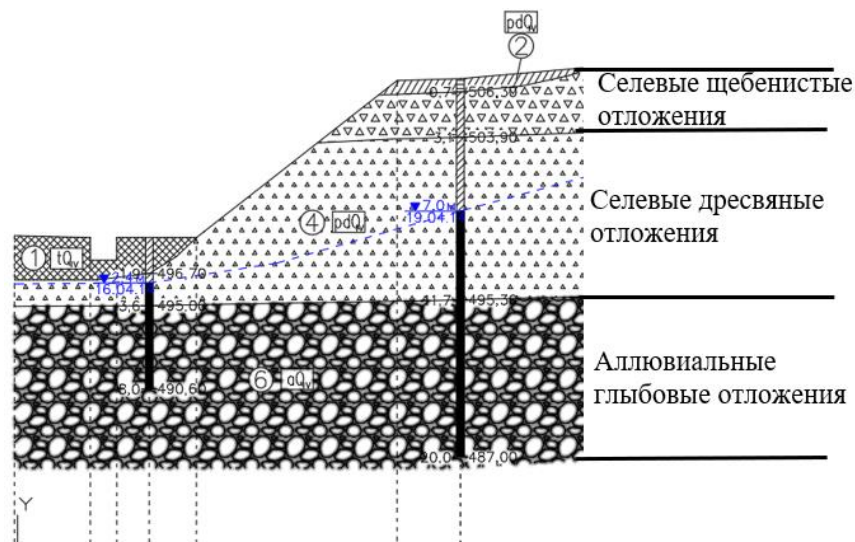


Рис. 8. Фрагмент инженерно-геологического разреза по профилю селевого конуса в пределах зоны терминальной аккумуляции

Заключение

На основе материалов инженерных изысканий, полевых маршрутов и пространственного моделирования в рамках данного исследования были описаны основные геоморфологические, морфометрические и инженерно-геологические



особенности селевых конусов в верхней части долины р. Мзымты на примере характерного участка.

В процессе схода древнего селя рельеф территории кардинально изменился, что показывает важность селеобразования как фактора влияния на геоморфологические условия региона. Выявлена четкая зональность исследуемого конуса по типу движения масс селя. Для каждой из зон характерны собственные геоморфологические и морфометрические характеристики оказывающие влияние на степень развития вторичных геологических и инженерно-геологических процессов.

Помимо геоморфологических и морфометрических параметров в рамках исследования были установлены особенности литологического строения и вертикальная зональность исследуемого конуса выноса.

Полученные в процессе исследования данные могут быть использованы для своевременного выявления инженерно-геологических особенностей территорий, где развиты древние селевые конуса выноса. Учитывая, что такие территории зачастую и используются для строительства зданий и сооружений в горных регионах, материалы данной работы отличаются высокой практической актуальностью.

Список литературы

- Аджгирей Г.Д., Баранов Г.И., Корпачев С.М., Панов Д.И., Седренко С.М. Геология Большого Кавказа. Издательство "Недра", 1976. С.172–177.
- Государственная геологическая карта российской федерации масштаба 1:200000. Серия кавказская. Лист к-37-в. Изд. второе. 2000
- Фролов В.Т. Флишевая формация — уточнение понимания. Отделение геологии 1988.
- Шадунц К.Ш. Осенняя Е.Д. Зос Э.Б. Генетические основы инженерно-геологического изучения горных пород. Издательство Московского Университета 1975. С.380–392.