

УДК 504.058, 551.4.042

DOI: 10.34753/HS.2022.4.4.327

**ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОПАСНЫЕ
СКЛОНОВЫХ ЭКЗОГЕННЫЕ
ПРОЦЕССЫ (НА ПРИМЕРЕ
ОСТРОВА САХАЛИН, РОССИЯ)**Д.А.Боброва¹, Е.Н. Казакова¹,С.В. Рыбальченко¹, А.И. Кашдан²¹*ФГБУН Специальное конструкторское бюро
средств автоматизации морских исследований
ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия;*²*Политехническая школа, Монреаль, Канада
darya-kononova@yandex.ru***THE INFLUENCE OF
ANTHROPOGENIC ACTIVITY ON
DANGEROUS SLOPE EXOGENOUS
PROCESSES (ON THE EXAMPLE
OF SAKHALIN ISLAND, RUSSIA)**Daria A. Bobrova¹, Ekaterina N. Kazakova¹,Svetlana V. Rybalchenko¹, Adam Y. Kashdan¹¹*Special Research Bureau for Automation of Marine
Researchers Far East Branch Russian Academy of
Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*²*Polytechnique Montréal, Montréal, Canada
darya-kononova@yandex.ru*

Аннотация. Антропогенная деятельность – один из важных факторов формирования опасных склоновых процессов (в том числе лавин, селей и оползней). Опасные процессы на антропогенно-изменённых территориях широко распространены во многих регионах, особенно горных. Хотя антропогенная деятельность давно рассматривается как один из главных факторов формирования селей, лавин и оползней, до сих пор не разработана классификация явлений, связанных с деятельностью человека. Цель работы – типизация различных видов антропогенной деятельности по характеру воздействия, оказываемому на лавинные, селевые и оползневые процессы, а также оценка изменения параметров опасных склоновых процессов в результате антропогенного воздействия, проведённая на примере острова Сахалин. В работе описаны случаи формирования селей, лавин и оползней при воздействии антропогенного фактора, упорядочены и систематизированы различные виды антропогенного воздействия, непосредственно влияющего на селевые, лавинные и оползневые процессы. Исследование было проведено на основе анализа материалов, полученных при полевых исследованиях на острове Сахалин, а также архивных данных. По характеру влияния всю деятельность человека по отношению к природным лавинным, селевым и оползневым комплексам можно разделить на три

Abstract. Anthropogenic activity is one of the important factors in the formation of dangerous slope processes (including avalanches, debris flows and landslides). Dangerous processes in anthropogenic–altered territories are widespread in many regions, especially mountainous ones. Although anthropogenic activity has long been considered as one of the main factors in the formation of mudslides, avalanches and landslides, a classification of phenomena related to human activity has not yet been developed. The purpose of the work is to typify various types of anthropogenic activities by the nature of the impact exerted on avalanche, debris flow and landslide processes, as well as to assess changes in the parameters of dangerous slope processes as a result of anthropogenic impact, conducted on the example of Sakhalin. The paper describes the cases of the formation of debris flows, avalanches and landslides under the influence of anthropogenic factors, ordered and systematized various types of anthropogenic impact directly affecting debris flows, avalanches and landslides. The study was conducted based on the analysis of materials obtained during field research on Sakhalin, as well as archival data. The proposed systematization makes it possible, when planning economic activities, to determine the consequences for the population and the economy from the possible activation and changes in the characteristics of dangerous slope processes.

категории: формирование (создание новых, ранее не существовавших, оползневых, селевых и лавинных комплексов), преобразование (изменение природных оползневых, селевых и лавинных комплексов, которое приводит к снижению или увеличению опасности склоновых процессов), косвенное воздействие (осуществление хозяйственной деятельности на соседних с оползневыми, селевыми и лавинными комплексами территориях, которое приводит к снижению или увеличению опасности склоновых процессов). В свою очередь категории антропогенного воздействия разделяются на виды деятельности. Предложенная систематизация позволяет при планировании хозяйственной деятельности определять последствия для населения и хозяйства от возможной активизации и изменения характеристик опасных склоновых процессов.

Ключевые слова: опасные склоновые процессы; антропогенная деятельность; лавина; сель; оползень; остров Сахалин.

Введение и постановка задачи

К наиболее распространённым опасным склоновым процессам, которые наносят наибольший ущерб населению и хозяйству, относят сели, оползни и лавины. Одним из важных факторов их формирования является антропогенная деятельность, которая приводит к изменению естественных природных комплексов и к активизации опасных геологических процессов. В некоторых случаях происходит создание новых, ранее не существовавших, элементов антропогенных ландшафтов, которые включают в себя искусственно созданные формы рельефа (отвалы, откосы различных насыпей и выемок, бермы карьеров и тому подобные) и являются источником формирования таких опасных склоновых процессов, как сели, лавины, оползни. Создание таких антропогенных комплексов увеличивает площадную поражённость территории опасными процессами (площадь, занимаемая селевыми, лавинными и оползневыми комплексами по отношению к

Keywords: dangerous slope processes; anthropogenic activity; avalanche; debris flow; landslide; Sakhalin Island.

общей площади территории), что затрудняет ведение хозяйства и создаёт угрозу населению.

Опасные склоновые процессы на антропогенно-изменённых территориях имеют локальное проявление во всех регионах, где они приурочены к строительству зданий и сооружений, прокладке дорог, и связаны в основном с выемкой и складированием грунта, формированием дорожных насыпей, подрезкой склонов. Однако наибольшее распространение они получили в горных районах, и, как правило, связаны с добычей полезных ископаемых, складированием отвалов пород горных выработок. В условиях гористого рельефа большая часть отвалов размещается в поймах и руслах рек и ручьёв на слабоустойчивых горных склонах, что может привести к формированию многоступенчатых или каскадных природно-техногенных катастроф: оползень → перекрытие русла или долины реки → подтопление → прорыв дамбы → катастрофический селевой поток.

Ярким примером возникновения опасных склоновых процессов на антропогенно-

изменённой территории является формирование катастрофического оползня на отвале каменноугольного месторождения разреза «Заречный» (Кемеровская область), который произошёл 01 апреля 2015 года. Объём оползня составил 27,5 млн м³. В результате схода оползня произошло повреждение линий электропередачи, перекрытие участка автодороги общего пользования город Новокузнецк – посёлок Большая Талда, подъездного железнодорожного пути Талдинского погрузочно-транспортного управления, а также перекрытие части русла реки Кыргай [Мартьянов, 2022].

Изучением формирования лавин, селей и оползней на антропогенных территориях в разное время занимались сотрудники различных российских организаций, таких как Научно-исследовательская лаборатории снежных лавин и селей Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова [Савренский, 1935], Центр лавинной безопасности ОАО «Апатит» [Красносельский, 1975; Зюзин, 2006], Лаборатория лавинных и селевых процессов Дальневосточного геологического института ДВО РАН [Казаков, 2015], АНО НИЦ «Геодинамика», Донской государственный технический университет [Ефремов, 2012], Кубанский государственный университет [Хворостов, 1995] и другие. Проблема актуальна также и за рубежом во всех населённых горных регионах мира [Shiji, 1996; Chen et al., 2005; Germain, Filion, Hetu, 2005].

Несмотря на то, что антропогенная деятельность давно рассматривается как один из главных факторов формирования селей, лавин и оползней, до сих пор не разработана классификация явлений, связанных с деятельностью человека, а также не существует мер, направленных на планирование антропогенной деятельности с учётом возможных последствий для формирования опасных склоновых процессов.

В основном работы по исследованию опасных склоновых процессов на антропогенно-изменённых территориях носят либо описательный характер, когда авторы приводят случаи формирования антропогенных склоновых

процессов (чаще всего селей и оползней). Нередко при этом приводится оценка изменения характеристик отдельных лавин, селей или оползней [Сократов и др., 2013; Sangeeta, Singh, 2023] в результате антропогенного воздействия на них, что, безусловно, показывает значимость человеческой деятельности как фактора формирования опасных процессов, однако не позволяет получить общее представление о том, каким образом различные виды антропогенного вмешательства влияют на природную среду, увеличивая или уменьшая активность проявления опасных склоновых процессов. В то же время многообразие видов антропогенного воздействия не позволяет без предварительной их классификации прогнозировать наступление опасных событий.

Некоторые исследователи в своих работах предлагают выделять типы антропогенной деятельности, однако авторы считают такие классификации неполными, не отражающими разнообразие множества видов хозяйственной активности. Кроме того, чаще всего отсутствует описание последствий от хозяйственной деятельности.

В работе [Перов, 2012] автор предлагает генетическую классификацию селевых явлений, в которой помимо климатического и геологического фактора формирования селей, выделяет антропогенный генетический класс с двумя типами – антропогенный и природно-антропогенный.

Разделение антропогенного генетического класса по типам в зависимости от степени антропогенного воздействия является вполне логичным. Такой подход позволяет рассматривать антропогенную деятельность как ряд более конкретных видов деятельности, и соответственно в зависимости от каждого конкретного вида деятельности оценить вероятные последствия для формирования опасных склоновых процессов. Авторам не удалось найти в открытой публикации классификации, основанные на предложенном принципе. Возможно, данная работа может стать отправной точкой для дальнейших исследований и разработок в направлении прогноза опасных

склоновых процессов с учётом антропогенного влияния.

Таким образом, целью работы является типизация различных видов антропогенного воздействия по характеру, оказываемому на лавинные, селевые и оползневые процессы, а также оценка изменения параметров опасных склоновых процессов в результате антропогенного воздействия, проведённая на примере острова Сахалин (Россия).

Новизна данной работы состоит в упорядочивании и систематизации различных видов антропогенного воздействия, непосредственно влияющих на формирование селевых, лавинных и оползневых процессов. Часто в результате деятельности человека происходит не только изменение условий формирования опасных склоновых природных процессов или изменение их динамических характеристик (скорость, дальность выброса, давление и другие), но и появляются новые селевые, лавинные и оползневые комплексы на территориях, ранее неподверженных этим процессам. Внедрение подобного подхода позволит на ранних этапах планирования и предпроектной подготовки определить возможные последствия строительства и заранее предусмотреть меры по их недопущению.

Методика исследований

В основу настоящей работы легли результаты полевых исследований лавинных, селевых и оползневых процессов, проводившихся авторами статьи на Сахалине за период с 2005 по 2022 год. Также исследование механизмов и условий формирования антропогенных оползней, селей и лавин проводилось на основе анализа архивных данных (с 1912 года) и сведениях о периодах массового их формирования в период с 1872 по 2022 год. Также были привлечены данные об экзогенных процессах антропогенного генеза на территории других субъектов России, источником которых являлись публикации в научных журналах и средствах массовой информации.

При полевых исследованиях определялись основные характеристики лавин, селевых потоков

и оползней: морфометрические и морфологические характеристики, динамические параметры, структурно-реологические типы селевых потоков, литологические характеристики, объёмы, ширина и высота фронта и зоны аккумуляции и другие. Частота формирования и периоды годовой активности определялись на основе данных наблюдения прошлых лет. Строение оползней определялось на основе материалов проходки оползневых массивов и оползневых тел геологическими скважинами и шурфами, а также на основе материалов сейсмоакустических исследований. Максимальный объём оползней рассчитывался на основе полевых исследований по определению максимальной глубины захвата пород и площади оползневого массива.

Гидрометеорологические условия формирования оползневых, селевых и лавинных процессов определялись на основе анализа данных наблюдений на гидрометеорологических станциях и постах, расположенных на острове Сахалин, с учётом материалов многолетних наблюдений за осадками и снежным покровом в горах.

Анализ собранных полевых материалов проводился с помощью картографического материала и спутниковых снимков сервиса Google. Анализ массивов данных лавин, селей и оползней, обусловленных антропогенным воздействием, проводился как в рамках собственных экспериментов, так и на основе полученных отечественными и зарубежными исследователями выводов.

Условия формирования селевых, оползневых и лавинных процессов на территории острова Сахалин

Одним из регионов с высокой степенью проявления опасных склоновых процессов, является остров Сахалин, кроме того, в настоящее время остров находится на этапе активного хозяйственного освоения, что в совокупности нередко приводит к возникновению природно-техногенных катастроф.

Остров Сахалин (Россия) расположен на Дальнем Востоке Евразии и омывается Охотским

и Японским морями. Остров простирается с севера на юг на 948 км, а его ширина варьирует от 26 до 160 км.

Территорию острова Сахалин преимущественно занимают низко- и средневысотные горы, которые вытянуты в меридиональном направлении. Западная часть острова занята Западно-Сахалинскими горами (наивысшая точка – гора Возвращения 1 325 м). В восточной части расположены Восточно-Сахалинские горы с наивысшей точкой – горой Лопатина (1 609 м). На юге острова Сахалин расположены Сусунайский и Тонино-Анивский хребты. На северной части острова преобладают денудационно-аккумулятивные равнины, сформированные на погруженных верхнемеловых и палеоген-миоценовых глыбово-складчатых структурах. Это типичная поверхность выравнивания низкого уровня, покрытая более или менее мощным чехлом рыхлых отложений плиоценового и четвертичного возраста. Климат Сахалинской области муссонный с интенсивной циклонической деятельностью, большим количеством осадков и частыми метелями.

Широкое распространение лавин, селей и оползней на территории Сахалина обусловлено благоприятным сочетанием геоморфологических и метеорологических факторов.

Высокую лавинную активность на Сахалине обеспечивает достаточно большое количество твёрдых осадков и значительная продолжительность зимнего сезона. Образование устойчивого снежного покрова на Сахалине наблюдается с октября в горной части Среднего Сахалина по конец ноября в прибрежной части юга острова [Научно-прикладной справочник, 1990]. Максимальных значений толщина снежного покрова достигает во второй – третьей декаде марта и составляет в горах в особо многоснежные годы 250–400 см. Снежный покров исчезает в начале – середине мая на юге острова и в конце мая – на севере. Продолжительность лавиноопасного периода длится от четырёх месяцев в прибрежной части Южного Сахалина до восьми месяцев в горной части острова. Годовая сумма твёрдых осадков на

острове Сахалин составляет в среднем от 150–300 мм на побережьях и в долинах, и до 500–1 200 мм в горах [Научно-прикладной справочник, 1990].

На территории островов природные лавинные комплексы можно разделить на горные, береговые и равнинные. В горных природных лавинных комплексах средние объёмы лавин составляют 500–15 000 м³, а максимальные – превышают 1 млн м³ [Казаков, 2000]. Так, 3 января 1991 года на Чамгинском перевале (Восточно-Сахалинские горы) сошли две лавины объёмом 1 и 1,4 млн м³. В береговых природных лавинных комплексах, расположенных на уступах морских террас и отмытых клифов, перепады высот лавиносборов составляют 5–200 м. Средние объёмы лавин здесь невелики и составляют обычно 100–1 000 м³, а максимальные могут достигать 30 тыс. м³ [Казакова, 2012]. В равнинных природных лавинных комплексах лавины формируются на склонах речных террас, оврагов с перепадом высот от 5 м. Объёмы лавин здесь составляют 50–500 м³ [Боброва, 2013].

Высокая степень интенсивности проявления селевых и оползневых процессов на территории острова Сахалин обусловлено сочетанием следующих факторов селеобразования: большая глубина расчленения рельефа (до 1 000 м); большая крутизна склонов водосборов (35–50°); большое количество жидких осадков – средняя сумма осадков за тёплый период (апрель– октябрь) составляет 300–400 мм на севере и 450–800 мм на юге острова, в горах количество осадков увеличивается с высотой. Так, при прохождении тайфунов «Оджин» и «Филлис» 2–7 августа 1981 года сумма осадков на гидрометеорологической станции «Южно-Сахалинск» (абсолютная высота 22 м) составила 220 мм. За тот же период в Сусунайском хребте по данным суммарных осадкомеров в интервале абсолютных отметок от 400 до 600 м суммы осадков составили более 1 200 мм [Казаков, Генсиоровский, 2007]. Состав горных пород территории: слабосцементированные алевролиты, аргиллиты, песчаники (легко размываемые и размокаемые), насыщающие селевой поток глинистыми фракциями

(формирующими связную селевую суспензию), в сочетании с прочными интрузивными, вулканогенными и метаморфическими породами, формирующими валунно-глыбовую составляющую потоков. На острове Сахалин формируются как связные (грязевые и грязекаменные), так и несвязные (наносоводные) селевые потоки, водоснежные потоки [Казиков, 2000]. Механизмы формирования селей – оползневой (за счёт оползней-сплывов) и эрозионный. Генезис водной составляющей – как дождевой, так и снеготаяние.

Селеопасный период продолжается с апреля по ноябрь. Средние объёмы селей в Сахалинской области, как правило, невелики и составляют 500–1 000 м³, однако максимальные объёмы превышают 500 тыс. м³, а длина пути достигает 16 км. Сели объёмом более 100 тыс. м³ формируются 1 раз в 25–30 лет, сели объёмом 50–100 тыс. м³ – 1 раз в 10–12 лет. Активно формируются склоновые сели (грязевые и грязекаменные) объёмом 100–500 м³ (реже – до 1 000 м³) на незадернованных склонах и в эрозионных врезах при уклонах более 25°. Длина их пути составляет десятки метров, толщина отложений – 0,5–4,0 м, плотность 1 800–2 000 кг/м³.

На острове Сахалин распространены блоковые оползни и оползни-обвалы в коренных породах мощностью от 8–10 до 200 м и более и объёмом более 5,0 млн м³, вторичные блоковые оползни на телах древних оползней и оползни-обвалы мощностью от 5–10 до 50 м и более, объём – более 1,0 млн м³; оползни вязкопластического течения развиваются в покровных отложениях, объём – более 1,0 млн м³; оползни-потоки наиболее интенсивно они развиты в слаболитифицированных песчано-глинистых породах; оползни-оплывины развиты в делювиальных отложениях – это небольшие маломощные современные оползни, развиваются в водонасыщенных склоновых отложениях или на телах древних оползней [Лобкина и др., 2013].

Случаи формирования антропогенных селевых, оползневых и лавинных процессов на территории острова Сахалин

Оползни и селевые потоки почти ежегодно формируются в различных районах острова из отвалов грунта горных предприятий по добыче полезных ископаемых. Один из таких случаев был зафиксирован 20 июля 2009 года сотрудниками Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института ДВО РАН: техногенный сели сформировался из грунтов отвала карьера «Лиственничный», расположенного на склоне горы Медика (остров Сахалин, Сусунайский хребет). Формирование небольших селей (500–1 000 м³) с отвала этого карьера отмечается регулярно, но за последние годы, в связи с интенсивной разработкой карьера и увеличением объёмов вывозимой пустой породы для складирования, были зафиксированы два случая формирования крупных селей: 10 и 15 тыс. м³ (2009 и 2013 годы соответственно). Суммарный объём селевых отложений в долине безымянного ручья составляет приблизительно 55 тыс. м³. Селевыми потоками здесь уничтожено 3,5 га леса [Мартьянов, 2022] (рисунок 1).

Всего за последние 20 лет на острове Сахалин зафиксировано более 15 случаев схода селевых потоков антропогенного генезиса [Музыченко, Музыченко, 2020].

Одним из последних случаев формирования оползней с отвалов на острове является сход оползня-потока объёмом более 500 тыс. м³, сформировавшийся из грунтов отвала вскрышных пород участка Лопатинский-Восточный Горнозаводского бурогоугольного месторождения в селе Горнозаводск Невельского района (юго-западное побережье острова Сахалин) 14 мая 2018 года, в результате чего был разрушен частный жилой дом и хозяйственные постройки, погибло 10 коров (рисунок 2). Оползень создал угрозу завала нерестовой реки Лопатинка, через которую также осуществляется водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения села Горнозаводск: под угрозой экологической и гуманитарной катастрофы оказалось более 4 000 человек.



Рисунок 1. Отвал горной породы в верхней части бассейна безымянного ручья (склон горы Медика, Сусунайский хребет, остров Сахалин) (слева) и селевые отложения антропогенного селя в долине этого ручья (справа), 2018 год. Фото Е.Н. Казаковой.

Figure 1. The dump of rock in the upper part of the nameless creek basin (the slope of Mount Medica, Susunai ridge, Sakhalin Island) (left) and debris-flow deposit of anthropogenic debris-flow in the valley of this stream (right), 2018. Photo by E.N. Kazakova.

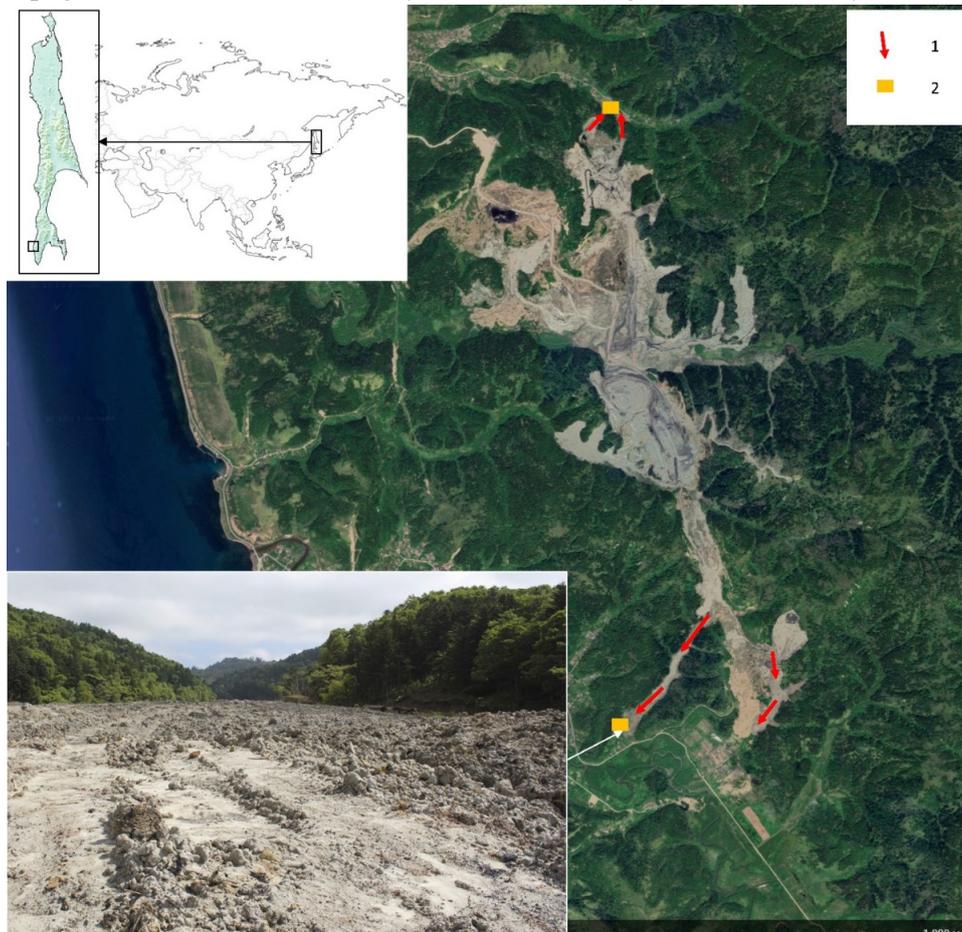


Рисунок 2. Оползень-поток 14 мая 2018 года село Горнозаводск Невельского района (юго-западное побережье острова Сахалин): 1 – направление движения оползня-потока; 2 – разрушенные дома. Фото С.В. Рыбальченко.

Figure 2. A landslide is a stream May 14, 2018 Gornozaodsk village of Nevelsky district (south-western coast of Sakhalin Island): 1 – direction of movement of the landslide stream; 2 – destroyed houses. Photo by S.V. Rybalchenko.

Грунты складировались в днище долины и в русло ручья, что привело к обводнению массива вскрышных пород и вызвало формирование оползня. Данные грунты представлены углистыми сланцами и при обводнении разлагаются до тяжёлых суглинков и глин, которыми и выполнен оползень-поток. Интенсивная отгрузка грунтов в марте 2018 года на поверхность уже отсыпанного грунтового массива в сочетании с сильным обводнением массива как с подножия (засыпанный ручей), так и с поверхности (таяние снега) привели к началу движения оползня-потока. Причина возникновения которого обусловлена образованием в массивах техногенных грунтов водноугольных суспензий.

Частицы угольной пыли, обладая тонкодисперсным составом (от 300 до 50 мкм) и отрицательным зарядом, проявляют выраженные коллоидные свойства, активно связывают воду и образуют устойчивые водноугольные суспензии. Подобные суспензии характеризуются насыщенной консистенцией (до 70%) и псевдопластичностью – свойством уменьшения вязкости при увеличении скорости движения. По механизму формирования данные оползни можно отнести к оползням выдавливания, сдвига или разжижения. Движение оползневых масс происходит с незначительными скоростями

(до 2–4 м/с) и имеет значительный градиент скоростей по глубине потока. Распад водноугольных суспензий внутри оползневых масс происходит преимущественно не седиментационным (оседанием), а радиационным (высушиванием) путём [Верховов, Рыбальченко, 2019].

Нередки случаи формирования оползней в городе Холмске и в Холмском районе (юго-западное побережье острова Сахалин). Сам город расположен в оползнеопасной зоне (рисунок 3), где практически каждый год формируются оползни различных генетических типов. Однако в результате техногенного воздействия на природную среду происходит увеличение частоты формирования оползней.

Так, в 1978 году селевым потоком, возникшем в результате складирования строительных грунтов в русло малого водотока, было разрушено несколько частных жилых домов и повреждено здание медицинского учреждения в городе Холмске (рисунок 4).

В 2010 году за период с 8 по 12 августа в городе Холмске выпало 145,3 мм жидких осадков при месячной норме 100 мм. Суточный максимум осадков (125 мм) пришёлся на 11 августа в результате чего в Холмском районе зарегистрировано 16 селевых потоков из которых 6 – на территории города Холмска.

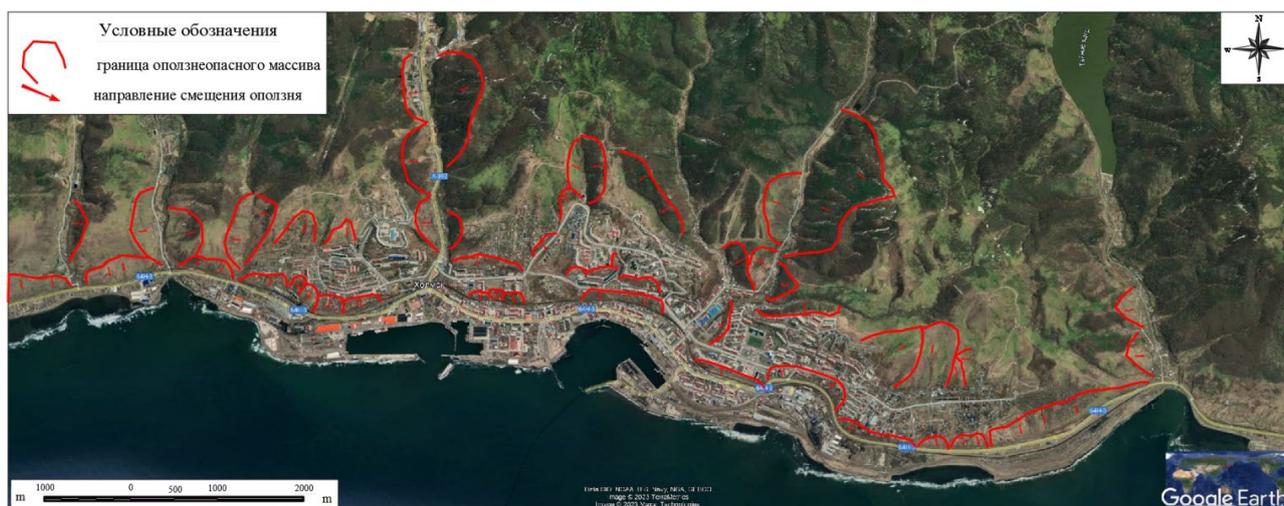


Рисунок 3. Схема природных оползневых массивов в городе Холмске.

Figure 3. The scheme of natural landslide massifs in the city of Kholmsk.



Рисунок 4. Отложения антропогенного селя, возникшего в результате складирования строительных грунтов в долине ручья (город Холмск, юго-западное побережье острова Сахалин), 1978 год.

Фото из архива Специального конструкторского бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН.

Figure 4. Deposit of an anthropogenic debris-flow resulting from the storage of construction soils in the valley of the stream (city of Kholmsk, south-west coast of Sakhalin Island), 1978.

Photo from the archive of the Special Design Bureau of Marine Research Automation Tools of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

Особенностью массового проявления селевых процессов на территории города Холмска, является то, что их активизация вызвана деятельностью человека (бесконтрольное складирование строительных грунтов в верховьях мелких водотоков, складирование бытового мусора в частном секторе в русле небольших ручьёв, несвоевременная очистка ливневой канализации и дренажных систем вдоль городских улиц и железной дороги).

Самый крупный (из зарегистрированных) селевый поток прошёл по левому притоку реки Татарки и разгрузился в районе городской клинической больницы по улице Шевченко. Конус выноса этого руслового селя был прерывистый и в его составе преобладал бытовой и строительный мусор. Общий объём селевых отложений составил около 500 м³. Они завалили

часть территории больницы и проездные пути между гаражами.

Складирование строительных грунтов без водоотводных мероприятий и без учёта геологического строения территории города Холмска привели к образованию антропогенного селевого потока в районе комплекса зданий мореходного училища по улице Макарова дом 1. Отрыв оползня произошёл с бровки отсыпки под разворот автотранспорта. Далее, в связи с большим поступлением воды (водоотвод с проезжей части улицы не обеспечен, строительными грунтами полностью перекрыто русло малого водотока), оползень трансформировался в селевой поток, который прошёл около 500 м и обусловил замыв водопропускного устройства на железной дороге в районе дома 70 по улице Чехова. Объём

отложений этого антропогенного селя составил около 500 м [Рыбальченко, 2018].

В городе Холмске селевыми потоками, сошедшими в действующие водохранилища на территории города, было многократно повышено содержание взвешенных веществ в воде, используемой для питьевых целей. Значительная часть города в течение нескольких суток оставалась без питьевой воды.

Таким образом, именно в результате антропогенного воздействия увеличилось количество селевых потоков во время прохождения циклона в августе 2010 года.

Подобные отвалы грунта, находящиеся в состоянии неустойчивого равновесия, приходят в движение при разжижении или размыве их временными водотоками (от ливней, снеготаяния и других причин) и образуют оползни и селевые потоки.

15–16 апреля 2018 года на юго-западном побережье острова Сахалин (Южно-Камышовый хребет) на участке автодороги регионального и федерального значения город Южно-Сахалинск – город Холмск в районе полигона бытовых отходов города Холмска сформировался оползень. Возникновение и активное развитие оползневых процессов на участке автомобильной дороги вызваны сочетанием природных и антропогенных факторов. Оползень имеет техногенное происхождение.

Оползневой массив заложен в старой оползневой ложбине, засыпанной техногенными грунтами во время реконструкции автомобильной дороги в середине 1990-х годов. Эрозионно-денудационный врез и древняя оползневая ложбина на склоне в течение многих лет засыпались техногенными грунтами, что привело к возникновению неустойчивых техногенных массивов грунтов в засыпанных ложбинах и врезках. При этом были засыпаны многочисленные временные и постоянные мелкие водотоки, что привело к постоянному обводнению антропогенных и естественных грунтов на склоне

и способствовало снижению их устойчивости. Активизация оползневых процессов произошла в 2018 году и была вызвана обводнением массива грунтов. По механизму формирования согласно классификации [Саваренский, 1935] сформировался консеквентный блоковый оползень. Поверхности скольжения оползня приурочены к контактам между пластами горных пород и горизонтам грунтовых вод, а также к горизонтам обводнённых грунтов. Общий объём пород в теле оползня – около 50 тыс. м³. Глубина захвата пород составляет от 1,5 до 18,0 м. На поверхности массива отмечены оползневые трещины и ступени отседания (рисунок 5).

Оползнем было повреждено полотно автомобильной дороги. Движение оползня продолжается по настоящее время.

На устойчивость оползневого массива повлияли нагрузка от дорожного полотна и движущегося транспорта на поверхность массива техногенных грунтов, фильтрация в грунтовый массив поверхностных и атмосферных вод, подрезка подножия грунтового массива при реконструкции автомобильной дороги, а также подвижка расположенного у подножия склона полигона твёрдых бытовых отходов.

Кроме оползней и селевых потоков на склонах отвалов, откосов, выемок, карьеров формируются лавины (рисунок 6).

Создание антропогенных склонов увеличивает площадную поражённость территории лавинными процессами, что затрудняет ведение хозяйства и повышает лавинную опасность для населения. Несмотря на то, что в большинстве случаев антропогенные лавиносборы имеют небольшие относительные высоты, а объёмы лавин здесь редко превышают 1 тыс. м³, лавины в таких лавиносборах неоднократно вызывали экономический ущерб, а также приводили к человеческим жертвам. Чаще всего в условиях урбанизации в небольшие лавины с антропогенных склонов попадают дети [Казакова, Боброва, 2015].



Рисунок 5. Оползень на участке автодороги город Южно-Сахалинск – город Холмск в районе полигона бытовых отходов

(город Холмск, юго-западное побережье острова Сахалин), 2018 год. Фото С.В.Рыбальченко.

Figure 5. A landslide on a section of the Yuzhno-Sakhalinsk – Kholmsk highway near the landfill of household waste (Kholmsk city, south-west coast of Sakhalin Island), 2018. Photo by S.V.Rybalchenko.



Рисунок 6. Лавина, сошедшая с лавиносбора, сформированного в результате подрезки склона при строительстве автодороги (автодорога город Южно-Сахалинск – город Холмск, юго-западное побережье острова Сахалин), март 2018 года. Фото Д.А.Бобровой.

Figure 6. An avalanche that descended from an avalanche collection formed as a result of cutting the slope during the construction of a highway (Yuzhno-Sakhalinsk – Kholmsk city highway, southwestern coast of Sakhalin Island), March 2018. Photo by D.A.Bobrova.

На территории России зафиксировано немало случаев попадания людей в лавины, сошедшие с искусственно созданных склонов. Так, например, в 2008 году в посёлке Бугульма (Республика Татарстан) в лавину со склона железнодорожной насыпи высотой всего 20 метров попало 9 человек, 4 из которых погибли¹.

Откосы железнодорожных и автомобильных насыпей, различных выемок, бермы карьеров, откосы отвалов снега, грунта, горных пород, мусора являются источником формирования таких опасных склоновых процессов, как оползни, сели и лавины. При планировании антропогенной деятельности, особенно в горных регионах, необходимо учитывать особенности формирования этих процессов, с целью минимизации опасности для населения и хозяйства. Для этого важно учитывать вид и степень влияния антропогенной деятельности на формирование и активизацию опасных склоновых процессов.

Изменение параметров опасных склоновых процессов при антропогенной деятельности

Наиболее часто влияние человеческой деятельности, приводящей к изменению параметров опасных склоновых процессов (сели, лавины, оползни), проявляется через следующие виды воздействия на природные ландшафты:

1. Изменение лесистости территории (вырубки или лесопосадки, пожары и другое) в лавиносборах, водосборах селевых бассейнов и на оползневых склонах.

Сведение леса в границах водосбора без уничтожения почвенно-растительного покрова при устройстве просек или в результате лесных пожаров приводит к увеличению поверхностного стока, а соответственно объёма водной составляющей селевых потоков. Для водосборов небольших горных ручьёв при уменьшении площади залесённости на 10%, величина поверхностного стока увеличивается на 1%, для

небольших горных рек – на 2%. В результате на горных оголённых склонах начинают интенсивно развиваться различные типы склоновых процессов, активизируются селевые процессы [Саваренский, 1935].

Сведение лесов в лавиносборах приводит к увеличению частоты формирования лавин, а в зоне ветрового снегопереноса приводит к образованию снежных карнизов. И напротив лесопосадки являются мерой борьбы с лавинами.

2. Изменение характера подстилающей поверхности (уничтожение почвенно-растительного покрова на склонах, распашка склонов).

В случае уничтожения почвенно-растительного покрова в зависимости от состояния коры выветривания горных пород может происходить уменьшение величины поверхностного стока (при наличии рыхлообломочных или сильно трещиноватых пород) или его увеличение (при наличии скальных плохо проницаемых грунтов). При уменьшении величины поверхностного стока, в результате роста относительной влажности грунтов, активизируются оползневые и селевые процессы, а при увеличении поверхностного стока и превышении неразмывающих скоростей грунтов – эрозионные. В лавиносборах изменение характера подстилающей поверхности приводит к изменению скорости движения лавины, кроме того, изменение сцепления снежного покрова с подстилающей поверхностью влияет на частоту формирования лавин.

Неправильная агротехника, в частности продольная распашка склонов, в результате которой образуются борозды-ложбины, являющиеся очагами эрозии, – все это также в значительной степени усугубляет разрушение поверхности горных склонов, создаёт очаги формирования селей.

3. Переформирование рельефа (устройство выемок, подрезок, отвалов, карьеров и так далее).

Со склонов искусственно созданных форм рельефа формируются лавины, изменение

¹ Дети погибли под снежной лавиной - Прокурорской проверке некого обвинить в халатности – Газета «Коммерсантъ» – Коммерсантъ: последние новости России и мира [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/847168>.

морфологии и морфометрии склона приводит к изменению динамических характеристик лавин, таких как скорость, давление, дальность выброса.

Во многих случаях подрезка нижней части склонов при прокладке дорог вызывает резкую активизацию оползневых и осыпных процессов – потенциальных поставщиков обломочного материала селевых потоков.

Неправильное размещение тех или иных объектов, создающих препятствие в зоне транзита селей своим расположением, размерами и конструкцией резко увеличивает масштабы (объём, расход, скорость) и следовательно ущерб от прохождения селей.

Отвалы грунта и бытового мусора в долинах водотоков, приходят в движение, как правило, при разжижении или размыве их паводковыми водами (от ливней, снеготаяния и других причин) и образуют селевые потоки.

Результаты и их обсуждение

В зависимости от степени и характера влияния антропогенного фактора на параметры опасных склоновых процессов можно выделить различные категории:

1. Формирование – полностью созданные человеком оползневые, селевые, лавинные комплексы (насыпи, отвалы снега, грунта, мусора, карьеры, дамбы, в том числе противолавинные каналы, выемки, котлованы и так далее).

2. Преобразование – природные оползневые, селевые, лавинные комплексы, непосредственно в которых антропогенная деятельность приводит к изменению (снижению или увеличению) степени опасности склоновых процессов.

3. Косвенное воздействие – осуществление хозяйственной деятельности на соседних с оползневыми, селевыми и лавинными комплексами территориях, которая приводит к изменениям (снижению или увеличению) степени опасности склоновых процессов.

В свою очередь категории антропогенного воздействия разделяются на виды деятельности.

В зависимости от вида воздействия происходит изменение характеристик, влияющих на параметры опасных склоновых процессов, которые определяют характер и степень воздействия этих процессов на население и хозяйство. Такими параметрами для лавинных, селевых и оползневых процессов являются площадная поражённость территории, динамические характеристики селей, лавин и оползней (скорость движения, давление, дальность выброса) частота формирования, объёмы. Также антропогенная деятельность может влиять на активизацию опасных склоновых процессов (рисунок 7).

К преобразованию поверхности в зоне ветрового переноса относится воздействие на растительный покров, застройка или снос зданий и сооружений, воздействие на прилегающие компоненты рельефа, то есть любая деятельность, приводящая к изменению ветрового режима.

Под запылением понимается оседание мелких твёрдых частиц на поверхности снега, растительности и грунта.

Ударно-волновое воздействие на снежный покров и горную породу оказывает работа тяжёлой техники, проведение горных работ посредством взрывов, с использованием механизмов, вызывающих ударные волны.

Стоит также отметить, что были определены только те виды хозяйственной деятельности, которые могут оказать продолжительное и масштабное воздействие на лавинные, селевые и оползневые комплексы. Так, в лавиноведении антропогенной лавиной часто называют лавину, вызванную человеком, например, в результате катания на лыжах. Однако такое явление предугадать, спланировать и предотвратить практически очень сложно, воздействие на природный лавинный комплекс является локальным спонтанным и кратковременным.



Рисунок 7. Изменение параметров лавинных, селевых и оползневых процессов в результате различных видов антропогенной деятельности.

Figure 7. Changes in the parameters of avalanche, mudslide and landslide processes as a result of various types of anthropogenic activities.

Следует отметить, что степень влияния на опасные склоновые процессы будет также определяться тем, в какой зоне селевого и оползневого комплекса осуществляется деятельность (например, зона зарождения, транзита или аккумуляции селя). Так, сведение растительности в зоне зарождения селя будет влиять на изменение скорости выветривания, а также режима и скорости увлажнения пород, в то время как сведение растительности в зоне транзита и аккумуляции не будет оказывать влияние на эти процессы, однако будет определять динамические характеристики селя. В рамках данной работы разделение характера и степени антропогенной деятельности в зависимости от зон селевого и оползневого комплекса не проводилось.

Категории деятельности выделены в зависимости от степени воздействия на лавинные, селевые и оползневые комплексы (от создания новых комплексов до ведения деятельности на прилегающих территориях), однако масштабы

последствий в результате косвенного воздействия могут оказаться большими, чем в результате непосредственного воздействия. Будет неправильным считать, что появление нового лавиносбора на откосе отвала грунта вызовет больше негативных последствий, чем вырубка леса в зоне ветрового переноса существующего лавиноопасного склона. Таким образом, масштаб последствий определяется масштабностью хозяйственной деятельности.

В данной работе отсутствует статистический анализ и численные расчёты параметров склоновых процессов. Это обусловлено в первую очередь невозможностью отразить полный анализ всего собранного материала по рассматриваемым в статье склоновым процессам в рамках одной публикации. По этой причине в таблице не приводятся количественные показатели характеристик и параметров лавинных, селевых и оползневых процессов. На данном этапе исследования авторы ограничились

качественным описанием видов антропогенной деятельности и их последствиями, что соответствует заявленным целям работы. Выводы о воздействии антропогенного фактора основывались на многолетних наблюдениях за лавинными, селевыми и оползневыми процессами как на острове Сахалин, так и в других регионах России, а также на основании опубликованных данных других исследователей. В дальнейшем планируется разработка классификации отдельно для каждого опасного процесса.

Заключение

Авторами была предложена классификация видов человеческой деятельности, основанная на характере влияния антропогенного фактора на формирование селей, оползней и лавин. По характеру и степени влияния на лавинные, селевые и оползневые процессы выделяются три типа антропогенной деятельности: формирование, преобразование и косвенное воздействие. Определены возможные виды антропогенной деятельности, характеристики опасных склоновых процессов и параметры этих

процессов, изменяющиеся под антропогенным воздействием.

Предложенная систематизация и классификация позволяет при планировании и проектировании хозяйственной деятельности определять последствия для населения и хозяйства от возможной активизации и изменения характеристик опасных склоновых процессов. Авторы рекомендуют использовать эту классификацию как на предпроектном этапе инженерно-геологических изысканий, так и на этапе строительства зданий и сооружений, когда необходимо оценить изменения инженерно-геологических условий и развитие опасных геологических процессов и определяющих их факторов, обусловленных хозяйственным освоением территории. В дальнейшем необходимо проводить мониторинг опасных склоновых процессов с целью разработки мер по предотвращению их проявления. Так, например, при проектировании отвала горных пород на основании предложенной классификации можно сразу запланировать мероприятия по предотвращению формирования склоновых процессов либо выделить на картах опасности новый лавинный или оползневой комплекс.

Литература

Боброва Д.А. Лавинная опасность равнинных территорий о. Сахалин // Лёд и снег. 2013. Том 53. № 4. С. 60–66. DOI: [10.15356/2076-6734-2013-4-60-66](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-4-60-66).

Верховов К.В., Рыбальченко С.В. Формирование оползней-потоков на отвалах угледобывающих предприятиях // Природа. 2019. № 2 (1242). С. 70–76. DOI: [10.7868/S0032874X19020091](https://doi.org/10.7868/S0032874X19020091).

Ефремов Ю.В. Антропогенные селевые потоки в бассейне р. Мзымты // Труды Международного семинара «Опасные природные процессы в горах: уроки Кармадонской катастрофы» к 10-летию катастрофы на леднике Колка, 20 сентября 2002 г. (г. Владикавказ, 18–20 сентября 2012 г.) / Под ред. Ж.Ф. Шнайдера, С.С. Черноморца. Владикавказ, СКГМИ, 2012. С. 15.

References

Bobrova D.A. Lavinnaya opasnost' ravninnykh territorii o. Sakhalin [Avalanche hazard in plain area of Sakhalin Island]. *Led i sneg [Ice and snow (Russia)]*, 2013, vol. 53, no. 4, pp. 60–66. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.15356/2076-6734-2013-4-60-66](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-4-60-66).

Chen T., Cui P., Liu S., Hou L. Anthropogenic debris flow disasters and mitigation countermeasures in mineral resources exploitation in China. *Gongcheng Dizhi Xuebao (Chinese Journal of Mechanical Engineering)*, 2005, vol. 13, no. 2, pp. 179–182. (In Chinese; abstract in English).

Efremov Y.V. Antropogennyye selevye potoki v basseine r. Mzymty [Anthropogenic mudflows in the basin of the River Mzymta River]. In: *Trudy Mezhdunarodnogo seminara «Opasnye prirodnye protsessy v gorakh: uroki Karmadonskoi katastrofy» k 10-letiyu katastrofy na lednike Kolka, 20 sentyabrya 2002 (Vladikavkaz, 18–20 sentyabrya*

Зюзин Ю.Л. Суровый лик Хибин. Мурманск: Рекламная полиграфия, 2006. 236 с.

Казаков Н.А. Геологические и ландшафтные критерии оценки лавинной и селевой опасности при строительстве линейных сооружений (на примере о. Сахалин). Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Южно-Сахалинск, 2000. 216 с.

Казаков Н.А. Антропогенные сели в бассейне р. Мзымты // Геориск. 2015. №4. С.53–55.

Казаков Н.А., Генсировский Ю.В. Влияние вертикального градиента осадков на характеристики гидрологических, лавинных и селевых процессов в низкогорье // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2007. № 4. С. 342–347.

Казакова Е.Н. Природные лавинные комплексы берегов Сахалина // География и природные ресурсы. 2012. № 4. С. 184–187.

Казакова Е.Н., Боброва Д.А. Антропогенные и природно-антропогенные лавинные комплексы (на примере о. Сахалин) // Геориск. 2015. № 4. С. 18–21.

Красносельский Э.Б. Возникновение снежных лавин в карьерах и защита от них // Материалы Хибинской гляциологической конференции «Исследования снега и лавин в Хибинах» (г. Кировск, 25–26 декабря 1972 г.). Л.: Гидрометеиздат, 1975. С. 133–139.

Лобкина В.А., Казакова Е.Н., Журуев С.П., Казаков Н.А. Методика оценки оползневой опасности территории населенных пунктов (на примере г. Макаров, Сахалинской области) // Тихоокеанская геология. 2013. Том 32. № 5. С. 100–109.

Мартыанов В.Л. Анализ природных факторов оползня откоса внешнего отвала на разрезе «Заречный» // Сборник статей участников VII Международной научно-практической Интернет-конференции «Рекультивация выработанного пространства: проблемы и перспективы» (10–17 декабря 2021 г.). Белово: Изд-во КузГТУ, 2022. С. 34–43.

Музыченко Л.Е., Музыкаченко А.А. Распространение природных и антропогенных селей на острове Сахалин // Труды 6-й

2012) [Proceedings of International Workshop «Natural hazards in mountains: lessons to be learned» dedicated to the 10th anniversary of Kolka/Karmadon glacial disaste (Vladikavkaz, September 18–20, 2012)]. Vladikavkaz, Publ. of SKGMI, 2012, p. 15. (In Russian; abstract in English).

Germain D., Fillion L., Héту B. Snow avalanche activity after fire and logging disturbances, northern Gaspé Peninsula, Quebec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2005, vol. 42, no. 12, pp. 2103–2116. DOI: [10.1139/e05-087](https://doi.org/10.1139/e05-087).

Hvorostov V.V. Ocenka antropogenного vozdejstviya na intensivnost' i harakter selevyh javlenij v gorah Severnogo Kavkaza [Assessment of anthropogenic impact on the intensity and nature of mudflow phenomena in the mountains of the North Caucasus]. *Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii «III Shchukinskie chteniya» «Ekologicheskie aspekty teoreticheskoi i prikladnoi geomorfologii» (gorod Moskva, 16–17 maya 1995) [Proceedings of the International Conference «Third Shchukin Readings» «Ecological aspects of theoretical and applied geomorphology» (Moscow, May 16–17, 1995)]*. Moscow, Publ. MSU, 1995. Pp. 160–162. (In Russian; abstract in English).

Kazakov N.A. *Geologicheskie i landshaftnye kriterii ocenki lavinnoj i selevoj opasnosti pri stroitel'stve linejnyh sooruzhenij (na primere o. Sahalin)*. Diss. kand. geol.-min. nauk. [Geological and landscape criteria for assessing avalanche and debris flow hazard during the construction of linear structures (on the example of Sakhalin Island). Ph. D. (Geological and mineralogical sciences) Thesis]. Moscow, 2000. 216 p. (In Russian).

Kazakov N.A. Antropogennye seli v basseine r. Mzymty [Anthropogenic mudflows in the river Mzymta basin]. *Georisk [Georisk]*, 2015, no 4, pp. 53–55. (In Russian; abstract in English).

Kazakov N.A., Gensirovskij Yu.V. Vliyanie vertikal'nogo gradienta osadkov na harakteristiki gidrologicheskikh, lavinnyh i selevyh processov v nizkogor'e. [The influence of the vertical precipitation gradient on the characteristics of hydrological, avalanche and mudflow processes in

Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита» (г. Душанбе–Хорог, Таджикистан, 20–26 сентября 2021 г.). Душанбе: ООО «Промоушн». 2020. Том 1. С. 499–508.

Научно-прикладной справочник по климату СССР: 4 серии. Серия 3. Многолетние данные: в 35 выпусках. Выпуск 34. Сахалинская область / Под ред. Г.П. Ивановой. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 351 с.

Перов В.Ф. Селеведение: учебное пособие. М.: МГУ, 2012. 272 с.

Рыбальченко С.В. Динамика развития склоновых селевых бассейнов на морских террасах о. Сахалин. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Санкт-Петербург. 2018. 28 с.

Саваренский Ф.П. Опыт построения классификации оползней // Труды Первого Всесоюзного оползневоего совещания (Нижний Кастрополь (Крым), 1934). Ленинград, Москва: Онти Главной редакции геологоразведочной и геодезической литературы, 1935. С. 29–37.

Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Шныпарков А.Л., Колтерманн К.П. Антропогенное влияние на лавинную и селевую активность // Лед и снег. 2013. Том 53. № 2. С. 121–128. DOI: [10.15356/2076-6734-2013-2-121-128](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-2-121-128).

Хворостов В.В. Оценка антропогенного воздействия на интенсивность и характер селевых явлений в горах Северного Кавказа // Материалы Международной конференции «III Щукинские чтения» «Экологические аспекты теоретической и прикладной геоморфологии» (г. Москва, 16–17 мая 1995 г.). М.: Изд-во МГУ, 1995. С. 160–162.

Chen T., Cui P., Liu S., Hou L. Anthropogenic debris flow disasters and mitigation countermeasures in mineral resources exploitation in China // GongchengDizhiXuebao (Journal of engineering geology). 2005. Vol. 13. No. 2. Pp. 179–182. (In Chinese; abstract in English).

Germain D., Filion L., Héту B. Snow avalanche activity after fire and logging disturbances, northern Gaspé Peninsula, Quebec, Canada // Canadian

the low mountains]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology]*, 2007, no 4, pp. 342–347. (In Russian).

Kazakova E.N. Prirodnye lavinnye komplekсы beregov Sakhalina [Natural avalanche complexes of the Sakhalin coast]. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources]*, 2012, no. 4, pp. 184–187. (In Russian; abstract in English).

Kazakova E.N. Bobrova D.A. Antropogennye i prirodno-antropogennye lavinnye komplekсы (na primere o. Sakhalin) [Anthropogenic and natural-anthropogenic avalanche complex (Sakhalin Island)]. *Georisk [Georisk]*, 2015, no. 4, pp. 18–21. (In Russian; abstract in English).

Krasnosel'skii E.B. Vozniknovenie snezhnykh lavin v kar'erakh i zashchita ot nikh [Occurrence of snow avalanches in quarries and protection against them]. *Materialy Khibinskoi glyatsiologicheskoi konferentsii «Issledovaniya snega i lavin v Khibinakh» (gorod Kirovsk, 25–26 dekabrya 1972 goda) [Proceedings of the Khibiny glaciological conference «Investigations of snow and avalanches in Khibiny» (Kirovsk, December 25–26, 1972)]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1975, pp. 133–139. (In Russian).

Lobkina V.A., Kazakova E.N., Zhiruev S.P., Kazakov N.A. Metodika otsenki opolznevoi opasnosti territorii naseleennykh punktov (na primere goroda Makarov, Sakhalinskoi oblasti) [Methods of landslide risk assessment for territory of settlements of Sakhalin region (Makarov city, Sakhalin)]. *Tikhookeanskaya Geologiya [Pacific Geology (Russia)]*. 2013. Vol. 32. no. 5. pp. 100–109. (In Russian; abstract in English).

Mart'yanov V.L. Analiz prirodnykh faktorov opolznnya otkosa vneshnego otvala na razreze «Zarechnyi» [Analysis of natural factors of the landslide of the slope of the external dump at the Zarechny section]. *Sbornik statei uchastnikov VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi Internet-konferentsii «Rekul'tivatsiya vyrabotannogo prostranstva: problemy i perspektivy» (10–17 dekabrya 2021 goda) [Collection of articles of the participants of the 7th*

Journal of Earth Sciences. 2005. Vol. 42. No. 12. Pp. 2103–2116. DOI: [10.1139/e05-087](https://doi.org/10.1139/e05-087).

Sangeeta, Singh S.K. Influence of anthropogenic activities on landslide susceptibility: A case study in Solan district, Himachal Pradesh, India // Journal of Mountain Science. 2023. Vol. 20. Iss. 2. Pp. 429–447. DOI: [10.1007/s11629-022-7593-1](https://doi.org/10.1007/s11629-022-7593-1).

Shijian L., Hong X., Fangqiang W., Hongjiang, L. A man-caused debris flow in Xiaoqinling gold mining region // Mountain Research. 1996. Vol. 14. Iss. 4. Pp. 259–263.

International scientific and practical Internet conference «Recultivation of goaf: problems and prospects» (December 10–17, 2021). Belovo, Publ. of KuzSTU, 2022, pp. 34–43. (In Russian).

Muzychenko L.E., Muzychenko A.A. Rasprostranenie prirodnykh i antropogennykh selei na ostrove Sakhalin [Distribution of natural and man-made debris flows on Sakhalin Island]. *Trudy 6-i Mezhdunarodnoi konferentsii «Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita» (gorod Dushanbe–Khorog, Tadzhikistan, 20–26 sentyabrya 2021 goda) [Proceedings of the 6th International Conference «Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection» (Dushanbe–Khorog, Tajikistan, September 20–26, 2021)]*. Dushanbe, Publ. Promoushn, 2020, vol. 1, pp. 499–508. (In Russian; abstract in English).

Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR: 4 serii. Seriya 3. Mnogoletnie dannye: v 35 vypuskakh. Vypusk 34. Sakhalinskaya oblast' [Scientific-applied reference on the climate of the USSR: 4 series. Series 3. Multi-year data: in 35 issues. Issue 34. Sakhalin Region]. Ivanova G.P. (ed.). Leningrad, Publ. Gidrometizdat, 1990. 351 p. (In Russian).

Perov V.F. *Selevedenie: uchebnoe posobie [Mudflow science: study guide]*. Moscow, Publ. of MSU, 2012. 272 p. (In Russian).

Rybal'chenko S.V. *Dinamika razvitiya sklonovykh selevykh bassejnov na morskikh terrasah o. Sahalin. Avto-ref. diss. kand. geogr. nauk [Dynamics of development of slope mudflow basins on the sea terraces of Sakhalin Island. Ph. D. (Geographical) Thesis]*. Sankt-Peterburg, 2018. 28 p. (In Russian).

Sangeeta, Singh S.K. Influence of anthropogenic activities on landslide susceptibility: A case study in Solan district, Himachal Pradesh, India. *Journal of Mountain Science*, 2023, vol. 20, iss. 2, pp. 429–447. DOI: [10.1007/s11629-022-7593-1](https://doi.org/10.1007/s11629-022-7593-1).

Savarenskii F.P. Opyt postroeniya klassifikatsii opolznei [Experience in constructing landslide classification]. *Trudy Pervogo Vsesoyuznogo opolznevogo soveshchaniya (Nizhnii Kastropol' (Krym), 1934) [Proceedings of the First All-Union Landslide Conference (Nizhniy Kastropol' (Crimea), 1934)]*. Leningrad, Moscow, Publ. of Onti Glavnoi

redaktsii geologorazvedochnoi i geodezicheskoi literatury, 1935, pp. 29–37. (In Russian).

Shiji an L., Hong X., Fangqiang W., Hongjiang L. A man-caused debris flow in Xiaoqinling gold mining region. *Mountain Research*, 1996, vol. 14, iss. 4, pp. 259–263.

Sokratov S.A., Seliverstov Yu.G., Shnyparkov A.L., Koltermann K.P. Antropogennoe vliyanie na lavinnuyu i selevuyu aktivnost' [Anthropogenic effect on avalanche and debris flow activity]. *Led i sneg [Ice and snow (Russia)]*, 2013, vol. 53, no. 2, pp. 121–128. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.15356/2076-6734-2013-2-121-128](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-2-121-128).

Verhovov K.V., Rybal'chenko S.V. Formirovanie opolznei-potokov na otvalakh ugledobyvayushchikh predpriyatiyakh [Formation of landslides-flows on dumps of coal-mining enterprises]. *Priroda [Nature (Russia)]*, 2019, no. 2 (1242), pp. 70–76. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.7868/S0032874X19020091](https://doi.org/10.7868/S0032874X19020091).

Zyuzin Yu.L. *Surovyi lik Khibin [The harsh face of Khibiny]*. Murmansk, Publ. Reklamnaja poligrafija, 2006. 236 p. (In Russian).