Научная статья / Scientific paper
УДК: 627.141.1
DOI: 10.34753/HS.2025.7.3.242

Исследование селевых процессов на территории городского округа «Город Южно-Сахалинск»

С. В. Рыбальченко
Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия
e-mail: rybalchenko_sv@mail.ru

Аннотация. В связи с активным освоением западного макросклона Сусунайского хребта (сведение лесной растительности, строительство газопроводов, горнолыжных трасс, профилирование склонов под различные линейные и капитальные сооружения), отмечается активизация опасных экзогенных геодинамических процессов в том числе и селевых потоков. В 2023 г. в результате выпадения обильных осадков произошло массовое селеформирование в пределах Сусунайского хребта. В черте г. Южно-Сахалинск отмечался выход наносоводных потоков рр. Уюновка, Рогатка, Еланька, Хомутовка, руч. Больничный, Складской и др. В связи с этим были выполнены комплексные исследования подверженности территории городского округа «Город Южно-Сахалинск» селевым процессам. Для выполнения работ были определены природно-территориальные условия селеформирования исследуемой территории, включая азональные факторы, такие как возможный высотный градиент осадков, определен селевой режим территории и антропогенное воздействие. По результатам рекогносцировочного обследования селевых бассейнов достоверно установлены следы селепрохождений и селевая опасность обследованных водосборов. Максимальные объемы селей, отмеченные в пределах исследуемой территории, колеблются в пределах от 5 000 м^3 до 200 000 м^3, средняя глубина селевых потоков 2–3 м, на отдельных участках стесненного русла и в особо крупных бассейнах может достигать 4–5 м. На основе действующих технических нормативов выполнен расчет параметров селевого стока и основных динамических характеристик формирующихся селевых потоков, определены селеопасные зоны и адресный перечень объектов, расположенных в селеопасных зонах. В селеопасной зоне расположено около 10 % селитебной территории г. Южно-Сахалинск (25,6 км^2), 3175 объектов жилой и промышленной застройки. Проанализированы существующие сооружения инженерной защиты, их эффективность и недостатки, включая конструктивные и объемно-планировочные решения, проанализирована схема застройки селитебной территории г. Южно-Сахалинска, разработана стратегия ее защиты и порядок (очередность) реализации.

Ключевые слова: селевой режим; Сахалин; селеопасные зоны; селитебная территория; наносоводный поток; грязекаменный сель.

Для цитирования: Рыбальченко С.В. Исследование селевых процессов на территории городского округа «Город Южно-Сахалинск» // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2025. Т. 7. Вып. 3. С. 242–258. DOI: 10.34753/HS.2025.7.2.242.

Investigation of Debris Flow Processes in the Territory of the Yuzhno-Sakhalinsk City District

Svetlana V. Rybalchenko
Special Research Bureau for Automation of Marine Researchers, Far East Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
e-mail: rybalchenko_sv@mail.ru

Abstract. Due to the active development of the western macroslope of the Susunai range (reduction of forest vegetation, construction of gas pipelines, ski slopes, profiling slopes for various linear and capital structures), there is an intensification of dangerous exogenous geodynamic processes, including debris flows. In 2023, as a result of heavy precipitation, massive debris flows occurred within the Susunai range. Within the city

of Yuzhno-Sakhalinsk, low-density debris flow events were recorded on the Uyunovka, Slingshot, Elanka, and Khomutovka rivers, as well as on the Hospital and Warehouse streams. Therefore, comprehensive studies of the susceptibility of the territory of the Yuzhno-Sakhalinsk urban district to debris flow processes were conducted. As a part of this work, the natural and territorial conditions of the debris flow formation of the studied territory were determined, including azonal factors such as a possible high-altitude precipitation gradient, the debris flow regime of the territory and anthropogenic impact were determined. According to the results of the reconnaissance survey of debris flow basins, traces of debris flows and the debris flow hazard of the surveyed catchments have been reliably established. The maximum volumes of debris flows observed within the study area range from 5,000 m^3 to 200,000 m^3, the average depth of debris flows is 2–3 m, in some areas of a confined riverbed and in especially large basins it can reach 4–5 m. Based on the current technical standards, the calculation of the parameters of the debris flow and the main dynamic characteristics of the emerging mudflows was carried out, the debris flow-prone zones and the address list of objects located in debris flow -prone zones were determined. Approximately 10 % of the residential area of Yuzhno-Sakhalinsk (25.6 km^2), containing 3,175 residential and industrial buildings, lies within debris-flow-prone zones. The existing engineering protection structures, their effectiveness and disadvantages, including structural and spatial planning solutions, are analyzed, the scheme of development of the residential territory of Yuzhno-Sakhalinsk is analyzed, a strategy for its protection and the order (sequence) of implementation are developed.
Keywords: debris flow regime; Sakhalin land; debris flow-prone zones; residential areas; low-density debris flow; debris flow.
For citation: Rybalchenko S. V. Investigation of Debris Flow Processes in the Territory of the Yuzhno-Sakhalinsk City District. Hydrosphere. Hazard processes and phenomena, 2025, vol. 7, iss. 3, pp. 242–258. DOI: 10.34753/HS. 2025.7.3.242. (In Russian; abstract in English).

Введение

В связи с интенсивным освоением западного макросклона Сусунайского хребта, повреждением древесной растительности в результате ветровалов в 2014–2015 гг. в бассейнах рек, берущих свое начало в Сусунайском хребте, отмечается активизация опасных экзогенных геодинамических процессов, в том числе селевых потоков, создающих угрозу для территории города Южно-Сахалинска. В частности, при выпадении ливневых осадков 01.09.2023 отмечен массовый сход селевых потоков, как природного, так и антропогенного происхождения с выходом на территорию г. Южно-Сахалинск.

Для территории г. Южно-Сахалинск представляют опасность селевые потоки, формирующиеся в селевых бассейнах Сусунайского хребта: рр. Бурея, Еланька, Зима, Колка, Красносельская, Рогатка, Уюновка, Хомутовка, Христофоровка, ручьи Больничный и Складской (рисунок 1). Стоит отметить, что фактических данных о селях, сходивших в Сусунайском хребте, крайне мало. Вопросам развития и распространения селевых процессов на исследуемой территории посвящены отдельные работы Казакова Н.А., Жуковой З.И., Музыченко Л.Е., Казакова Е.Н., Генсиоров-ского Ю.В., Рыбальченко С.В., Куровской В.А. и др. [1–15].

Однако, работы по комплексной оценке подверженности селевым процессам наиболее опасной с точки зрения потенциального ущерба от селевых процессов территории городского округа (ГО) «Город Южно-Сахалинск», с использованием современных ГИС и инструментальных методов, действующих технических нормативов с последующей верификацией полученных расчетных данных на основе полевых материалов, собранных непосредственно после массового селепрохождения, с составлением подробных карт селевой опасности и адресного перечня объектов в форматах ГИС, выполнены для исследуемой территории впервые.

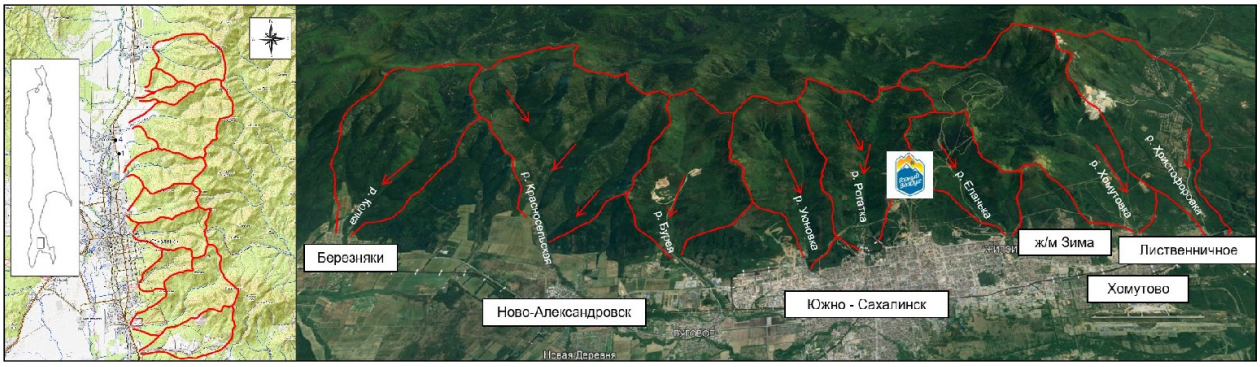


Рисунок 1. Схема участка работ (исследуемые селевые бассейны указаны красным контуром)
Figure 1. Diagram of the work site (the investigated debris flow basins are indicated by a red outline)

Цель работы: на основании научных разработок и материалов полевых работ, определить особенности и режим селевых процессов в речных бассейнах западного макросклона Сусунайского хребта, а также подверженность территории ГО «Город Южно-Сахалинск» селевым процессам.

Результаты работы позволят использовать подготовленные материалы для предотвращения потенциальной угрозы населению и объектам инфраструктуры от селевых процессов.

Материалы и методы исследования

В рамках работы был выполнен сбор, анализ и систематизация исходных данных по исследуемой территории в том числе в отношении материалов фондовых и архивных данных, научных публикаций по исследуемой территории, справочных сведений УГМС, результатов инженерных изысканий по объектам капитального строительства, расположенным в исследуемом районе, а также полевые работы и рекогносцировочное обследование селевых бассейнов и их морфодинамических зон.

В ходе сбора исходных данных были проанализированы представленные по запросу государственными и муниципальными Заказчиками материалы инженерно-гидрометеорологических и инженерно-геологических изысканий по исследуемому району. Были проанализированы материалы инженерных изысканий по 37 объектам, выполненные в период 2014–2023 гг. в исследуемом районе. При анализе данных материалов изысканий установлено, что на большинстве водотоков, несмотря на селеопасность района изысканий, специализированные изыскания по оценке селевой опасности не проводились. Оценка селевой опасности выполнена только для 4 объектов. Для остальных объектов в материалах инженерных изысканий формально указано, что сели не отмечены, что не соответствует фактическим данным и многочисленным зарегистрированным случаям селеформирования, а также противоречит материалам по оценке селевой опасности для указанных выше объектов, в отношении которых оценка селевой опасности проводилась. В проанализированных изысканиях значительно разнятся данные по принятым суточным максимумам осадков (мм), которые составляют 118–236 мм, при этом согласно данным таблицы 4.1 СП 131.13330.2018 «Строительная климатология»[1] суточный максимум осадков для территории г. Южно-Сахалинска составляет 131 мм.

Инженерно-геологические изыскания, выполненные по указанным объектам, позволили с достаточной вероятностью сформировать представление об инженерно-геологических условиях и геологической среде, вмещающей селевые бассейны.

[1] СП 131.13330.2018 «Строительная климатология» М., 2018

Гидрометеорологические и гидрологические аспекты природно-территориальных условий равнинных селитебных районов изучены достаточно хорошо на основе многолетних наблюдений на м/с «Южно-Сахалинск» и гидрологическом посту на р. Рогатка. Данные многолетних стационарных наблюдений дают общее представление о гидрологическом характере большинства водотоков западного макросклона Сусунайского хребта, что позволяет определять бытовые расходы водотоков и соответствующие им гидрологические характеристики.

Были выполнены работы по оценке влияния высотного градиента на суточные максимумы осадков, используемые для расчета параметров селевого стока. Фактическая оценка возможного высотного градиента суточных максимумов осадков была выполнена инструментальным способом посредством сети автоматических дистанционных осадкомеров. Сеть из 6 автоматических осадкомеров, установленных на различных гипсометрических уровнях в пределах водосборных бассейнов и водоразделов руч. Больничный и р. Еланька (абс. отм. 85, 92, 198, 280, 588, 740 м), была реализована на базе системы автоматического мониторинга «САМ-ГО», разработанной в ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН». Оба водотока относятся к селеносным по фактически зарегистрированным случаям селепроявления и ущербам для селитебной территории.

На этапе сбора исходных данных были проанализированы научные работы по тематике селевой опасности в исследуемом районе. Несмотря на большой объем выполненных работ по изучению селевых процессов на территории Сахалина, современное состояние селевых бассейнов в Сусунайском хребте в полном объеме не исследовано, что не позволяет достаточно точно выполнить прогноз формирования крупных селевых потоков большого объёма, представляющих угрозу для исследуемой селитебной территории, а также определить параметры возможных селевых потоков и селевого стока.

Были проведены полевые работы и рекогносцировочное обследование селевых бассейнов: по характерным признакам (обитостям на деревьях, селевым отложениям, следам корразии и мобилизации четвертичных отложений) определены и координированы посредством GPS морфодинамические зоны селевых бассейнов, в том числе зоны зарождения, транзита и аккумуляции, селевые очаги, очаги твердого питания селей и участки прохождения послеселевого паводка, по высоте заплесков в отдельных морфостворах установлена высота прошедшей селевой волны, установлены и обмерены инструментально (посредством мерной рейки и лазерного дальномера) в части фракционного состава, в том числе отдельных селевых глыб и общего объема твердого выноса отложения селевых потоков 31.08 – 01.09.2023 г., а также отдельных наиболее крупных исторических селей, отложения которых были вскрыты селепрохождением в 2023 г. (рисунок 2).

Результаты исследования и их обсуждение

В геоморфологическом отношении территория городского округа «Город Южно-Сахалинск» расположена в долине р. Сусуя у подножия западного макросклона Сусунайского хребта. Рельеф территории крутосклонный, глубокорасчлененный с высокой потенциальной энергией. Глубина расчленения территории на отдельных участках превышает 600 м, естественная крутизна залесенных склонов долин рек и ручьев изменяется в пределах 15–25º и круче на отдельных участках. Несмотря на относительно небольшие гипсометрические уровни в условиях низкогорья, относительные превышения водоразделов над тальвегами обеспечивают формирование селей с высокими динамическими характеристиками.



Рисунок 2. Проведение рекогносцировочного обследования селевых бассейнов: а) р. Уюновка. Июнь 2024 г., б) р. Рогатка. Июнь 2024 г.

Figure 2. Conducting a reconnaissance survey of debris flow basins: a) the Uyunovka River. June 2024, b) Rogatka River. June 2024

В геологическом строении исследуемой территории принимают участие метаморфические породы красносельской свиты. Данные образования относятся к палеозой-мезозойскому зеленокаменному комплексу, в его составе преобладают хлорито-серицитовые окварцованные сланцы, также представлены кварциты и серпентиниты [16]. Породы относятся к устойчивым, очень прочным, образующим крутосклонные формы рельефа с глубокими горными врезами и бортами крутизной свыше 25°. При этом несмотря на широкое распространение относительно прочных горных пород, активные процессы выветривания и денудации приводят к повсеместному распространению раздельнозернистых или

слаболитифицированных четвертичных отложений различных генетических типов, которые и формируют селевые очаги и очаги твердого питания селей. Такое сочетание распространения различных по своей крепости горных пород приводит к формированию в верховьях водотоков консистентных связных грязекаменных селей со значительным содержанием каменно-глыбового материала, в среднем и нижнем течении несвязных наносоводных потоков с высокой транспортирующей способностью и обильным количеством влекомых глыб.

Территория также характеризуется значительным увлажнением, обусловленным геопространственным положением региона в переходной зоне «океан–материк» с интенсивной атмосферной циркуляцией и тепломассопереносом [17]. Для региона характерен муссонный климат и высокая циклоническая активность [18].

Учитывая определяющую роль суточного максимума осадков в расчете параметров селевого стока и характеристик русловых селевых потоков, в рамках данной работы выполнена оценка распределения осадков с учетом возможного влияния циркуляции атмосферы и высотного градиента распределения осадков. За период наблюдений сети в 2024 г. автоматических осадкомеров было зафиксировано 6 репрезентативных событий с фактически измеренным суточным максимумом осадков 19–56 мм. Наблюдения проводилось в благоприятный период года наибольшей циклонической активности. При этом в августе месячная сумма осадков по данным ГМС «Южно-Сахалинск» составила 248,2 мм[2] при среднем количество осадков за август 94 мм, что в 2,6 раза выше нормы. Таким образом можно сделать вывод о репрезентативности полученных данных автоматических осадкомеров за указанный период наблюдений. В таблице 1 приведены данные наблюдений осадкомеров и ГМС «Южно-Сахалинск» за 2024 г. Предполагалось, что в связи с наличием высотного градиента осадков суточные максимумы осадков, влияющие на параметры селей, будут значительно выше в горной местности с увеличением абсолютной высоты, однако данные наблюдений автоматических осадкомеров, представленные в таблице 1, свидетельствуют об отсутствии выраженного высотного градиента суточных максимумов осадков, а также влияния румбов господствующих ветров во время осадков в исследуемом районе (в период наблюдения отмечались румбы северных и южных направлений). При этом по данным многолетних стационарных наблюдений отмечена тенденция увеличения суммарного количества осадков с увеличением абсолютной высоты водосборной площади, однако эта тенденция отмечается только для длительных периодов наблюдений в течение периода (теплого/холодного) или года, что очевидно может быть обусловлено продолжительностью и частотой осадков.

При этом, учитывая, что сели относятся к краткосрочным явлениям, в отличие от паводков, и на основе действующих технических нормативов (Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03-76…, 1976)[3] именно суточный максимум осадков установлен в качестве определяющего гидрометеорологического фактора для качественной и количественной оценки селевых процессов. В качестве суточного максимума осадков для расчетов параметров селевого стока и селевых потоков приняты фактически зарегистрированные исторические суточные максимумы осадков (по ГМС «Южно-Сахалинск» – 131 мм (2001 г.)).

[2] Официальный сайт «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД)» – http://meteo.ru [Электронный ресурс]

[3] Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03-76. Л.: Гидрометеоиздат, 1976 г.

Таблица 1. Сравнительные данные автоматических осадкомеров (суточные максимумы осадков) за 2024 г.
Table 1. Comparative data from automatic precipitation gauges (daily precipitation maximums) for 2024

Дата явления (период наблюдений суточный)	ГМС «Южно-Сахалинск» (22 м)	руч. Больничный			р. Еланька		
		Осадкомер № 425 (92 м)	Осадкомер № 427 (280 м)	Осадкомер № 429 (588 м)	Осадкомер № 428 (85 м)	Осадкомер № 426 (198 м)	Осадкомер № 430 (740 м)
04.08	97,5	-	-	47,8	-	-	-
13.08	53,0	51,4	53,6	53,4	-	56,2	28,8
22.08	42,4	39,8	36,6	41,2	-	49,0	0
31.08	31,0	26,4	24,0	23,2	-	27,4	0
05.09	23,0	23,0	24,6	29,6	-	29,4	15,6
01.10	21,0	17,2	18,6	12,8	18,2	17,2	0,2
23.10	48,0	18,8	18,4	11,0	18,8	19,2	0,2

Геоботанические условия в значительной мере не препятствуют развитию селевых процессов, однако незначительно снижают их частоту. При этом за последние годы в связи с высокой антропогенной нагрузкой на горные и предгорные территории отмечается ухудшение геоботанических условий. Значительные объемы леса до 10 % от общей площади сведены под линейные и площадные объекты (дороги, инженерные коммуникации, горнолыжные трассы и канатные дороги, жилую застройку и др.), а также размещение участков горных работ (карьеры, породные отвалы), что приводит к увеличению склонового стока и активизации склоновых процессов.

В целом природно-территориальные геоморфологические условия района благоприятны для развития экзогенных процессов, в том числе селей различных структурно-реологических типов.

В рамках сбора исходных данных были выполнены полевые работы и рекогносцировочное обследование территории селевых бассейнов и предполагаемых участков воздействия селевых процессов. По результатам полевых исследований водотоков западного макросклона Сусунайского хребта, было установлено, что селевыми процессами затронуты все обследованные водотоки. Зоны зарождения селей преимущественно находятся на абсолютных отметках 300–900 м. Наиболее активными в селевом отношении являются верхние и средние части долин рек (горные и предгорные участки). В зоне транзита селевых потоков на участках подмываемых берегов и активных русловых деформаций происходит повторная активизация селевых процессов при развитии эрозионно-транспортного селевого процесса. На территории исследования выделяется основной генетический тип селей: дождевой. Типы селевых процессов: сдвиговый, эрозионно-сдвиговый и эрозионно-транспортный. Очаги твердого питания селей расположены на всем протяжении водотоков, за исключением устьевой части, которая зачастую значительно заболочена и заозерена. Структурно-реологические типы селей: формируются связные и несвязные селевые потоки (грязекаменные и наносоводные). Связные сели формируются в верховьях водотоков и проходят по их руслам от 0,1 до 4,0 км, после чего происходит отложение основной массы твердого материала и трансформация селей в наносоводные потоки.

По данным полевых работ можно говорить о том, что максимальные объемы селей, отмеченные и обмеренные инструментально (при помощи лазерного дальномера и геодезической рейки) в пределах исследуемой территории, колеблются в пределах от 5 000 м^3 до 200 000 м^3, средняя глубина селевых потоков 2–3 м, на отдельных участках стесненного русла и в особо крупных бассейнах может достигать 4–5 м.

Селевые отложения представлены глыбово-валунными и дресвяно-щебнистыми отложениями с супесчано-суглинистым заполнителем. Мощность селевых отложений за 1 явление составляет от 0,5 до 2 м. Помимо природных селей, в Сусунайском хребте зафиксировано формирование антропогенных селевых потоков, вызванных складированием отвалов пустой породы карьеров и выемок в зонах зарождения и транзита селей.

В рамках работы определен селевой режим исследуемой территории, что позволяет оценить вероятность негативных последствий сходя селевых потоков для селитебной территории. Селевой режим территории подразумевает пространственно-временную цикличность селевых процессов, зависимую от определённых природно-территориальных факторов или их комплекса, имеющих закономерность распространения и сочетание или же случайное распределение.

Для определения селевого режима исследуемой территории был использован метод зависимости между установленными случаями селеформирования и определяющими селеформирующими факторами. Поскольку селевые процессы в зависимости от типа селевого процесса: сдвигового, эрозионно-сдвигового или эрозионно-транспортного могут классифицироваться как экзогенные процессы водно-гравитационного или флювиального характера, в качестве рассматриваемых определяющих селеформирующих факторов приняты геологический и гидрометеорологический факторы.

Геологический фактор определяет скорость формирования потенциальных селевых массивов и очагов твердого питания селей. При этом цикличность геологического фактора сопряжена прежде всего со скоростью выветривания горных пород. Установлено, что при формировании склоновых связных грязевых и грязекаменных селей толщина горных пород, вовлеченных в сдвиговый селевой процесс на начальной стадии мобилизации селевого массива, соответствует мощности деятельного слоя сезонного замерзания-оттаивания (0,5–3,0 м), что подтверждает влияние цикличности геологического фактора на селевые процессы. При этом формирование потенциального селевого массива на глубину деятельного слоя в связи с широким распространением на территории Сахалина, в том числе в горной части, слабо литифицированных горных пород с низкими значениями физико-механическими свойствами, происходит уже в течение 2–3 лет. Стоит отметить, что данные сели отмечаются практически ежегодно, зачастую имеют небольшие объемы (первые десятки и сотни м^3), формируются при динамическом развитии небольших оплывин и вязкопластичных оползней.

Для антропогенных селей с породных отвалов формирование небольших селей отмечается ежегодно, однако это не имеет отношение к цикличности геологического фактора, поскольку техногенные грунты изначально обладают низким сцеплением при их слабой консолидации.

Формирование селей объемом свыше 1000 м^3, в том числе антропогенных, не имеет прямой зависимости от годовой цикличности геологического фактора, поскольку их частота формирования происходит значительно реже и зависит преимущественно от режима увлажнения территории, предшествующего увлажнения и выпадения селеформирующих суточных сумм осадков. При этом геологический фактор также опосредовано оказывает влияние на данные селевые процессы, поскольку после разгрузки селевых очагов и очагов твердого питания селей, требуется период формирования потенциальных селевых массивов.

В отличие от геологического фактора гидрометеорологический фактор на территории Сахалина имеет определяющую роль в формировании крупных селей, в том числе катастрофических. Для определения многолетних селеформирующих периодов, обусловленных гидрометеорологическим фактором и установления зависимости селевого режима от режима увлажнения территории первоначально были собраны данные о случаях селеформирования.

Результаты полевых исследований (в том числе, оценка возраста селевых отложений по результатам дендрохронологического анализа) и анализ архивных материалов показывают, что

грязекаменные и наносоводные селевые потоки формировались в Сусунайском хребте в 1875, 1924, 1928, 1930, 1944, 1947, 1955, 1964, 1970, 1981, 1987, 1992, 1993, 2001, 2002, 2003, 2009 и 2023 гг., выход селевых потоков на территорию города отмечался в 1875, 1930, 1947, 1981 и 2023 гг. [7, 15].

Для определения зависимости периодов массового селеформирования от цикличности гидрометеорологического фактора были проанализированы достоверно задокументированные случаи селеформирования и гидрометеорологические факторы, при которых они формировались (рисунок 3).

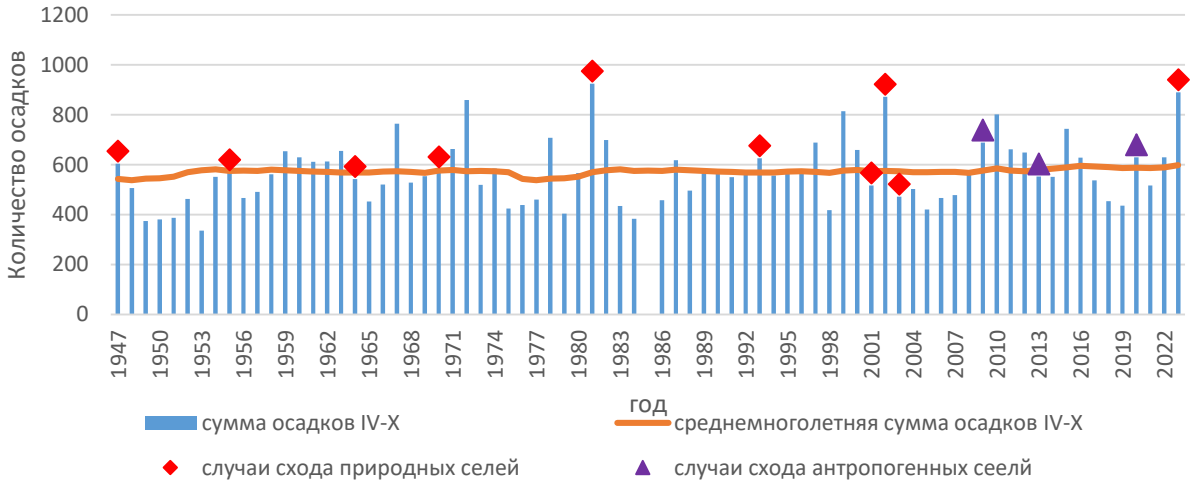


Рисунок 3. Суммы осадков теплого периода по ГМС "Южно-Сахалинск" и случаи схода селей в Сусунайском хребте за период 1947–2023 гг.

Figure 3. Precipitation totals of the warm period according to the Yuzhno-Sakhalinsk HMS and cases of debris flow in the Susunai range for the period 1947–2023

Согласно данным рисунка 3, периоды массового селеформирования достоверно коррелируются с периодами превышения среднемноголетней сумма осадков теплого периода (апрель–октябрь) по ГМС «Южно-Сахалинск», которая составляет 598 мм (по данным ВНИИГМИ МЦД на 2024 г.)[2]. Периоды массового переувлажнения территории отмечались в 1947, 1955,1967, 1971, 1972, 1981, 1982, 1987, 1999, 2009, 2010, 2012, 2015, 2016, 2020 и 2023 гг.

Таким образом, определяющую роль для селеформирования на исследуемой территории играют жидкие осадки, которые в рассматриваемом районе отличаются большой интенсивностью, что способствует формированию именно селей дождевого генезиса. На основе анализа многолетних наблюдений установлено, что селеобразующие суммы осадков в исследуемом районе составляют 50 мм за сутки (в зависимости от степени предшествующего увлажнения пород потенциальных селевых массивов) [4, 6]. За период 1947–2024 гг. по ГМС «Южно-Сахалинск» зафиксирован 61 случай выпадения осадков более 50 мм/сутки, в том числе 4 случая выпадения осадков более 100 мм/сутки: 16.09.1947 (106,7 мм), 05.08.1981 (115,5 мм), 23.08.2001 (131,4 мм), 01.09.2023 (104,2 мм).

Учитывая выявленную зависимость между периодами массового селеформирования, селевыми катастрофами и режимом осадков, полученные данные об исторических селях сверялись с данными о селеформирующих осадках. Период формирования катастрофических селей на исследуемой территории составляет раз в 40–50 лет (1875, 1947, 1981 и 2023 гг.) и соответствует прохождению интенсивных осадков 1–3 % обеспеченности, при обязательном предварительном увлажнении территории выше среднемноголетней суммы осадков для установленного периода. В среднем для селей на территории городского округа «Город Южно-Сахалинск» период селеформирования составляет раз в 5–7 лет, при выпадении селеформирующей суммы осадков интенсивностью 50 мм/сут и предшествующем увлажнении территории [4, 6].

Также стоит отметить, что предшествующее интенсивное увлажнение территории в теплый период года может приводит к формированию селей в течении нескольких лет подряд до полной разгрузки потенциальных селевых массивов, такие периоды отмечались в 1970–1972, 1981–1982, 2001–2003, 2009–2010 и 2023–2024 гг. Формирование мелких склоновых связных селей происходит ежегодно в связи с цикличностью геологического фактора: выветриванием горных пород на глубину сезонного деятельного слоя замерзания-оттаивания и формированием потенциальных селевых массивов.

Определение селеопасных зон, в том числе зон непосредственного воздействия селевых потоков и послеселевых паводков, является одной из приоритетных прикладных задач при определении селевой опасности речных бассейнов. Для определения селеопасных зон по заданным морфостворам, были выполнены расчеты основных параметров селевого стока и динамические характеристики формируемых селевых потоков 1 % обеспеченности, приведенные в таблице 2, в соответствии с действующими техническими нормативами ВСН 03-76 и ОДМ 218.2.052-2015.

Таблица 2. Динамические характеристики селевых потоков
Table 2. Dynamic characteristics of debris flows

Название водотока	Площадь водосбора, кв. км	Протяжённость, км	Уклон селевого русла, ‰	Максимальная глубина селевого потока 1% обеспеченности, м	Скорость селя 1% обеспеченности по ОДМ218.2.052-2015, м/с	Максимальная скорость селя 1% по ОДМ218.2.052-2015, м/с	Максимальный расход селевого паводка Q с вероятностью превышения 1%, м³/с	*Объем выноса твердых материалов за расчетный/инструментально измеренный максимальный сель, тыс. м3	Структурно-реологический тип селя	Тип селевого процесса	Тип селя	Тип ПСМ
р. Бурея	13,4	4,45	169	3,2	3,6	6,4	170,1	178,4/~160	несвязные, связные	сдвиговый, эрозионно-сдвиговый, эрозионно-транспортный	наносоводный, грязекаменный	накопления, обводнения
р. Еланька	5,09	1,83	279	3,3	4,0	7,1	148,1	64,7/~55				
р. Зима	2,03	2,39	175	1,35	2,8	5,0	31,2	13,4/-				
р. Колка	25,2	8	108	3,1	3,2	5,7	177,1	312,9/-				
р. Красносельская	29,9	8,8	105	3,23	3,3	5,9	196,9	384,3/-				
р. Пригородный	2,46	2,38	228	1,89	2,9	5,2	50,6	25,2/-				
р. Рогатка	16,1	4,19	199	4,5	2,3	4,1	226,3	229,1/~200				
р. Уюновка	14,9	6,23	153	3,2	3,4	6,1	169,5	249,9/~220				
р. Хомутовка	7,58	1,53	317	4,1	4,1	7,3	217,1	78,4/-				
р. Христофоровка	15,4	5,38	157	3,56	2,8	5,0	203,2	273,9/-				
р. Складской	2,62	1,76	55,5	2,1	2,7	4,8	90,2	33,5/-				
р. Больничный	2,29	1,01	79,9	2,0	2,8	5,1	104,3	24,8/-				

*Данные объема выноса твердых материалов за максимальный сель инструментально измеренные (тыс. м^3) приведены только для водотоков, на которых в рамках полевых работ были четко идентифицированы отложения исторических селей и границы их аккумуляции

Полученные данные по объему твердого выноса и селевым уровням сверялись с материалами рекогносцировочного обследования на предмет их репрезентативности и достоверности. Стоит отметить, что в условиях редкой повторяемости селей данные о фактических параметрах селевых потоков, полученные по материалам полевых работ, могут выступать только в качестве верификационных сведений.

На основе цифровой модели рельефа (ЦМР) и вычисленного значения наивысшего селевого горизонта определены зоны воздействия селевых потоков и послеселевых паводков – селеопасные зоны. Список объектов, расположенных в селеопасной зоне, определен на основе открытых картографических сервисов при наложении в цифровом формате селеопасных зон операторским методом. В селеопасной зоне расположено около 10 % селитебной территории города Южно-Сахалинск (25,6 км^2), 3175 объектов жилой и промышленной застройки.

В рамках проектных работ одной из основных задач является выбор стратегии инженерной защиты селитебной территории с учетом особенностей ее планировки и динамики селевых потоков.

Основным действующим техническим нормативом при создании инженерной защиты от селей в настоящий момент является СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов»[4]. Несмотря на то, что сели относятся к опасным гидрометеорологическим явлениям, вопросы инженерной защиты от данных процессов рассмотрены в указанном нормативе. Описание отдельных противоселевых сооружений также рассмотрены в ОДМ 218.2.052-2015 «Проектирование и строительство противоселевых сооружений для защиты автомобильных дорог»[5].

При разработке мероприятий по инженерной защите от селевых потоков был проанализирован имеющийся опыт проектирования, строительства и эксплуатации сооружений инженерной защиты для исследуемой территории или в аналогичных природно-территориальных условиях. В рамках данной работы были проанализированы существующие селезащитные сооружения на территории СТК «Горный воздух» возведенные в 2018–2024 гг. на рр. Хомутовка, Еланька, руч. Больничный и их притоках. Также были проанализированы существующие сооружения инженерной защиты на р. Рогатка в пределах селитебной территории. На основе проанализированного опыта строительства и эксплуатации сооружений инженерной защиты на территории ОАУ «СТК «Горный воздух», в том числе в условиях периода массового селеформирования, отмеченного на исследуемой территории в 2023 г. (формирование катастрофических селей редкой повторяемости 1–3 % обеспеченности за период эксплуатации сооружений не отмечено), можно сделать вывод об эффективности данных селепропускных сооружений и их стойкости к селевым процессам. Также высокой эффективностью обладают сооружения инженерной защиты русла р. Рогатка на участке ул. Комсомольская – Физкультурная. При этом сооружения инженерной защиты по р. Рогатка, расположенные ниже указанного участка, не обладают достаточной эффективностью поскольку не обладают достаточной пропускной способностью и селенаправлющими сооружениями в верхнем бьефе, что является существенным конструктивным недостатком. Для всех сооружений инженерной защиты стоит рассматривать комплексный подход к объемно-планировочным и конструктивным решениям, в том числе обустройство верхнего и нижнего бьефов для уравновешивания потоков, селенаправляющие сооружения в верхнем бьефе,

[4] СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов». М., 2013.
[5] ОДМ 218.2.052-2015 «Методические рекомендации по проектированию и строительству противоселевых сооружений для защиты автомобильных дорог» М., 2015.

в том числе с использованием существующего рельефа – земляных полотен автодорог и др., устройства гашения энергии потока, защита от подмыва сооружений («зуб» из скального негабарита или ГСИ, противоэрозионный фартук из ГСИ и др.). При этом стоит отметить относительно высокие капитальные вложения на строительство селепропускных сооружений, особенно на крупных водотоках с застройкой по обоим берегам, требующих строительства двухсторонних селепропускных и селенаправляющих сооружений.

Таким образом, на основе имеющегося опыта сооружений инженерной защиты на исследуемой территории, в качестве наиболее эффективного и при этом дорогостоящего мероприятия по инженерной защите от селевых процессов стоит рассматривать селепропускные и селенаправляющие сооружения. Реализация данных мероприятий наиболее целесообразна на участках русла с потенциально высоким ущербом для территории, значительно превышающим капитальные затраты на реализацию мер по инженерной защите. Реализация селепропускных сооружений также экономически целесообразна на относительно небольших водотоках, в том числе для защиты от повторной активизации селевых процессов на селитебной территории и активизации процессов русловых деформаций, при условии значительного превышения потенциального материального ущерба в сравнении с затратами на сооружение инженерной защиты.

При принятии решений по защите от селей стоит рассматривать вопрос комплексной инженерной защиты, в том числе от генетически родственных селям опасных экзогенных процессов: затопления, русловых деформаций, и рассматривать эффективность и экономическую целесообразность всей комплексной инженерной защиты.

Условно все потенциально защищаемые объекты и территории можно разделить на три группы по их значимости. В первую очередь определяются наиболее важные и первоочередные для защиты объекты и территории, к которым зачастую относятся объекты критической инфраструктуры, далее объекты наиболее крупной жилой, общественно-деловой и производственной застройки, а также территории их потенциального размещения в рамках градостроительной документации, в последнюю очередь рассматриваются рекреационные территории, объекты средней и мелкой производственной застройки, разреженной жилой застройки, малоэтажной, индивидуальной жилой и дачной застройки, территории сельскохозяйственного назначения и вся сопутствующая инфраструктура указанных менее приоритетных объектов, обладающих малой экономической эффективностью при реализации мер по инженерной защите. Комплексные мероприятия по инженерной защите территории и объектов рекомендовано реализовывать поэтапно в зависимости от значимости. При поэтапной реализации мер инженерной защиты в обязательном порядке проводится мониторинг и оценка эффективности реализуемых мероприятий с возможностью их дальнейшей доработки и корректировки в соответствии с требованиями СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов» к экспериментальным сооружениям.

Выбор типов защитных сооружений (селезадерживающих, селепропускных, селенаправляющих, стабилизирующих, селепредотвращающих, организационно-технических) выполняется на основе анализа положения защищаемого объекта или территории относительно морфодинамической зоны селевого бассейна, а также возможности и экономической целесообразности реализации объемно-планировочных и конструктивных решений на конкретном участке. Предпочтение также стоит отдавать сооружениям комплексной защиты, которые помимо селей защищают и от других опасных экзогенных процессов, например затопления и подтопления территории.

Для территории г. Южно-Сахалинска на основе выполненных работ предложена следующая стратегия инженерной защиты от селевых процессов (рисунок 4):

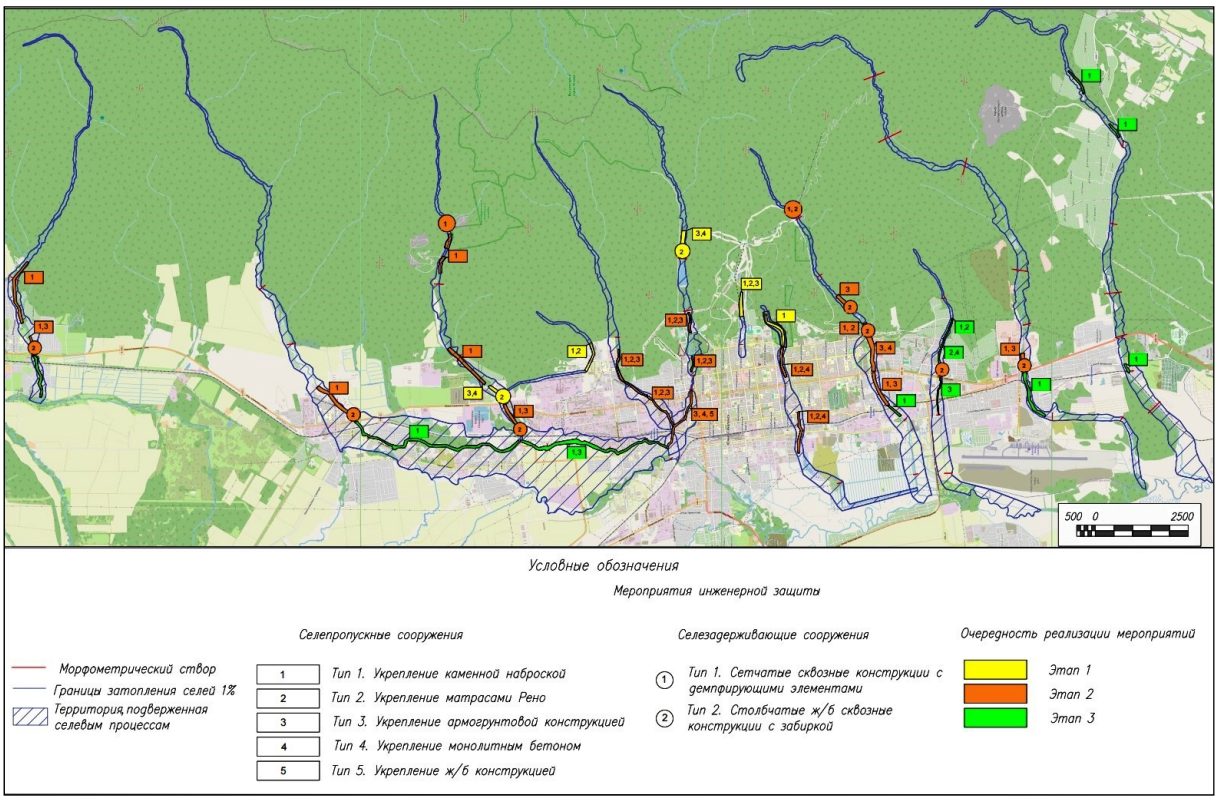


Рисунок 4. Мероприятия по инженерной защите от селевых процессов на территории г. Южно-Сахалинск

Figure 4. Measures for engineering protection against debris flow processes in the city of Yuzhno-Sakhalinsk

1) На горной территории, на участках движения консистентных грязекаменных селей, для защиты реализуемых крупных капитальных объектов туристической инфраструктуры и их вспомогательных объектов (канатных дорог, гостиниц, подстанций, автомобильных дорог, мостов и др.) при экономическом обосновании устройство селепропускных (в стесненных условиях) и селенаправляющих сооружений для защиты точечных объектов от селевых потоков, в том числе железобетонных или обетонированных армогрунтовых селепропусков или селенаправляющих дамб. При отсутствии экономической целесообразности изменение планово-высотного положения объектов за границами селеопасных зон. Реализация мероприятий инженерной защиты объектов выполняется в составе самих объектов.

2) В предгорной части, в местах преимущественной аккумуляции наносоводных селевых потоков, для защиты наиболее важных объектов критической инфраструктуры 1-ой группы значимости (автомобильных и железнодорожных мостов, ГТС питьевых водозаборов) устройство селезадерживающие сооружений в виде сквозных селеуловителей (сетчатых, столбчатых) для остановки твердой фазы селевого потока и осветления селя.

3) На равнинной части, на участках движения селевых паводков и возможной повторной активизации наносоводных селей при развитии эрозионно-транспортного селевого процесса, для объектов второй группы значимости стабилизирующие и селепредотвращающие сооружения в виде берегоукрепления железобетонных, армогрунтовых конструкций или каменной наброски из скального негабарита. Для объектов третьей группы укрепление русла из ГСИ и скального негабарита: только при условии комплексного благоустройства территории для целей рекреации или застройки.

Вне зависимости от группы значимости для всех селеносных русел рекомендован комплекс организационных мероприятий в виде расчистки русла и поймы от наносов, санитарные рубки деревьев для предотвращения карчеходов и заломов.

Выводы

На исследуемой территории городского округа «Город Южно-Сахалинск» определено наличие комплекса благоприятных для селеформирования природно-территориальных условий, включая геоморфологический, геологический, гидрометеорологический, геоботанический и антропогенный факторы.

В рамках работы было выполнено рекогносцировочное обследование селевых бассейнов Западного макросклона Сусунайского хребта, после периода массового селепрохождения 31.08 – 01.09.2023 с фиксацией прямых признаков и следов селепрохождений, отмечены отдельные параметры селевых потоков и селевого стока по прямым признакам. Собраны и проанализированы исходные данные по исследуемому району в части селевых процессов и селеформирующих факторов: архивные и фондовые данные, материалы стационарных наблюдений, научные публикации, материалы инженерных изысканий, результаты полевых работ.

На основе установленной зависимости между периодами массового селеформирования, селевыми катастрофами и режимом осадков, анализа фондовых данных о зарегистрированных селях, подтвержденными результатами рекогносцировочных обследований и методами дешифровки исторических селей, установлен селевой режим территории. В среднем для селей на территории городского округа «Город Южно-Сахалинск» период селеформирования составляет раз в 5–7 лет, при выпадении селеформирующей суммы осадков интенсивностью 50 мм/сут, и предшествующем увлажнении территории. Период формирования катастрофических селей на исследуемой территории составляет раз в 40–50 лет (1875, 1947, 1981 и 2023 гг.) и соответствует прохождению интенсивных осадков 1–3 % обеспеченности, при обязательном предварительном увлажнении территории выше среднемноголетней суммы осадков для установленного периода.

При помощи инструментального способа (измерений сети автоматических осадкомеров) на основе собранных и проанализированных данных, выявлено отсутствие выраженного высотного градиента суточных максимумов осадков на исследуемой территории. При этом фондовые данные подтверждают зависимость сумм осадков от гипсометрических уровней при более длительных периодах наблюдений (месячных, годовых).

На основе действующих технических нормативов и принятых методик для расчетных морфостворов определены параметры селевого стока и селевых потоков, селеопасные зоны.

На основе действующих технических нормативов выполнен расчет параметров селевого стока и основных динамических характеристик формирующихся селевых потоков. Полученные расчетным путем параметры селевого стока и динамические характеристики формируемых селевых потоков 1 % обеспеченности, подтверждены данными рекогносцировочного обследования в части отмеченных селевых уровней и объемов твердого стока, что подтверждает репрезентативность выполненных расчетов достаточных для дальнейшего определения селеопасных зон в пределах исследуемой территории. На основе ЦМР и вычисленного значения наивысшего селевого горизонта определены селеопасных зоны и адресный перечень объектов, расположенных в селеопасных зонах. В селеопасной зоне расположено около 10 % селитебной территории города Южно-Сахалинск (25,6 км^2), 3175 объектов жилой и промышленной застройки.

Проанализированы существующие сооружения инженерной защиты, их эффективность и недостатки, включая конструктивные и объемно-планировочные, проанализирована схема застройки селитебной территории г. Южно-Сахалинска, разработана стратегия ее защиты и порядок (очередность) реализации.

Благодарности

Представленные результаты получены при финансовой поддержке государственного задания FWWW-2025-0001.

Acknowledgements

The presented results were obtained with the financial support of the state assignment FWWW-2025-0001.

Литература / References

1. Генсиоровский Ю.В. Экзогенные геологические процессы и их влияние на территориальное планирование городов (на примере о. Сахалин): Автореф. дисс. …канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2011. 19 с.
   Gensiorovskii Yu.V. Exogenous geological processes and their influence on the territorial planning of cities (on the example of O. Sakhalin)]: Extended Abstract of PhD in Geology and Mineralogy. Irkutsk, 2011. 19 p. (In Russian).
2. Казаков Н.А. Жукова З.И. Районирование о. Сахалин по степени проявления селевой деятельности // Труды Гидрометцентра Сахалинского УГМС. Региональные исследования. 1988. С. 131–137.
   Kazakov N. A. Zhukova Z. I. Zoning of Sakhalin Island according to the degree of manifestation of mudflow activity. Proceedings of the Hydrometeorological Center of the Sakhalin UGMS. Regional studies. 1988. pp. 131–137 (In Russian).
3. Казаков Н.А. Массовое формирование селей в низкогорье о. Сахалин: условия и повторяемость. // Гидросфера. опасные процессы и явления. 2019. Т. 1. № 1. С. 14–30.
   Kazakov N.A. Mass Formation of Debris-flows in the Low Mountains of Sakhalin Island: Conditions and Repeatability. Hydrosphere. Hazard Processes and Phenomena, vol. 1, no.1, pp. 14–30. DOI: 10.34753/HS.2019.1.1.002 (In Russian, abstract in English).
4. Казаков Н.А., Генсиоровский 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.
5. Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. Грязекаменные сели катастрофических объёмов в низкогорье острова Сахалин // Труды международной конференции "Селевые потоки: Катастрофы, риск, прогноз, защита", Пятигорск, 22–29 сентября 2008 г. С. 45–48.
6. Казаков Н.А., Минервин И.Г. Селевые процессы на о.Сахалин, // Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг. 2000. Вып. 4. С. 35–38.
   Kazakov N.A., Minervin I.G. Mudflow processes on the islandSakhalin. Applied geoecology, emergencies, land cadastre and monitoring, Moscow: POLTEKS, 2000. vol. 4, pp. 35–38 (In Russian).
7. Казакова Е.Н. Повторяемость крупных грязекаменных селей в Сусунайском хребте по данным дендрохронологического анализа // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2009. № 3. С. 258–263.
   Kazakova E.N. Recurrence of large mudstone mudslides in the Susunai range according to dendrochronological analysis. Geoecology. Engineering Geology, hydrogeology, geocryology, 2009, no. 3, pp. 258–263 (In Russian).
8. Кузнецова М.Р., Пашовкина А.А., Генсиоровский Ю.В. Изменение характеристик максимального поверхностного стока и связанные с этим опасности для объектов инфраструктуры (на примере строительства биатлонного комплекса в г. Южно-Сахалинск) // Инженерные изыскания. 2019. Т. XIII. №1. С. 56–67.
   Kuznecova M.R., Pashovkina A.A., Gensiorovskij Yu.V. Changes in the characteristics of maximum surface runoff and related hazards to infrastructure facilities (on the example of the construction of a biathlon complex in Yuzhno-Sakhalinsk). Engineering Surveys, 2019, vol. XIII, no.1, pp. 56–67 (In Russian).
9. Куровская В.А., Виноградова Т.А., Васякина А.В. Моделирование паводков и наносоводных селей в бассейне реки Сусуя // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова. Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург, 2020. С. 307–312.

Kurovskaya V.A., Vinogradova T.A., Vasyakina A.V. Modeling of floods and mudslides in the Susuya River basin. The Fourth Vinogradov Readings. Hydrology from Cognition to Worldview. Collection of reports of the international scientific conference in memory of the outstanding Russian scientist Yuri Borisovich Vinogradov. St. Petersburg State University. St. Petersburg, 2020, pp. 307–312. (In Russian).

10 Музыченко А.А., Лобкина В.А., Генсиоровский Ю.В. Риски для городской инфраструктуры при строительстве горнолыжных курортов (на примере тор «Горный воздух» о. Сахалин). // В сборнике: Геология на окраине континента. 2019. С. 131–134.
Muzychenko A.A., Lobkina V.A., Gensiorovskij Yu.V. Risks to urban infrastructure during the construction of ski resorts (using the example of the Sakhalin Island Mountain Air project). In the collection: Geology on the Edge of the Continent, 2019, pp. 131–134. (In Russian).

11. Мусохранова Л.А., Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А. Уязвимость территории населенных пунктов Сахалинской области к воздействию опасных природных процессов и меры, принимаемые для ее защиты // Градостроительство. 2010. № 6. С.33–39.
Musokhranova L.A., Gensiorovskii Yu.V., Kazakov N.A. Vulnerability of the territory of Sakhalin Oblast settlements to the effects of dangerous natural processes and measures taken to protect it. Urban Planning, 2010, no. 6, pp. 33–39 (In Russian).

12. Отчет о работах селевого отряда по изучению селевых явлений о. Сахалин за 1983 г / Проблемная лаборатория снежных лавин и селей. Географический факультет МГУ. М.: 1984. 73 с.
Report on the work of the Sakhalin Island mudflow detachment for 1983. Problemnaya laboratoriya snezhnykh lavin i selei. Geograficheskii fakul'tet Moscow St. Univ. Publ. 1984. 73 p. (In Russian).

13. Рыбальченко С.В. Селевая опасность для населенных пунктов Сахалинской области. // ГеоРиск. 2013. № 3. С. 40–44.
Rybalchenko S. In the mudflow danger for settlements of the Sakhalin region. GeoRisk ,2013, no. 3, pp. 40–44.

14. Рыбальченко С.В. Проблемы рекультивации территории горнолыжных комплексов на примере СТК «Горный воздух» (Южно-Сахалинск) // Экологические системы и приборы. 2021. № 11. С. 12–23.
Rybal'chenko S.V. Problems of reclamation of the territory of ski resorts on the example of the STK "Mountain Air" (Yuzhno-Sakhalinsk). Environmental Systems and Devices, 2021, no. 11, pp. 12–23. (In Russian).

15. Рыбальченко С.В., Казакова Е.Н. Селевой режим территории городского округа «Город Южно-Сахалинск» // Экологические системы и приборы 2024. №8. С. 11–19.
Rybal'chenko S.V., Kazakova E.N. Mudflow regime in the territory of the Yuzhno-Sakhalinsk City district. Environmental Systems and Devices, 2024. no. 8. pp. 11–19 (In Russian).

16. Геология СССР, том 33. Остров Сахалин. / Под ред. В.Н. Верещагина. М.: Недра, 1970. 403 с.

17. Рыбальченко С.В. Особенности формирования селеопасных районов в переходных зонах «материк – океан» на примере о. Сахалин // Экологические системы и приборы 2023. №6. С. 74–83.
Rybal'chenko S.V. Features of the formation of mudflow-prone areas in the "mainland-ocean" transition zones on the example of O. Sakhalin. Environmental systems and devices, 2023, no. 6, pp. 74–83. (In Russian).

18. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.18. Вып.4. Дальный Восток.Сахалин и Курилы / Под ред. М.Г. Васьковского. Л.: Гидрометеоиздат. 1973. 263 с.

Поступила в редакцию / Received 25.11.2025
Принята к публикации / Accepted 12.12.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Рыбальченко Светлана Владимировна, кандидат географических наук, заведующий лабораторией, Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия, SPIN-код: 2432-0350, https://orcid.org/0000-0002-7849-9855, e-mail: rybalchenko_sv@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Svetlana V. Rybalchenko, Ph. D. (Geography), Head of the laboratory, Special Research Bureau for Automation of Marine Researches of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, SPIN-code: 2432-0350, https://orcid.org/0000-0002-7849-9855, e-mail: rybalchenko_sv@mail.ru.