

Методология расчета рисков от воздействия лавинных и селевых процессов на территории, объекты и сооружения

Methodology of calculation of risks from impact of avalanches and debris-flow processes on territories, objects and buildings

КАЗАКОВ Н.А.

Директор, заведующий Лабораторией лавинных и селевых процессов ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН (Сахалинский филиал), доцент, к.г.-м.н., kazakovna@fegi.ru

KAZAKOV N.A.

Head of Laboratory of Avalanche & Debris-Flow Processes Research at the Far East Geological Institute of Far East Branch of Russian Academy of Sciences (Sakhalin Department), Ph.D., Associate professor, kazakovna@fegi.ru

Ключевые слова: лавинный процесс, селевой процесс, лавинный риск, селевой риск.

Аннотация: описание лавинных и селевых геосистем как объектов, развивающихся по одним и тем же закономерностям, позволяет рассчитывать риски от воздействия лавинных и селевых процессов на объекты и сооружения на единой методологической основе. В зависимости от интенсивности воздействия лавины/селя на объект риски ранжируются по классам. Объекты целесообразно классифицировать по параметру «уязвимость», который зависит от типа объекта. В соответствии с типом объекта выбирается тот параметр лавины/селя, который будет оказывать на объект максимальное воздействие.

Key words: debris-flow, debris-flow process, avalanche, avalanche process, avalanche risks, debris-flow risks.

Abstract: description of the avalanche and debris-flow geosystems as objects developing on the same invariants allows to expect risks from impact of avalanches and debris-flow processes on objects and buildings on single methodological basis. Depending on intensity of impact of avalanche (debris-flow) on an object the risks are ranged on classes. It is expedient to classify objects on a parameter Vulnerability, which depends on as an object; that parameter of avalanche (debris-flow), which will render on an object maximal impact, gets out in accordance with the type of object.

Введение

Значительная часть территории Российской Федерации характеризуется активным развитием лавинных и селевых процессов, которые оказывают сильное негативное влияние на линейные сооружения: транспортные магистрали, линии связи и электропередачи, магистральные трубопроводы и т.д.

Для эффективной оценки воздействия лавинных и селевых процессов на объекты и сооружения при разработке мероприятий по их защите на ранних стадиях проектирования (в частности, на стадии выбора трассы линейного сооружения) необходима количественная оценка лавинных и селевых рисков. По нашему мнению, методы оценки рисков в достаточной степени разработаны в сейсмологии, геоэкологии и инженерной геологии [11, 13].

К сожалению, этого нельзя сказать о методах оценки лавинных и селевых рисков. Вопрос о методологии оценки лавинных и селевых рисков остается дискуссионным, а единые подходы к их оценке, а также ком-

плексной оценке рисков от их воздействия отсутствуют [1–7, 9, 10], что существенно снижает возможности принятия своевременных и эффективных решений по снижению ущерба от лавин и селей.

Нет методов оценки важнейшего параметра, необходимого для расчета риска, — уязвимости, которая определяется как возможный ущерб, который лавинные и селевые процессы данной повторяемости и интенсивности могут причинить объекту.

Постановка задачи

Мы полагаем, что лавинные и селевые процессы обладают рядом схожих признаков и общими закономерностями развития и динамики, что позволяет описывать их в рамках единого класса природных феноменов, развивающихся в триггерных геосистемах, в которых нелинейные процессы приводят к формированию неустойчивой к внешнему воздействию литологической компоненты, а затем — к формированию в движущейся лавине (селевом потоке) уединенных и периодических волн, которые мо-

гут описываться как периодические пространственно-временные структуры [6, 8].

Модель лавинной и селевой геосистем как триггерных геосистем позволяет отнести их к одному классу природных объектов и, следовательно, выбрать единую методологическую основу для комплексной оценки лавинных и селевых рисков при инженерных изысканиях в строительстве.

Пути решения

Определим лавинный (селевой) риск R как величину вероятных потерь (социальных, материальных и др.) от нанесения объекту ущерба от воздействия на него лавинных/селевых процессов:

$$R = O * U = I * N * U, \quad (1),$$

где $O = NI$ — лавинная/селевая опасность: показатель активности лавинных/селевых процессов, протекающих на данной территории объективно, вне зависимости от степени ее освоенности; N — повторяемость процессов заданной интенсивности; I — интенсивность процессов — характеристика лавинного/селевого процесса, определяющая степень его воздействия на объекты и сооружения и, соответственно, влияющая на их уязвимость; U — уязвимость объекта (сооружения) как возможный ущерб, который лавинные/селевые процессы данной интенсивности могут причинить объекту.

При оценке повторяемости N лавин/селей необходимо отдельно учитывать повторяемость лавин/селей разных генетических и структурно-реологических типов. Поскольку динамические характеристики лавин/селей разных типов сильно различаются, степень их воздействия на сооружения различна. Однако различна и устойчивость объектов и сооружений разных типов к воздействию лавин/селей разных типов. Таким

Таблица 1

Давление лавины на сооружения и вызываемые ими разрушения [12]		
Давление		Вызываемые разрушения
т/м ²	МПа	
0,2	0,00196	Выбивает стекла и оконные рамы
0,5	0,0049	Выламывает двери в помещениях, валит изгороди, ломает ветви деревьев
3,0	0,029	Разрушает деревянные здания, ломает молодые деревья
10,0	0,098	Повреждает легкие каменные сооружения, ломает стволы старых деревьев
25,0	0,245	Разрушает каменные сооружения, валит старый лес на значительной площади
100,0	0,98	Разрушает железобетонные сооружения

образом, при определении повторяемости N и уязвимости U необходимо учитывать как типы лавин/селей, так и типы объектов и сооружений.

Например, при оценке рисков для долговременных сооружений необходимо принимать повторяемость и характеристики только лавин генетического класса перекристаллизации снежной толщи и грязекаменных селей как наиболее разрушительных.

В качестве параметра I лавинного/селевого процесса необходимо выбирать те, которые отображают энергию лавины/селя и позволяют определить степень их воздействия на объект: например давление, оказываемое лавиной/селем на сооружение [12] (табл. 1).

Для конкретного объекта выбор критерия I определяется его типом [9]. Поскольку, как указывалось выше, от критерия I зависит величина U , основными определяемыми параметрами I лавины/селя и лавинного/селевого процесса, принимаемыми для расчета U объектов и сооружений разных типов, являются: давление на препятствие; высота фронта; глубина селевой эрозии; площадь и толщина завала территорий и сооружений лавинными/селевыми отложениями; возбуждение в конструкциях вибраций на резонансных частотах в диапазоне 0,5–1,5 Гц, вызываемых периодическим (волнообразным) воздействием лавины/селя [7, 8].

Например, для оценки уязвимости автомобильной (дорожное полотно с твердым покрытием) и железной дороги критерием I может служить объем лавины/селя, позволяющий определить характеристики завала дорожного полотна, время простоя дороги и затраты на ее расчистку.

Для линейного сооружения надземной прокладки (линии связи, электропередачи или канатной дороги) или мостового сооружения в качестве критерия I предпочтительнее выбрать высоту фронта лавины/селя.

Предпочтительный параметр I для наземного здания или сооружения — полное давление лавины/селя на препятствие, определяемое как функция скорости лавины/селя и плотности лавинного/селевого потока.

Важнейшим параметром при оценке риска является уязвимость U , которая определяется как возможный ущерб, который лавинные/селевые процессы данной интенсивности могут причинить объекту. В зависимости от типа решаемой задачи U зависит от выбора I — параметра лавинного/селевого процесса, оказывающего максимальное воздействие на объект данного типа.

Объекты целесообразно классифицировать по параметру U (табл. 2). Степень уязвимости объектов можно выразить в баллах.

Решение

Для расчета экономических рисков в базовую формулу (1) введем стоимость потерь от воздействия лавинных/селевых процессов на объект (сооружение):

$$R = O * U = (I * N * U) * D, \quad (2)$$

где O — лавинная/селевая опасность; N — повторяемость процессов заданной ин-

тенсивности; I — интенсивность процессов; U — уязвимость объекта (сооружения) в баллах (табл. 2); D — балансовая стоимость объекта или другие экономические показатели.

Полная формула расчета риска R включает прямой риск R_n — показатель риска повреждения или уничтожения объекта, и косвенный риск R_k — суммарный показатель стоимости потерь, вызванных прекращением либо изменением режима работы объекта, затратами на расчистку лавинных/селевых завалов и ликвидацию иных последствий воздействия лавинного/селевого процесса. К нему же относятся затраты на реабилитацию и лечение пострадавших работников (граждан).

Таким образом, полный риск от воздействия лавинного/селевого процесса можно рассчитать как:

$$R = R_n + \sum R_k, \quad (3)$$

где $\sum R_k$ — сумма косвенных рисков.

Расчет рисков и построение карт рисков должны выполняться отдельно для каждого класса объектов и сооружений.

В зависимости от интенсивности воздействия лавины/селя на объекты и сооружения лавинные/селевые риски целесообразно ранжировать по классам (табл. 3).

Определив ожидаемый характер воздействия лавинных/селевых процессов на объекты и сооружения, мы получаем возможность рассчитать риски не в безразмерных величинах, а в стоимостном выражении.

Алгоритм расчета лавинных и селевых рисков для объектов и сооружений

Алгоритм расчета лавинного/селевого риска для объекта определенного класса должен включать большой набор параметров. Например, полный лавинный/селевой риск для транспортной магистрали может быть рассчитан следующим образом [7, 15].

Выбирается такой параметр лавинного/селевого процесса, характеризующего I , который оказывает на объект данного типа максимальное воздействие (см. табл. 2): то есть вызывает уничтожение (повреждение) транспортного средства и дорожного полотна при воздействии лавины/селя; для транспортной магистрали параметр I численно равен установившемуся давлению p лавины/селя на транспортное

средство или дорожное полотно. При расчете давления в большинстве моделей лавины/селя в качестве основных параметров принимаются их плотность и скорость при подходе к препятствию и форма самого препятствия [14, 15]:

$$I = p = abc\rho u^2/2, \quad (4)$$

где a — высота транспортного средства; b — его длина; c — коэффициент гидродинамического сопротивления формы при обтекании объекта лавинным/селевым потоком, зависящий от формы препятствия; для транспортного средства (например, автомобиля) при условии подхода к нему лавины/селя под прямым углом может быть принят равным 2,0 [14]; ρ — плотность лавинного/селевого потока, кг/м³; u — скорость лавины/селя, м/с.

При расчете уязвимости U необходимо учитывать стоимость потерь D в денежном выражении. U может быть выражена в баллах (см. табл. 2) или принята численно равной величине денежного выражения потери жизни (травмы) пассажиров и нанесенного ущерба:

$$U = D, \quad (5)$$

где D — стоимость дорожного полотна, транспортного средства, груза и страховая стоимость пассажиров.

Частота столкновения движущегося транспортного средства с лавиной (селем) P_a :

$$P_a = N \cdot P_t, \quad (6)$$

где N — частота схода лавин/селей за сутки; P_n — частота появления транспортного средства на пути лавины/селя.

Среднесуточную частоту схода (повторяемость) лавин/селей P_d определим как:

$$P_d = \frac{i}{T_i}, \quad (7)$$

где i — число лавин/селей за период; T_i — среднесуточная продолжительность лавино-/селеопасного периода, сутки.

Рассчитаем частоту появления транспортного средства на пути лавины/селя:

$$P_n = \frac{n(L_i + d)}{24 * 10^3 u}, \quad (8)$$

Таблица 2

Уязвимость. Воздействие лавинного/селевого процесса на объекты и сооружения				
Класс объекта	Тип объекта	Характер воздействия лавины/селя	Определяемый параметр лавины/селя	Уязвимость, балл
Дискретный	Капитальное сооружение	Разрушение	Давление на препятствие; вибрации на резонансных частотах сооружений	3
		Повреждение		2
		Изменение режима эксплуатации объекта		1
	Легкое и временное сооружение	Разрушение	Давление на препятствие; вибрации на резонансных частотах сооружений	3
		Повреждение		2
		Изменение режима эксплуатации объекта		1
	Транспортное средство	Разрушение	Давление на препятствие; толщина отложений	3
		Повреждение		2
		Задержка движения		1
	Человек	Гибель	Все параметры	3
Линейный	Подземной прокладки	Разрушение	Глубина эрозии; объем и толщина отложений; время существования лавинных снежников; вибрации на резонансных частотах сооружений	3
		Повреждение		2
		Изменение режима эксплуатации объекта; затруднение доступа эксплуатационных бригад; развитие тиксотропных явлений в грунтах и переувлажнения грунтов обратной засыпки		1
	Наземной прокладки	Разрушение	Давление на препятствие; вибрации на резонансных частотах сооружений; толщина отложений	3
		Повреждение		2
		Изменение режима эксплуатации объекта; затруднение доступа эксплуатационных бригад		1
	Надземной прокладки	Разрушение	Давление на препятствие; толщина отложений; высота фронта; вибрации на резонансных частотах сооружений	3
		Повреждение		2
		Изменение режима эксплуатации объекта; затруднение доступа эксплуатационных бригад		1
Площадной	Рекреационная территория	Разрушение	Площадь отложений; толщина отложений	3
		Повреждение		2
		Изменение режима эксплуатации объекта		1
	Населенный пункт	Разрушение; социальные потери	Площадь отложений; толщина отложений; давление на препятствие; высота фронта	3
		Повреждение; социальные потери		2
		Изменение режима эксплуатации объекта; социальные потери		1

где P_n — частота появления транспортного средства на пути лавины/селя; n — среднесуточная интенсивность движения — количество транспортных средств в сутки; L_i — длина лавино-/селеопасного участка дороги, м; d — тормозной путь транспортного средства, движущегося со скоростью u по дороге, м (транспорт, находящийся от лавины, селя на расстоянии, меньшем d , не успеет остановиться); u — средняя скорость движения транспортного средства, км/ч.

В окончательном виде (для расчета риска) частота столкновения движущегося транспортного средства с лавиной (селем) выглядит так:

$$P_a = \frac{in(L_i + d)}{T_i 24 \cdot 10^3 u} \tag{9}.$$

Транспортное средство, остановившееся перед сошедшей лавиной/селем, рискует попасть под повторную лавину/сель, сошедшую из того же лавиносбора/селевого бассейна, либо под лавину/сель из соседнего лавиносбора/селевого бассейна.

Частота столкновения ожидающего транспорта с лавиной/селем P_o за период T_i :

$$P_o = P_s \frac{n_o i}{T_i}, \tag{10},$$

где P_s — эмпирический коэффициент: вероятность схода лавины/селя в период, когда транспорт стоит под лавиносбором/селевым бассейном; по нашим наблюдениям, на лавиноопасной дороге через Чамгинский перевал (Восточно-Сахалинские горы) в

1982–1995 гг. P_s равняется 0,3; по наблюдениям на перевале Роджерс (Канада) P_s изменяется от 0,05 до 0,3 (среднее 0,15) [15]; n_i — количество транспортных средств, стоящих под лавиносбором (селевым бассейном). Период, когда транспорт стоит под лавиносбором/селевым бассейном, может составлять от нескольких часов до нескольких суток; за этот период из лавиносбора (даже во время сильного снегопада или в период массового формирования лавин мокрого снега) не может сойти более 10 лавин, а из селевого бассейна — не более 2–3 селей.

Длина очереди транспорта, ожидающего расчистки лавинного/селевого завала L_a :

$$L_a = \frac{nL_m t}{24} \tag{11},$$

Таблица 3

Классификация лавинных и селевых рисков						
Класс риска	Параметр интенсивности воздействия лавины/селя					Последствия воздействия на объекты, сооружения и селитебные территории
	Давление на препятствие, МПа	Высота фронта, м	Максимальный объем, тыс. м³	Глубина лавинной/ селевой эрозии, м	Площадь воздействия (разрушения), м²	
	Тип объекта					
	Капитальное, легкое, временное и т.д. сооружение	Линейное сооружение надземной прокладки; мостовое сооружение	Транспортная магистраль; линейное сооружение наземной прокладки	Линейное сооружение подземной прокладки	Населенный пункт; рекреационная территория	
I	>0,98	>50,0	>30,0	>5,0	Большая > 50000	Разрушение капитальных железобетонных сооружений I уровня защищенности; разрушение линейных сооружений подземной прокладки, разрушение транспортных магистралей; разрушение населенных пунктов
II	>0,029	10,0 –50,0	10,0–30,0	3,0–5,0	Средняя 10 000–50 000	Разрушение деревянных и шлакоблочных сооружений II и III уровня защищенности; разрушение наземных и надземных линейных сооружений; повреждение капитальных железобетонных сооружений
III	>0,0049	3,0 — 10,0	1,0 — 10,0	1,0 — 3,0	Небольшая 500– 10000	Разрушение сооружений IV уровня защищенности; повреждение деревянных и шлакоблочных сооружений и транспортных магистралей; уничтожение транспортных средств
IV	>0,00196	<3,0	<1,0	<1,0	Малая <1000	Повреждение транспортных средств; завал транспортных магистралей отложениями; угроза для людей, находящихся вне зданий и сооружений
V	–	–	–	–	–	Потенциально опасная территория: в настоящее время лавинные и селевые процессы не проявляются; при антропогенном воздействии на ландшафты вероятна активизация процессов

где L_m — длина дороги, занимаемая автомобилем, м; t — период ожидания, необходимый для расчистки дороги, час.

В периоды массового образования лавин/селей период ожидания, необходимый для расчистки дорожного полотна от лавинных/селевых завалов, может превышать 3–5 суток:

$$t = (it_1 + At_2) \quad (12)$$

где i — среднееголетнее число лавин/селей за лавино- / селеопасный период; A — среднееголетнее число периодов массового образования лавин/селей за сезон; t_1 — среднее время расчистки I лавинного/селевого завала (включая время движения дорожной техники до завала); t_2 — среднее суммарное время расчистки завалов в период массового формирования лавин/селей.

Количество транспортных единиц, подвергающихся опасности в период ожидания:

$$n_o = \frac{nt}{24} - \frac{S}{L_v} = \frac{L_i}{L_v}, \quad (13)$$

где S — длина безопасного участка дороги между лавиносборами (селевыми руслами).

Частота, с которой стоящий транспорт может подвергнуться воздействию повторных лавин/селей P_w , может быть рассчитана из следующего выражения:

$$P_w' = 0,5P_s' \frac{n_o n}{T_i}, \quad (14)$$

где P_s' — вероятность повторного схода лавины/селя. Поскольку лавина/сель на дороге блокирует движение транспорта до расчистки завала, наблюдаемое число столкновений транспорта с лавинами/селями ниже, чем расчетное. Так, на Чамгинском перевале фактическая частота столкновений транспорта с лавинами в 1982–1992 гг. составила 2,5 при расчетной частоте 6,8. На трансканадском шоссе в районе перевала Роджерс (Канада) теоретическая вероятность столкновения транспорта с одной лавиной равно 0,3 в год [15]. На перевале Кутенаи (Канада) ожидаемая частота столкновений равнялась 6 автомобилям в год, но

в действительности (за период с 1965 по 1984 г.) составляла 1,9 [15].

Таким образом, лавинный и селевой риск R как ущерб от ожидаемой частоты столкновения транспорта с лавиной/селем:

$$R = IU (P_m + P_w) + K + D, \quad (15)$$

где K — косвенный ущерб (экономический ущерб, возникший вследствие простоя дороги); D — прямой экономический ущерб в случае повреждения лавиной/селем дорожного полотна (затраты на его восстановление).

Заключение

Расчет лавинных и селевых рисков и алгоритм расчета характеристик лавинных и селевых процессов основаны на описании лавинных и селевых геосистем как триггерных самоорганизующихся геосистем.

1. Описание лавинной и селевой геосистем как объектов, развивающихся по одним и тем же закономерностям, позволяет рассчитывать риски от воздействия лавинных и селевых процессов на объекты и со-

оружения на единой методологической основе.

2. Объекты целесообразно классифицировать по параметру «уязвимость», который зависит от типа объекта; в соответствии с

типом объекта выбирается тот параметр лавины/селя, который будет оказывать на объект максимальное воздействие.

3. В зависимости от интенсивности воздействия лавины/селя на объекты и соору-

жения, лавинные/селевые риски целесообразно ранжировать по классам. Так, можно выделить 5 классов риска лавинных и селевых рисков для территорий, объектов, сооружений и населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Ю.Б., Божинский А.Н. Оценка риска от лавин и селей. // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2006. № 6. С. 39–51.
2. Благовещенский В.П. Оценка лавинного риска. // Материалы гляциологических исследований. Вып. 82. 1997. С. 165–167.
3. Викулина М.А. Оценка лавинной активности, опасности и риска (на примере Хибин): автореф. к.г.–м.н. М.: Изд-во МГУ, 2009. 24 с.
4. Викулина М.А. Лавинная активность, опасность и риск: оценка с применением ГИС-технологий // В сб.: Доклады межд. конференции «ИнтерКарто–ИнтерГИС– 13». «Устойчивое развитие территории», 12–24 августа 2007, г. Ханты–Мансийск. 2007. С. 281–290.
5. Вильчек Я.Г., Глазовская Т.Г., Селиверстов Ю.Г. Некоторые подходы к оценке лавинной опасности и риска // Материалы гляциологических исследований. Вып. 99. 2005. С. 123–128.
6. Казаков Н.А. Геологические и ландшафтные критерии оценки лавинной и селевой опасности при строительстве линейных сооружений (на примере о. Сахалин): автореф. ... канд. н. Южно–Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2000. 38 с.
7. Казаков Н.А. Оценка лавинных рисков на автомобильных дорогах о. Сахалин // Оценка и управление природными рисками: Материалы общерос. конф. «Риск–2000». М.: АНКИЛ, 2000. С. 269–275.
8. Казаков Н.А. Волновая динамика селей // Геоэкология. 2001. № 2. С. 158–164.
9. Казаков Н.А. Оценка лавинных рисков // Тез. докл. XIV Гляциологического симпозиума «Гляциология от Международного геофизического года до международного Полярного года». Иркутск: Изд. Института географии СО РАН, 2008. С. 46–47.
10. Каноникова И.О. Оценка лавинного риска для транспортных и рекреационных геосистем в бассейне р. Мзымта (Северо–Западный Кавказ): автореф. к.г.–м.н. Пермь.: Типография Пермского ГНИУ, 2009. 23 с.
11. Кофф Г.Л., Рюмина Е.В. Сейсмический риск (виды, оценка, управление). М.: НИЦ «Геориск», 2003. 107 с.
12. Лосев К.С., Божинский А.Н., Гракович В.Ф. Прикладное лавиноведение. М.: ВИНТИ, серия «Гляциология», 1991. 172 с.
13. Рагозин А.Л. Общие положения оценки и управления природным риском // Геоэкология. 1999. № 5. С. 417–429.
14. Handbook of snow (Edited by D.M. Gray, D.H. Male). Pergamon PRESS Canada Ltd, 1981.
15. Shreyder P. The avalanche-hazard index // Annals of glaciology. 1989. Vol. 13. P. 241–247.

Журнал «Инженерные изыскания» — лучшая площадка для Вашей рекламы!



Ваша РЕКЛАМА

www.geomark.ru