



Селевой риск для транспортных коммуникаций территории Восточной Сибири и Дальнего Востока в середине XXI века

А.Л. Шныпарков, А.С. Турчанинова, Т.И. Хисматуллин, С.А. Сократов

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
Россия, malyn2006@yandex.ru, alla_wave87@mail.ru, timkhism@gmail.com,
sokratov@geogr.msu.ru*

Аннотация. Оценка риска селевых потоков на середину XXI века для транспортных коммуникаций по муниципальным образованиям Восточной Сибири и Дальнего Востока выполнялась с учётом прогнозируемого изменения климатических условий. Для этого был использован ансамбль климатических моделей CMIP5, сценарий RCP 8.5 МГЭИК (IPCC). С учётом рассчитанного изменения степени селевой опасности к середине XXI века был оценен селевой риск для транспортных коммуникаций в пределах всех муниципальных образований территории Восточной Сибири и Дальнего Востока. Расчёт селевого риска был основан на учёте уязвимости транспортной инфраструктуры в пространстве и во времени, повторяемости селей, а также существующих стоимостных показателей.

К середине XXI века на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока риск селей для транспортных коммуникаций будет составлять немногим более 6,9 млрд. рублей, что по сравнению с началом XXI века на 26,3% меньше.

Практически на всей территории Восточной Сибири и Дальнего Востока селевой риск для транспортных коммуникаций уменьшится к середине XXI века, за исключением Сахалинской области (увеличение риска более чем на 60% по сравнению с началом XXI века), Амурской области (увеличение на 25%), Хабаровского края (увеличение на 16%) и Приморского края (увеличение на 13%). Наименьшее снижение селевого риска для транспортных коммуникаций к середине XXI века будет отмечаться в Камчатском крае (46%) и в Чукотском автономном округе (77%). Максимум снижения селевого риска для транспортных коммуникаций к середине XXI века будет отмечаться и в остальных субъектах Восточной Сибири и Дальнего Востока, где значения селевого риска будут ниже на 90% и более по сравнению с началом XXI века.

Ключевые слова: Восточная Сибирь и Дальний Восток, селевой риск, транспортные коммуникации, середина XXI века

Ссылка для цитирования: Шныпарков А.Л., Турчанинова А.С., Хисматуллин Т.И., Сократов С.А. Селевой риск для транспортных коммуникаций территории Восточной Сибири и Дальнего Востока в середине XXI века. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 60–73.

Debris flow risk for transportation network in the Eastern Siberia and the Russian Far East in the middle of the XXI century

A.L. Shnyparkov, A.S. Turchaninova, T.I. Khismatullin, S.A. Sokratov

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, malyn2006@yandex.ru,
alla_wave87@mail.ru, timkhism@gmail.com, sokratov@geogr.msu.ru*

Abstract. The assessment of debris flow risk in the middle of the XXI century for transport network in municipalities of Eastern Siberia and the Far East was carried out taking into account the predicted changes in climate conditions. The CMIP5 climate model ensembles, the IPCC RCP 8.5 scenario, were used for this purpose. Taking into account the calculated change in the degree of debris flow hazard by the middle of the XXI century, the debris

flow risk for transportation network within all municipalities of the territory of Eastern Siberia and the Russian Far East was estimated. The calculation of debris flow risk was based on the assessment of the vulnerability of transport infrastructure in space and time and the frequency of debris flows, as well as existing cost indicators.

By the middle of the XXI century in Eastern Siberia and the Far East, the debris flow risk for transportation network will be slightly more than 6.9 billion rubles, which is 26.3% less than at the beginning of the XXI century.

In almost all of Eastern Siberia and the Russian Far East, the debris flow risk for transportation network will decrease by the middle of the XXIst century, with the exception of the Sakhalin Oblast (increase on more than 60% compared to the beginning of the XXIst century), the Amur Oblast (increase on 25%), the Khabarovsk Krai (increase on 16%) and the Primorsky Krai (increase on 13%).

The smallest reduction in debris flow risk for transport network by the middle of the XXI century will be observed in the Kamchatka Krai (46%) and in the Chukotka Autonomous Okrug (77%). The maximum reduction of debris flow risk for transport network by the middle of the XXI century will be observed in the other regions of Eastern Siberia and the Russian Far East, where the values of debris flow risk will be lower by 90% or more in comparison to the beginning of the XXI century.

Key words: *Eastern Siberia and the Russian Far East, debris flow risk, transportation network, mid-XXI century*

Cite this article: Shnyparkov A.L., Turchaninova A.S., Khismatullin T.I., Sokratov S.A. Debris flow risk for transportation network in the Eastern Siberia and the Russian Far East in the middle of the XXI century. In: Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1. Dushanbe: “Promotion” LLC, 2020, p. 60–73.

Введение

Исследуемая территория включает полностью территорию Дальневосточного федерального округа и большую часть Сибирского федерального округа без Кемеровской, Томской и Новосибирской областей, Алтайского края и республики Горный Алтай (рис. 1).



Рис. 1. Федеральные округа Российской Федерации. Красная линия — западная граница района исследования

Fig. 1. Federal Districts of the Russian Federation. The red line – the western border of the regions of investigation

В настоящее время оценки риска опасных природных процессов и явлений выполняются различными методами. К первой группе методов оценки риска можно отнести те, которые практически подменяют понятие риска понятием опасность и оценивают риск в баллах, что в корне не верно. К другой группе методов оценки риска относятся те из них, которые оценивают вероятность последствий. Они, как правило, основаны на теоретических и статистических исследованиях. В основе лежит утверждение, что риск есть функция подверженности, уязвимости и защищенности объекта от опасного природного воздействия. Риск есть вероятность нежелательных последствий [Мягков, Шныпарков, 2004]. При оценках риска природных процессов используются следующие показатели: вероятность события (повторяемость процессов), уязвимость оцениваемых объектов (уязвимость в пространстве, уязвимость во времени, физическая уязвимость объекта), социально-экономические показатели [Baburin et. al., 2014].

Оценки риска селевых потоков на начало XXI века на территорию Восточной Сибири и Дальнего Востока были выполнены в 2019 году на втором этапе исследования по гранту РГО–РФФИ, для отдельных районов исследуемой территории в рамках других работ были сделаны оценки селевого риска для всей инфраструктуры муниципальных образований [Бабурин и др., 2019].

В целом исследования и оценки селевого риска крайне скудны.

Изменение климатических условий к середине XXI века, прогнозируемое по всем глобальным моделям прогноза климата, должно сказаться на изменении селевой активности и селевого риска на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока. Несомненно, это отразится на селевом риске для транспортных коммуникаций на этой территории.

К началу XXI века селевой риск для транспортных коммуникаций на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока составлял 9,4 млрд. рублей. Его распределение по субъектам Восточной Сибири и Дальнего Востока показано на рис. 2.

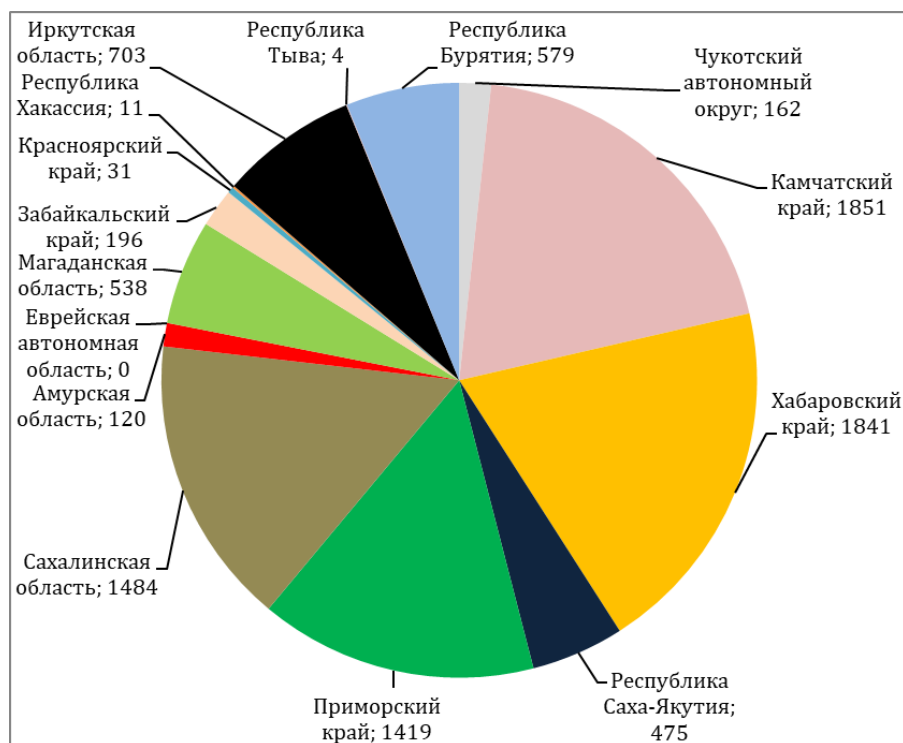


Рис. 2. Распределение селевого риска для транспортных коммуникаций по субъектам Восточной Сибири и Дальнего Востока в начале XXI века, млн. рублей/год

Fig. 2. Distribution of the debris flow risk for transportation network over the Federal subjects of the Eastern Siberia and the Russian Far East in the beginning of the XXI century, mil. rubles/year

Наибольшие значения селевого риска в начале XXI века приходятся на Камчатский, Хабаровский, Приморский края и Сахалинскую область. На территории этих субъектов Восточной Сибири и Дальнего Востока приходится 70% значений селевого риска от общей суммы. Во вторую группу по величине селевого риска (около 500 млн. рублей в год) входят территории Республик Саха-Якутия, Бурятия, Иркутская и Магаданская области. Наименьшими значениями селевого риска характеризуются территории Республик Тыва, Хакасия, Красноярского края и Амурской области. На территории Еврейской автономной области селевой риск отсутствует. Территориальное распределение селевого риска для транспортных коммуникаций по муниципальным образованиям территории Восточной Сибири и Дальнего Востока показано на рис. 3.



Рис. 3. Распределение селевого риска для транспортных коммуникаций по муниципальным образованиям территории Восточной Сибири и Дальнего Востока в начале XXI века

Fig. 3. Distribution of debris flow risk for transportation network over municipal divisions of the territory of the Eastern Siberia and the Russian Far East in the beginning of the XXI century

Собранные сведения о чрезвычайных ситуациях, вызванных селевыми потоками, на автомобильных и железных дорогах показали, что наиболее часто они возникают на территориях Сахалинской области и Камчатского края. Отсутствуют какие-либо сведения о чрезвычайных ситуациях, вызванных селевыми потоками, на транспортных коммуникациях в пределах Красноярского края, республик Тыва и Хакасия, Магаданской и Амурской областей, Хабаровского края. Чрезвычайные ситуации, вызванные селевыми потоками, на транспортных коммуникациях со значительными последствиями на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока представлены в таблице 1.

Таблица 1. Крупнейшие чрезвычайные ситуации, вызванные селевыми потоками на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока

Table 1. Major emergencies caused by debris flows in Eastern Siberia and the Far East

№	Субъект РФ	Муниципальный район	Дата	Характеристика последствий
1	Иркутская область	Слюдянский	27-29.06.1934	Размыто или завалено селевыми отложениями железнодорожное полотно. Перерыв в движении на Транссибирской магистрали длился 22 часа.
2	Сахалинская область	Невельской, Холмский, Макаровский	18-19.09.1957	Разрушение автомобильных и железных дорог, мостов.
3	Иркутская область, Республика Бурятия	Слюдянский	24-25.07.1971	Повреждены участки дорог.
4	Сахалинская область	Макаровский	1996, сентябрь	Размыв железнодорожного полотна. Движение поездов остановлено.
5	Забайкальский край	Каларский	27.07.2001	Частичное разрушение ж/д полотна в районе оз. Большое Леприндо. Приостановка движения поездов по БАМу.
6	Камчатский край	Усть-Камчатский	04.09.2006	Сопавший с вулкана Шивелуч сель размыв дорогу, прервав транспортное сообщение с населёнными пунктами Усть-Камчатск и Крутоберегово.
7	Сахалинская область	Макаровский	22-24.06.2009	Из-за селевых потоков размыто 320 м железнодорожного полотна. Закрыто движение поездов.
8	Республика Бурятия	Тункинский	28.06.2014	Размыты дороги в пос. Аршан, разрушены мосты.
9	Республика Саха-Якутия	Тындинский	24.07.2016	Участок завала путей на 2 107 километре перегона Чильчи–Ункур составил 18–20 метров. Движение по БАМ было остановлено.

Материалы и методика

Оценка селевого риска для транспортных коммуникаций Восточной Сибири и Дальнего Востока производилась с учетом их уязвимости в пространстве и во времени, повторяемости селей, длины транспортных коммуникаций в пределах муниципальных образований и их нормативной стоимости.

Повторяемость селей определялась для каждого муниципального образования на основе существующих научных публикаций [Атлас..., 2010; Абраменко, 1980;

Бударина, Перов, 1981; Будз, 1968; Войтковский, Корольков, 1998; Краевая, 1969; Казаков, Жукова, 1988; Лехатинов, 1968; Макаров, 2012; Перов, 1989, 2012; Черноморец, Сейнова, 2010; и др.], а при отсутствии таковых по отдельным муниципальным образованиям использовались сведения по районам аналогам, в которых такие сведения по повторяемости селей имелись.

Уязвимость транспортных коммуникаций муниципального образования к селевым потокам определялась путём расчёта доли площади селеопасных территорий в пределах муниципального образования [Атлас..., 2010]. Применение такого показателя удобно для площадной оценки селевой опасности всей инфраструктуры муниципального образования. Транспортные коммуникации представляют собой линейные сооружения, поэтому для оценки их уязвимости в пространстве в пределах муниципальных образований помимо доли площади селеопасных территорий в муниципальном образовании использовали дополнительно показатель - доля суммы длин селеопасных участков в расчёте на 1 км дна долины. Для каждой селевой области в пределах Восточной Сибири и Дальнего Востока были рассчитаны эти значения. При этом такие расчеты производились для районов с различной степенью селевой опасности. Таким образом, на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока были произведены расчёты поражённости селевыми потоками по дну долины на 30 ключевых участках. Для каждой селевой области и степени опасности была определена поражённость дна долин селевыми потоками, а в последствие эти осредненные данные были определены для каждого муниципального образования Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Уязвимость транспортных коммуникаций к селевым потокам во времени определялась как отношение продолжительности селеопасного периода к числу дней в году. Продолжительность селеопасного периода для каждого муниципального образования определялась с использованием методики, предложенной Т.Л. Сидоровой [1997] и уточнённой Н.Л. Белой [2005], а также с использованием для проверки сведений из [Перов, 2012].

Для определения экономической составляющей при оценке селевого риска транспортных коммуникаций использовались сведения о длине транспортных коммуникаций в пределах каждого муниципального образования с сайта Федеральной службы госстатистики РФ [www.gks.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm], а также стоимость автомобильных и железных дорог разного класса. Сведения о стоимости авто и железных дорог разного класса взяты с различных сайтов [Составление стоимости..., Минтранс России посчитал..., <https://nerud-teh.ru/skolko-stoit-kilometr-dorogi/>]. Исходя из этих данных, стоимость строительства 1 км железных и автомобильных дорог на территории Российской Федерации может варьировать от первых миллионов до 230 млн. рублей (рис. 4).

Оценка селевого риска для транспортных коммуникаций в среднем и мелком масштабах в Российской Федерации слабо развита. В настоящее время разработаны методики оценки селевого риска для транспортных коммуникаций в крупном масштабе. К таким работам можно отнести работу А.Н. Божинского и Ю.Б. Андреева [1996], Ю.Б. Андреева с соавторами [1997]. В данных работах оценивается социальный риск от селевых потоков в крупном масштабе с учетом повторяемости селей, поражённости автодорог селевыми потоками, скорости движения автотранспорта. Сходный подход для оценки лавинного и селевого риска в крупном масштабе предлагается Н.А. Казаковым [2015], но им дополнительно вводится параметр интенсивности воздействия, учет генетического типа снежной лавины и структурно-реологического типа селя. Для расчета селевого риска для транспортных коммуникаций в крупном масштабе используются следующие параметры: повторяемость селей, длина селеопасного участка, продолжительность селеопасного периода, среднесуточная интенсивность движения транспорта, длина тормозного пути транспорта, движущегося с определённой скоростью, средняя скорость движения транспорта. Предлагается рассчитывать полный селевой риск для транспортной магистрали, включающий прямой (разрушение транспортного средства, разрушение полотна автодороги) и

косвенный (расчистка автодороги, ущербы в результате ожидания расчистки автодороги).

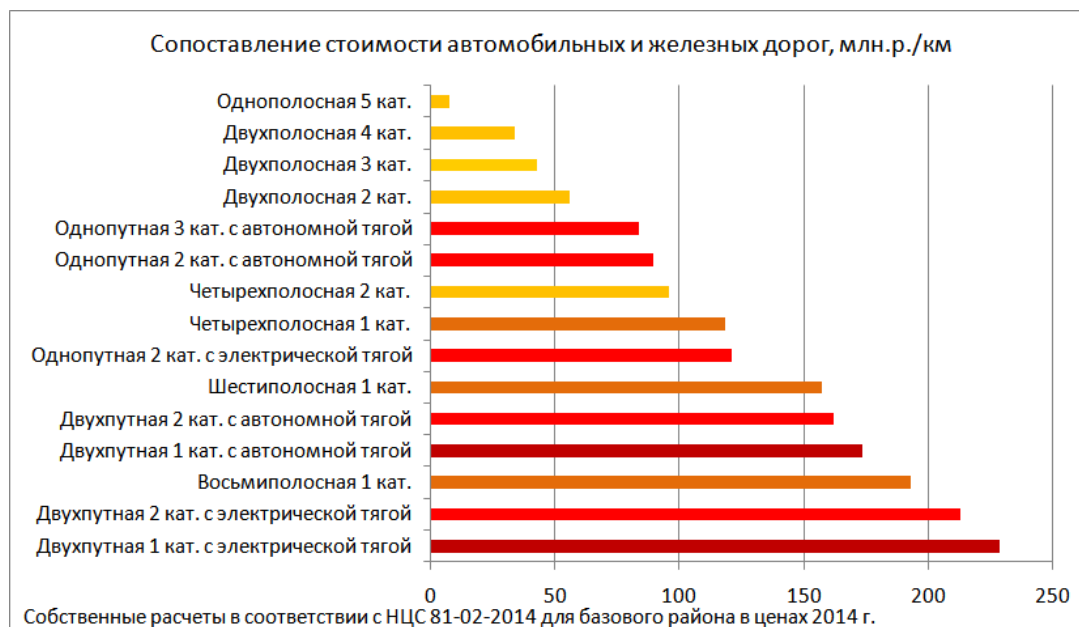


Рис. 4. Сравнение стоимости железных и автомобильных дорог разной категории на территории Российской Федерации [<https://aftershock.news/?q=node/501956&full>]

Fig 4. Comparison of the prices of the rail and the auto roads of different categories at the territory of Russian Federation [<https://aftershock.news/?q=node/501956&full>]

За рубежом оценки селевого риска производятся как в региональном [Liu et.al., 2002; Liu, Lei, 2003; Fuchs et. al., 2008; Quan Luna et. al., 2014], так и крупном масштабах [Liang et.al., 2012; Shu et. al, 2019; Lin et. al., 2012; Lee, Lee, 2015; Chui et. al., 2013]. При оценке селевого риска в региональном масштабе используются статистические данные, общегеографические условия (рельеф, растительность, климатические и метеорологические условия, населённость территории, валовый продукт) [Quan Luna et al. 2014]. При оценке селевого риска в крупном масштабе используют динамические характеристики селей (давление на препятствие, скорость, высота селевого потока), характеристики уязвимости объекта и повторяемость селей [Jakob, Holm, 2012].

В данной работе использован метод оценки селевого риска, учитывающий уязвимость территории в пространстве и во времени, повторяемость селей и экономическая составляющая, опубликованный в [Бабурин и др., 2019]. Для оценки селевого риска транспортных коммуникаций вместо условного валового продукта муниципального образования, используемого в [Бабурин и др., 2019], применялась стоимость строительства дорог.

В конечном итоге расчёт селевого риска для транспортных коммуникаций (R_p) производился по формуле:

$$R_p = P \times Y_t \times Y_s \times S, \quad (1)$$

где P — повторяемость селевых потоков, раз в год; Y_t — уязвимость во времени, безразмерная величина; Y_s — уязвимость в пространстве, безразмерная величина; S — стоимость авто- и железной дороги в пределах муниципальных образований, руб.

Уязвимость территорий в пространстве зависит от поражённости территорий селевыми потоками, которая определяется:

$$Y_s = F_{df} \div F_{tot} \times K, \quad (2)$$

где F_{df} — площадь селеопасной территории в пределах муниципального образования, км², F_{tot} — площадь муниципального образования, км², K — доля селеопасных участков по дну долины, безразмерная величина.

Уязвимость территорий во времени определяется:

$$Y_t = T_{df} \div 365, \quad (3)$$

где T_{df} — продолжительность селеопасного периода, дни; 365 — число дней в году.

Стоимость авто- и железных дорог определялась из суммы стоимостей авто- и железных дорог разного класса в пределах муниципального образования:

$$S = \Sigma(L_i \times S_i), \quad (4)$$

где S — совокупная стоимость автомобильных и железных дорог в пределах муниципального образования; L_i — суммарная длина автодорог/железных дорог одного класса; S_i — стоимость строительства 1 км дороги определённого класса.

Расчёты селевого риска были произведены для всех муниципальных образований территории Восточной Сибири и Дальнего Востока — 145, где распространены селевые потоки.

Оценка селевого риса на середину XXI века выполнялась с учётом изменения климатических условий. Для расчёта изменений климатических параметров и связанных с ними показателей селевой деятельности (распространение, повторяемость, продолжительность селеопасного периода) из ансамбля CMIP5 сценария RCP8.5 МГЭИК (IPCC) была выбрана модель MRI-CGCM3 эксперимент r11pl1 (Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan). Китайскими исследователями [Li, Gao, 2015; Miao et. al., 2014] было установлено, что модель отличается наиболее выраженной положительной корреляцией значений атмосферного давления в пределах Сибирского антициклона, полученных в результате реанализа, а также она даёт наиболее близкие к реальным значения температуры воздуха. Кроме этого, модель имеет достаточно густую сеть расчётных значений температуры и осадков — размер ячейки в пределах территории Российской Федерации изменяется от 1,122×1,125 до 1,118×1,125 градусов, что в условиях отсутствия региональных моделей изменения климата для России, позволяет оценивать изменения на относительно небольших по площади территориях. Последний период, по которому выполнялся реанализ — 1991–2000 г. Он определен как «современный» и по отношению к нему выполнялись расчёты изменений искомых параметров в будущем. Расчёты выполнены на середину (2041–2050 гг.) XXI века. На указанные периоды для узлов сетки были рассчитаны средние значения температуры воздуха и суммы осадков за каждый месяц. Затем по этим данным были рассчитаны продолжительность тёплого (T более 0°C) и холодного периода (T менее 0°C). Для каждого периода было подсчитано количество прогнозируемых осадков. По разности значений этих параметров за разные периоды (начало и середина XXI века) с использованием ArcGIS 10.3 были построены поверхности, характеризующие их изменения. Далее при наложении на карту муниципальных образований, были определены средние значения параметров продолжительности тёплого и холодного периодов и количества осадков за эти периоды и их изменений для каждого муниципального образования Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Для определения изменения повторяемости селевых потоков оценивались изменения количества осадков за тёплый период на середину и конец XXI века. Оценка изменения этого параметра селевой деятельности наименее точна, т.к. в современных условиях не найдена тесная связь между повторяемостью селевых потоков и количеством осадков за тёплый период. В связи с этим было принято допущение, что при изменении количества осадков в пределах $\pm 10\%$ повторяемость селевых потоков не изменится. При изменении количества осадков в пределах $\pm 10\text{--}30\%$ повторяемость

селевых потоков изменится соответственно на $\pm 10\%$. При изменении количества осадков за тёплый период более $\pm 30\%$ повторяемость селевых потоков изменится на $\pm 20\%$.

Поражённость территорий селевыми потоками муниципальных районов Восточной Сибири и Дальнего Востока принята неизменной, т.к. изменение климатических условий на ее территории не скажется на площади распространения селевых потоков (орографические условия неизменны, а климатические благоприятны для образования селевых потоков), при этом антропогенный фактор не анализировался.

Продолжительность селеопасного периода определялась по методике Н.Л. Белой [2005] с учётом изменения продолжительности тёплого периода в каждом муниципальном образовании.

Использование этих данных позволило произвести расчёт селевого риска для транспортных коммуникаций в пределах муниципальных образований на середину XXI века, а сравнение полученных показателей селевого риска с расчётными на начало XXI века позволило определить районы наиболее существенного изменения селевого риска.

Результаты

Суммарное значение селевого риска для транспортных коммуникаций на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока в начале XXI века составляло немного более 9,4 млрд. рублей в год (таблица 2). Наибольшие значения селевого риска в начале XXI века отмечались в Камчатском, Хабаровском, Приморском краях и Сахалинской области, где они превышают 1 млрд. рублей в год. На эти четыре субъекта Восточной Сибири и Дальнего Востока приходится 70,8% селевого риска. Наименьшие значения селевого риска для транспортных коммуникаций в начале XXI века характерны для Чукотского автономного округа, Амурской области, Красноярского края, Республик Тыва и Хакассия.

Таблица 2. Распределение селевого риска для транспортных коммуникаций на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока в середине XXI века

Table 2. Distribution of debris flow risk for transport communications on the territory of Eastern Siberia and the Far East in the middle of XXI century

Субъект РФ	Начало XXI века		Середина XXI века	
	селевой риск, тыс. рублей	доля от общего значения, %	селевой риск, тыс. рублей	доля от общего значения, %
Чукотский автономный округ	162 216	1,7	37 835	0,5
Камчатский край	1 851 256	19,7	996 631	13,2
Хабаровский край	1 841 128	19,6	2 130 396	28,3
Республика Саха-Якутия	474 643	5,0	20 668	0,3
Приморский край	1 418 598	15,1	1 607 628	21,4
Сахалинская область	1 484 225	15,8	2 406 771	32,0
Амурская область	120 018	1,3	149 728	2,0
Еврейская автономная область	0	0,0	0	0,0
Магаданская область	537 508	5,7	49 187	0,7
Забайкальский край	196 120	2,1	10 760	0,1
Красноярский край	30 659	0,3	3 219	0,0
Республика Хакассия	10 782	0,1	653	0,0

Субъект РФ	Начало XXI века		Середина XXI века	
	селевой риск, тыс. рублей	доля от общего значения, %	селевой риск, тыс. рублей	доля от общего значения, %
Иркутская область	702 817	7,5	78 633	1,0
Республика Тыва	3 996	0,0	298	0,0
Республика Бурятия	579276	6,2	37 463	0,5
Сумма	9 413 242	100,0	7 529 870	100,0

Распределение селевого риска для транспортных коммуникаций по муниципальным образованиям показано на рис. 5. Значения селевого риска более 50 млн. рублей в середине XXI века будут отмечаться на территориях муниципальных образований Приморского края, в южных и центральных частях Хабаровского края, Тындинском муниципальном образовании Амурской области, Невельском, Холмском, Углегорском, Макаровском, Корсаковском, Курильском и Южно-Курильском муниципальных образованиях Сахалинской области и Елизовском муниципальном образовании Камчатского края. Селевой риск, характеризующийся значениями от 10 до 50 млн. рублей в год, будет характерен для Чаунского района Чукотского автономного округа, Ольского района Магаданской области, Усть-Камчатского, Мильковского и Усть-Большерецкого районов Камчатского края, муниципальных образований, расположенных севернее Макаровского и Углегорского районов Сахалинской области, а также в Северо-Курильском муниципальном образовании. На территории Хабаровского края значения селевого риска от 10 до 50 млн. рублей в середине XXI века будут отмечаться в Охотском, Аяно-Майском, Тугуро-Чумиканском, Верхнебурийском и Комсомольском муниципальных образованиях, в Амурской области — в Селемджинском и Зейском муниципальных образованиях и в Иркутской области — в Бодайбинском районе.

К середине XXI века значение селевого риска для транспортных коммуникаций на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока составит немногим более 7,5 млрд. рублей, что на 20,2% меньше, чем в начале XXI века. Наибольшие значения селевого риска для транспортных коммуникаций будут отмечаться в тех же субъектах, что и в начале XXI века, но их доля от общего значения селевого риска увеличится почти до 95%. Рост селевого риска к середине XXI века будет отмечаться в Хабаровском и Приморском краях, Сахалинской и Амурской областях. На остальной территории Восточной Сибири и Дальнего Востока селевой риск для транспортных коммуникаций уменьшится.

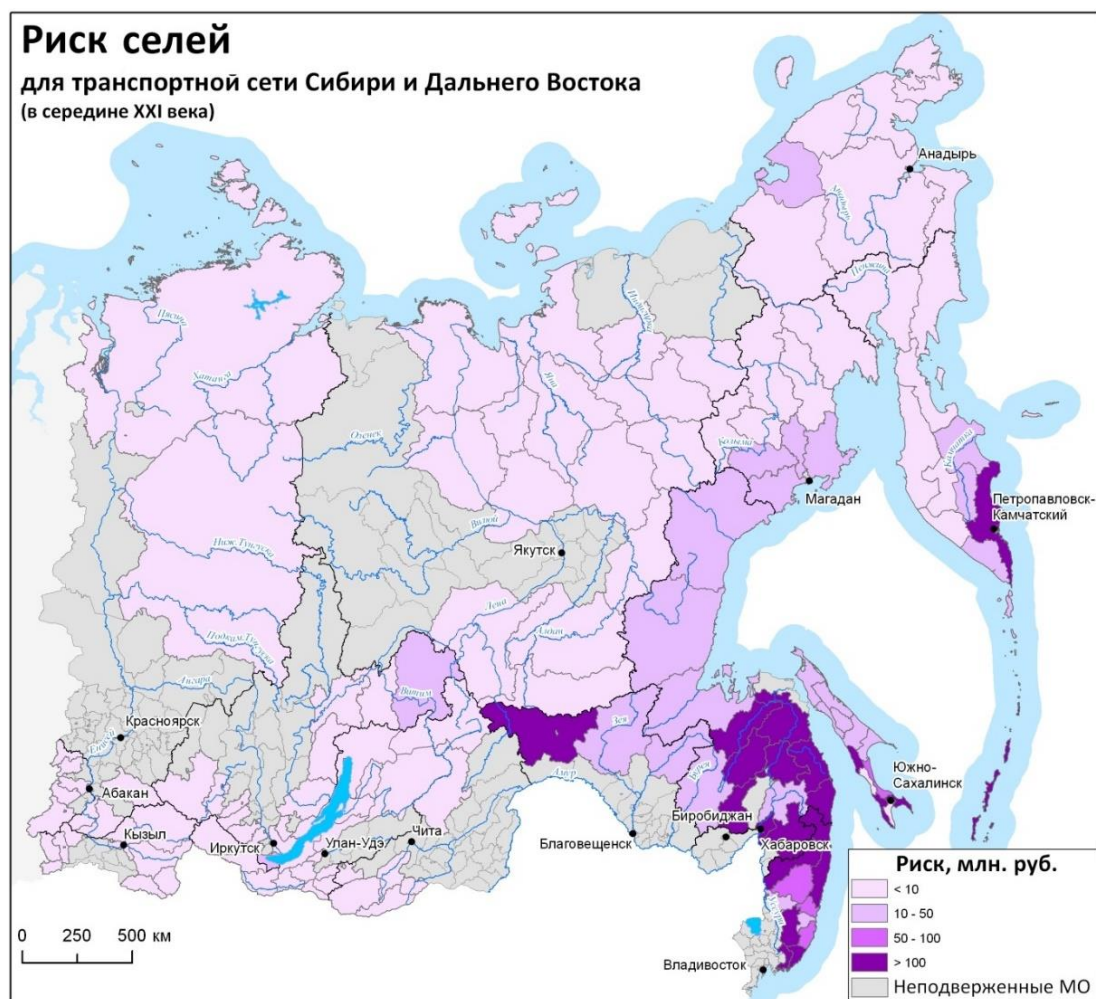


Рис. 5. Селевой риск для транспортных коммуникаций по муниципальным образованиям территории Восточной Сибири и Дальнего Востока в середине XXI века

Fig. 5. Debris flow risk for transportation network per municipal division at the territory of the Eastern Siberia and the Russian Far East in the middle of the XXI century

Остальные муниципальные образования территории Восточной Сибири и Дальнего Востока будут характеризоваться значениями селевого риска для транспортных коммуникаций менее 10 млн. рублей в год.

Наиболее существенные изменения селевого риска для транспортных коммуникаций на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока к середине XXI века будут отмечаться в Сахалинской области, Приморском, Хабаровском краях, где произойдёт существенное его увеличение, также повышение селевого риска к середине XXI века будет отмечаться в Амурской области. В остальных субъектах территории Восточной Сибири и Дальнего Востока будет отмечаться значительное снижение значений селевого риска для транспортных коммуникаций (рис. 6). На большей части территории Восточной Сибири и Дальнего Востока селевой риск для транспортных коммуникаций в середине XXI века по отношению к началу XXI века уменьшится более чем на 50%. Рост селевого риска на 10% и более к середине XXI века будет отмечаться в Амурской области, отдельных муниципальных образованиях Хабаровского и Приморского краев. Максимальный рост селевого риска (более 50%) к середине XXI века будет отмечаться в муниципальных образованиях Сахалинской области, Хабаровского края (Ульчский, им. Полины Осипенко и Советско-Гаванский).

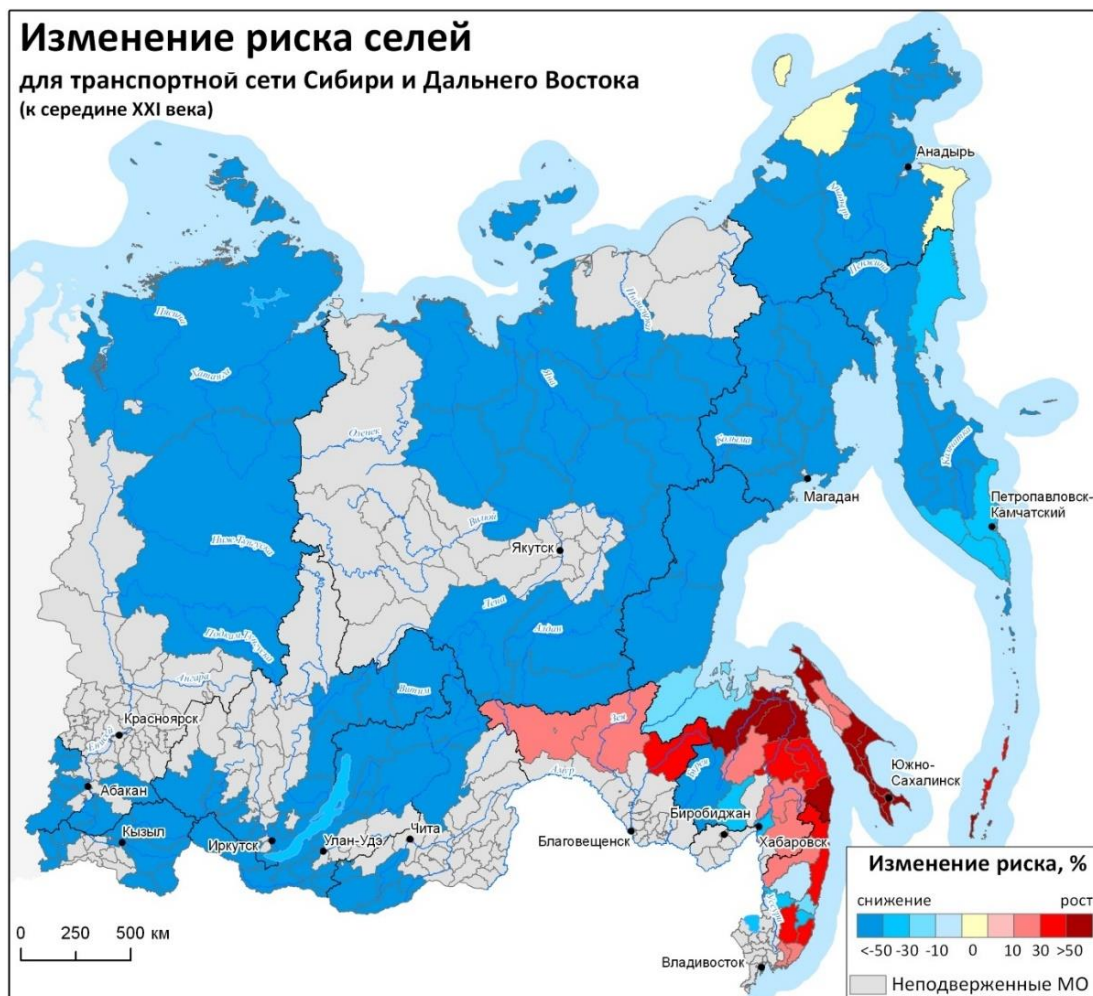


Рис. 6. Изменение селевого риска для транспортных коммуникаций на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока в середине XXI века по отношению к началу века

Fig. 6. The change in the debris flow risk for transportation network at the territory of the Eastern Siberia and the Russian Far East in the middle of the XXI century relative to the beginning of the century

Заклучение

В целом к середине XXI века на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока будет отмечаться снижение селевого риска для транспортных коммуникаций на большей части ее территории. Существенное снижение селевого риска для транспортных коммуникаций (более чем на 90%) будет отмечаться в Республиках Саха (Якутия), Республиках Хакасия, Бурятия, Тыва, Забайкальском крае и Магаданской области. Повышение селевого риска для транспортных коммуникаций к середине XXI века охватит центральные и южные районы Хабаровского края, муниципальные образования Приморского края, Сахалинской области и южные и центральные острова Курильской гряды, где селевой риск повысится более чем на 30%. Максимум повышения селевого риска для транспортных коммуникаций к середине XXI века ожидается в Невельском (94%), Анивском (67%), Холмском (65%) и Макаровском (64%) муниципальных образованиях Сахалинской области и Советско-Гаванском (70%) и Ульчском (69%) муниципальных образованиях Хабаровского края.

Снижение селевого риска к середине XXI века положительно скажется на проектировании и строительстве транспортных коммуникаций на большей части территории Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Благодарности

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РГО-РФФИ, договоры №5/2017/ РГО-РФФИ, №15/2018/ РГО-РФФИ №15/2019/ РГО-РФФИ.

Список литературы

- Абраменко Н.А. Некоторые сведения о селевых явлениях на юге Красноярского края и Тувинской АССР. В Селевые потоки. Сб. 5. Л.: Гидрометеиздат, 1980. с. 49–54.
- Андреев Ю.Б., Божинский А.Н. Оценка и картографирование риска на примере селевой опасности на автодороге Баксан-Азау (участок Заюково-Азау). В Опасные природные явления. Оценка риска. Деп. в ВИНТИ 26.07.96 №2567-В96. М.: 1996. с. 131–135.
- Андреев Ю.Б., Божинский А.Н., Сидорова Т.Л. Методика картографирования вероятного ущерба от лавин и селей. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 1997. № 5, с. 67–69.
- Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. Российская Федерация. Шойгу С.К. (ред.). М.: Дизайн. Информация. Картография, 2010. 696 с.
- Бабурин В.Л., Бадина С.В., Деркачева А.А., Сократов С.А., Хисматуллин Т.И., Шныпарков А.Л. Оценка селевого риска в экономических показателях на примере Сибирского федерального округа. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2019. № 4. с. 3–14.
- Белая Н.Л. Моделирование внутригодового распределения дождевых селей в горных регионах мира. Диссертация на соискание уч. степени канд. геогр. наук. М.: 2005. 142 с.
- Бударина О.И., Перов В.Ф. К оценке селевой опасности горных районов Камчатки. В Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата: Изд-во «Казахстан», 1981, с. 201–212.
- Будз М.Д. Условия селеобразования в Прибайкалье. Селевые потоки и горные русловые процессы. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1968. с. 291–296.
- Войтковский К.Ф., Корольков В.Г. Водоснежные потоки на плато Путорана. Материалы гляциологических исследований, 1998. 84, с. 92–94.
- Казаков Н.А. Методология расчёта рисков от воздействия лавинных и селевых процессов на территории, объекты и сооружения. Геориск, 2015. № 1, с. 10–14.
- Казаков Н.А., Жукова З.И. Районирование о. Сахалин по степени проявления селевой деятельности. Труды гидрометцентра Сахалинского территориального управления по гидрометеорологии. Вып. 1. Региональные исследования. Южно-Сахалинск: 1988. с. 131–137.
- Краевая Т.С. Краткая характеристика селеопасных районов Камчатки. Труды КазНИГМИ, 1969. Вып. 33, с. 144–151.
- Лехатинов А.М. Селевые явления Северного Прибайкалья. Автореферат дисс. на соискание учёной степени канд. геогр. наук. М.: МГПИ им. В.И. Ленина, 1968. 23 с.
- Макаров С.А. Сели Прибайкалья. Иркутск: Издательство института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012. 111 с.
- Мягков С.М., Шныпарков А.Л. Концепция риска. В География, общество, природная среда. Касимов Н.С. (ред.) Т. 4: Природно-антропогенные процессы и экологический риск. Малхазова С.М., Чалов Р.С. (ред.) М.: Изд-во «Городец», 2004. с. 265–274.
- Перов В.Ф. Селеведение. М.: Географический факультет МГУ, 2012. 274 с.
- Перов В.Ф. Селевые явления на территории СССР. М.: Изд-во МГУ, 1989. 149 с.
- Сидорова Т.Л. Оценка селевой деятельности по климатическим параметрам. Автореф. канд. дис. М.: МГУ, 1997. 20 с.
- Черноморец С.С., Сейнова И.Б. Селевые потоки на вулканах. М.: Изд-во УНЦ ДО, 2010. 72 с.
- Baburin V.L., Gavrilova S.A., Koltermann P.-K., Seliverstov Yu.G., Sokratov S.A., Shnyparkov A.L. Quantification of economic and social risks of debris flows for the Black Sea coastal region of the North Caucasus. Geography, Environment, Sustainability, 2014. 7(3), P. 108–122. doi: 10.24057/2071-9388-2014-7-3-108-122.
- Cui P., Zou Q., Xiang L., Zeng Ch. Risk assessment of simultaneous debris flows in mountain townships. Progress in Physical Geography, 2013. 37(4), pp. 516–542. doi: 10.1177/0309133313491445.
- Fuchs S., Kaitna R., Scheidl C., Hübl J. The application of the risk concept to debris flow hazards. Geomechanik und Tunnelbau, 2008. 1(2): 120–129. doi: 10.1002/geot.200800013.
- Jakob M., Holm K. Risk assessments for debris flows. In Landslides. Types, Mechanisms and Modeling. Clague J.J., Fraser S., Stead D. (Eds.). Cambridge University Press, 2012. pp. 71–82 doi: 10.1017/CBO9780511740367.008.

- Lee X.-Y., Lee K.-C. Risk assessment on debris flow hazard along linear construction civil engineering based on satellite remote sensing and fuzzy comprehensive evaluation method. *In Proceedings of the International Conference on Chemical, Material and Food Engineering (Advances in Engineering Research, 22)*. Gao Y. (ed.). 2015, P. 463–466. doi: 10.2991/cmfe-15.2015.108.
- Li F., Gao Y.-Q. The Project Siberian High in CMIP5 models. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2015. 8(4), pp. 179–184. doi: 10.3878/AOSL20140101.
- Liang W.-j., Zhuang D.-f., Jiang D., Pan J.-j., Ren H.-y. Assessment of debris flow hazards using a Bayesian Network. *Geomorphology*. 2012. 171–172, pp. 94–100. doi: 10.1016/j.geomorph.2012.05.008.
- Lin J., Chen C., Peng C. Potential hazard analysis and risk assessment of debris flow by fuzzy modeling. *Natural Hazards*, 2012. 64(1), pp. 273–282. doi: 10.1007/s11069-012-0236-z.
- Liu X., Lei J. A method for assessing regional debris flow risk: an application in Zhaotong of Yunnan province (SW China). *Geomorphology*. 2003. 52(3–4), pp. 181–191. doi: 10.1016/S0169-555X(02)00242-8.
- Liu X., Yue Z., Tham L.G., Lee Ch.F. Empirical assessment of debris flow risk on a regional scale in Yunnan province, Southwestern China. *Environmental Management*. 2002. 30(2), pp. 249–264 doi: 10.1007/s00267-001-2658-3.
- Miao Ch.y., Duan Q.g., Sun Q.h., Huang Y., Kong D.x, Yang T.t, Ye A.zh., Di Zh.h., Gong W. Assessment of CMIP5 climate models and projected temperature changes over Northern Eurasia. *Environmental Research Letters*. 2014. 9(5), 055007. doi: 10.1088/1748-9326/9/5/055007.
- Quan Luna B., Blahut J., Kappes M., Akbas S.O., Malet J.-P., Remaître A., van Asch T., Jaboyedoff M. Methods for debris flow hazard and risk assessment. *In Mountain Risks: From Prediction to Management and Governance (Advances in Natural and Technological Hazards Research, 34)*. van Asch T., Corominas J., Greiving S., Malet JP., Sterlacchini S. (Eds.). Dordrecht: Springer, 2014. pp. 133–177. doi: 10.1007/978-94-007-6769-0_5.
- Shu H., Ma J., Zhang P., Yu H., Ren S., Qi S., Yang H. Debris-flow risk assessment: from catchment to regional scale: a case study from Southern Gansu Province, China. *Ekoloji*, 2019. 28(107), pp. 2319–2333.
- Минтранс России посчитал стоимость строительства и реконструкции километра автомобильных дорог общего пользования <https://investinfra.ru/novosti/mintrans-rossii-poschital-stoimost-stroitelstva-i-rekonstrukcii-kilometra-avtomobilnyh-dorog-obschego-polzovaniya.html>
- Сопоставление стоимости автомобильных и железных дорог <https://aftershock.news/?q=node/501956&full;>
- Федеральная служба государственной статистики РФ http://www.gks.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm — База данных показателей муниципальных образований (дата обращения 12.06–23.12.2016).