

УДК 551.578.48

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЛАВИННОГО РИСКА

Доктор геогр. наук В. П. Благовещенский
 А. Л. Кокарев
 А. В. Степанов

Изложена методика количественной оценки и анализа лавинного риска, составления карт лавинного риска и диаграмм "риск – стоимость защитных мероприятий".

Риск – это возможность нежелательных последствий какого-либо события [5]. Он измеряется вероятной величиной ущерба, поэтому часто термины "риск" и "ущерб" употребляются как синонимы. Основными видами риска являются природный, техногенный и социальный. Из них самым сильным является социальный риск. На его долю приходится 80 % преждевременной смертности в мире [5]. От аварий, связанных с производством, ежегодно погибает 2,1 млн человек. Материальный ущерб от них составляет 1,5 % мирового валового продукта. Природный риск стоит на последнем месте. Средние годовые потери от стихийных бедствий в 80-е годы составляли около 100 тыс. чел. и 1 % мирового валового продукта. Ущерб от природных катастроф растет ежегодно на 7,5-10 %, а количество жертв – на 6-12 % [8], быстрее, чем численность населения и продукты труда.

Источниками природного риска являются процессы и явления, которые отклоняют состояние природной среды от оптимального или привычного для жизни и деятельности человека диапазона. Их принято делить на опасные и неблагоприятные. Опасные процессы и явления являются причиной непредвиденных потерь, чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий. Для них характерны кратковременность действия и редкая повторяемость. Неблагоприятные природные процессы и явления создают неудобства и вызывают рост затрат, которые можно предвидеть заранее. Это деление является относи-

тельным. Одно и то же явление в одних случаях является опасным, в других – неблагоприятным, а в третьих – даже полезным. Так, сильный снегопад в горах приводит к сходу снежных лавин, которые могут быть причиной катастроф. На дорогах он образует снежные заносы, вызывающие дополнительные расходы на расчистку. А на полях этот же снегопад создает дополнительные запасы влаги и повышает урожайность.

Обычно бедствия создаются явлениями, повторяющимися реже, чем один раз в 10 лет. Часто повторяющееся явление вынуждает людей приспособляться к нему, и оно воспринимается уже как просто неблагоприятное, создающее постоянное неудобство. Явление с теми же параметрами, в других условиях может стать стихийным бедствием. Ежегодные морозы в минус 40 °С в Якутии являются неудобством, а очень редкие понижения температуры до минус 5 °С в Индии – уже катастрофа.

Опасные природные процессы могут воздействовать на объекты разрушительным, парализующим или истощающим образом [5]. Это деление также условно. Например, наводнение разрушает дома в населенных пунктах, парализует движение на дорогах и истощает урожай на полях. Последствия воздействий опасного процесса на объект зависят от устойчивости объекта и интенсивности процесса. Для каждой пары объект – процесс существует критическая (пороговая) интенсивность процесса, после которой он становится разрушительным.

По своему происхождению опасные и неблагоприятные природные процессы и явления делятся на метеорологические, гидрологические, геологические, геоморфологические, биологические. К метеорологическим относятся ураганы, ливни, снегопады, метели, перепады температуры и давления воздуха и др. Гидрологические опасные явления включают в себя наводнения, подтопления берегов, ледовые явления и т.п. Геологические опасные процессы происходят в земной коре. Это землетрясения и извержения вулканов. Геоморфологические опасные явления обычно бывают связаны с быстрым движением горных пород по склонам или руслам. Это оползни, обвалы, камнепады, сели, лавины и др. Медленные движения – солифлюкция, карст, ледники, каменные глетчеры – относятся к неблагоприятным процессам. К биологическим опасным природным процес-

сам и явлениям причисляются эпидемии, ядовитые растения и животные, лесные пожары и т.д. Наиболее крупные стихийные бедствия обычно вызываются комплексом опасных явлений, порождающих друг друга. Так, сильное землетрясение в горах сопровождается оползнями и обвалами, которые производят большее число разрушений, чем само землетрясение. В результате массовых разрушений населенных пунктов в очагах землетрясений вспыхивают эпидемии.

Горные районы являются территориями с повышенным природным риском. Здесь происходит непропорционально большое, как по территории, так и по количеству населения, число природных катастроф [10]. С 1953 по 1988 г. в горных районах Земли случилось 374 стихийных бедствия [9]. Из них связанных с землетрясениями было 154, с извержениями вулканов - 19, с оползнями - 70, с лавинами - 18, с паводками и селями - 118. В это число включены стихийные бедствия, при которых погибло более 10 человек, а ущерб составил более \$1 млн. Бедствия в горах продолжают расти, как по количеству, так и по размеру ущерба [11].

Наибольший ущерб в горах обусловлен опасными геоморфологическими процессами, что объясняется значительной энергией расчленения горного рельефа, определяемой крутизной склонов и их превышением. Существенная часть природного риска приходится на снежные лавины. По своей распространенности и повторяемости лавины превосходят все остальные опасные процессы в горах. В наиболее лавиноопасных районах лавины сходят ежегодно, поражая до 80 % территории. Общая площадь лавиноопасных территорий на Земле составляет 9253 тыс. км² или 6,2 % площади суши [3]. В Казахстане лавиноопасные территории занимают 134 тыс. км² [6]. Очень лавиноопасным районом является Заилийский Алатау, где в окрестностях Алматы за последние 25 лет от лавин погибло 50 человек.

Анализ риска должен содержать ответы на три вопроса: что может случиться, с какой вероятностью, с какими последствиями? Для ответа на эти вопросы необходимо знать три характеристики опасного процесса: распространенность, повторяемость и масштабность. Применительно к анализу лавинного риска характеристикой распространенности является коэффициент лавинной опасности [6], представляющий собой отношение площади лавиноопасных участков к общей площади. Повторяемость - это средний интервал времени

между последующими лавинами. Масштабность процесса характеризует его разрушительную силу, которая для лавин определяется их объемом. Следовательно, коэффициент лавинной опасности, повторяемость и объемы лавин являются характеристиками, которые необходимо определять при оценке лавинной опасности и показывать на картах. Методика определения этих характеристик по данным о рельефе и снежном покрове изложена в работах [2, 6].

Лавинный риск r может быть определен как возможное число людей, погибших в лавине, или как стоимость разрушенных лавинами хозяйственных объектов на данной территории за один год. При определении риска необходимо различать индивидуальный и коллективный риск. Индивидуальный риск r_i определяет вероятность гибели отдельного человека, находящегося в течение зимы на лавиноопасной территории. Коллективный риск r_k показывает, сколько человек ежегодно могут погибнуть на этой территории. Эти виды риска связаны между собой простым соотношением: $r_k = Nr_i$, где N – число людей, находящихся на лавиноопасной территории в лавиноопасный период.

Для материального риска r_m можно ввести понятие об удельном риске r_{sp} , определив его как вероятность разрушения одного объекта определенной категории. Тогда материальный риск будет равен $r_m = Sr_{sp}$, где S – суммарная стоимость объектов.

Величина лавинного риска определяется произведением вероятности взаимодействия лавины с объектом p_0 (попадание человека в лавину, удар лавины в сооружение) на вероятность нанесения ущерба в результате этого воздействия p_1 (гибель человека, разрушение сооружения). Вероятность p_0 для одного человека или единичного объекта рассчитывается по формуле

$$p_0 = Kp_1 I/T,$$

где K – коэффициент лавинной опасности, p_1 – вероятность лавинообразования, T – интервал между лавиноопасными зимами, год.

Вероятность лавинообразования p_1 в данном случае представляет собой долю площади потенциально лавиноактивного склона, принявшей участие в лавинообразовании. Она зависит от крутизны

склона α и высоты снежного покрова h . Для этой зависимости по фактическим данным о сходе лавин получена эмпирическая формула

$$p_s = 0,64 / (1 + e^{13,57\alpha}) (1 + e^{4,33 \cdot h}),$$

где h – высота снега, м.

Вероятность ущерба от лавин быстро возрастает с увеличением их объема. Так, согласно статистике несчастных случаев в Швейцарии [9], в лавинах объемом 100 м^3 погибает 20 % от числа попавших в лавину, а в лавинах объемом 1000 м^3 – уже 80 %. Для вероятности гибели человека в лавине p_m и для вероятности разрушения лавинами легких зданий p_{rn} получены эмпирические зависимости их от объема лавины

$$\begin{aligned} p_m &= 0,95 / (1 + e^{13,6 \cdot 50V}), \\ p_{rn} &= 0,95 / (1 + e^{20,2 \cdot 50V}), \end{aligned}$$

где V – объем лавины, м^3 .

Располагая данными о коэффициентах лавинной опасности, повторяемости лавин и их объемах можно рассчитать индивидуальный или удельный лавинный риск, а имея сведения о посещаемости территории людьми и наличии хозяйственных объектов, – коллективный риск гибели людей и материальный риск.

Например, в Заилийском Алатау в наиболее лавиноопасной высотной зоне от 2400 до 3000 м над уровнем моря коэффициент лавинной опасности K равен 0,7. Вероятность лавинообразования на преобладающих здесь травянистых склонах крутизной 35° при высоте снега 1,5 составляет 0,6. Лавины в этой зоне сходят ежегодно, то есть $T=1$. Объемы лавин превышают 1000 м^3 ($p_m > 0,8$). В этом случае индивидуальный лавинный риск составит 0,34. Это означает, что из 100 человек, постоянно находящихся зимой в этой зоне, от лавин может погибнуть 34 человека, если не предпринимать никаких мер предосторожности.

В зоне от 1600 до 2000 м, где склоны покрыты еловым лесом, лавины могут образовываться только на небольших по площади полянах, средний объем лавин равен 100 м^3 , а коэффициент лавинной опасности не превышает 0,1. И хотя лавины здесь сходят ежегодно, индивидуальный лавинный риск уменьшается до 0,01.

Ниже 1500 м высота снега в обычные годы не превышает 50 см. В этой зоне лавинообразование наблюдается не чаще, чем один раз в 10 лет. Коэффициент лавинной опасности составляет 0,25. Объемы лавин около 100 м³. Индивидуальный лавинный риск равен 0,005.

Используя эту методику, можно рассчитать лавинный риск для любого участка лавиноопасной территории и построить карту лавинного риска. Такая карта М 1:200000 была составлена для Заилийского Алатау и Кунгей-Алатау. Предварительно в том же масштабе была составлена карта лавинной опасности, на которой были показаны коэффициент лавинной опасности, объемы лавин и их повторяемость. Для всех возможных сочетаний этих характеристик была рассчитана величина индивидуального лавинного риска. Легенда карты лавинной опасности с результатами расчетов лавинного риска приведена в таблице 1. На рис. 1 дан фрагмент карты индивидуального лавинного риска. Такие карты могут использоваться в проектах районных планировок при выборе территорий, перспективных для освоения.

Таблица 1

Индивидуальный лавинный риск (%) на территориях с различными характеристиками лавинной опасности

Объем лавин, тыс.м ³	Коэффициент лавинной опасности									
	территории с ежегодным сходом лавин					территории со сходом лавин реже одного раза в 10 лет				
	<0,1	0,1-0,25	0,25-0,50	0,50-0,75	>0,75	<0,1	0,1-0,25	0,25-0,50	0,50-0,75	>0,75
<0,1	0,02	0,1	0,1	0,3	0,5	0,001	0,005	0,01	0,02	0,02
0,1-1	0,04	2	4	6	8	0,02	0,1	0,2	0,3	0,3
>1	2	4	10	15	20	0,05	0,2	0,5	0,8	0,8

На среднемасштабных картах, подобных приведенной на рис. 1, лавинный риск показывается осредненным по территории. Внутри этой территории он может меняться от нуля, вне границ распространения лавин, до единицы, в лавинных лотках, где ежегодно сходят лавины. При разработке мероприятий по защите от лавин требуется оценивать лавинный риск на конкретных участках. Для этого

необходимо знать повторяемость и объемы лавин, поражающих эти участки.

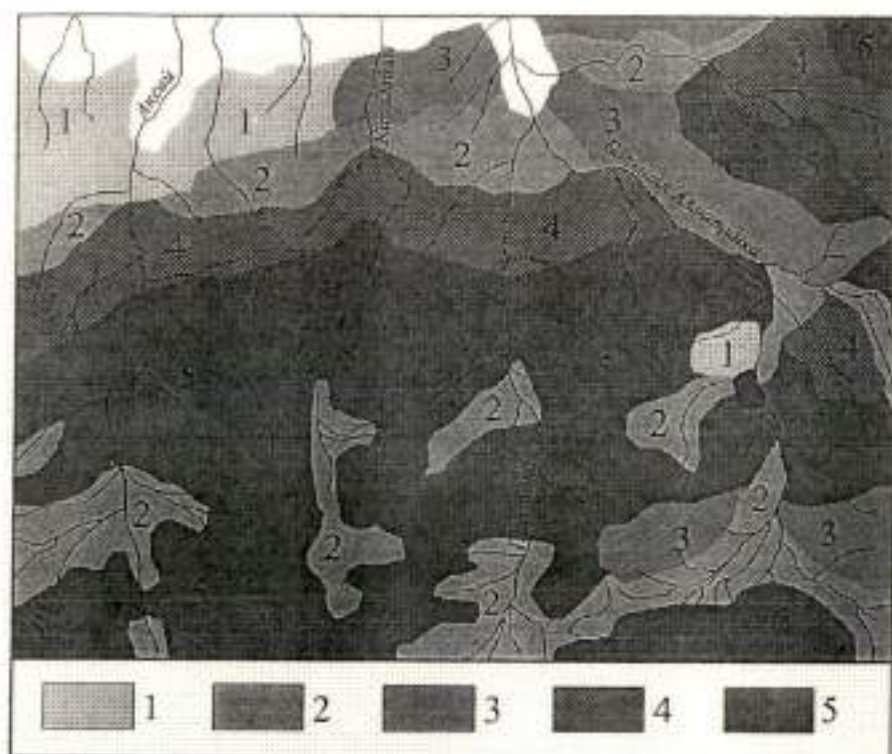


Рис. 1. Фрагмент карты лавинного риска М 1:20000.

Индивидуальный лавинный риск %: 1 - $<0,01$; 2 - $0,01-0,1$; 3 - $0,1-1$; 4 - $1-10$; 5 - >10

Например, автодорога от Медео до Чимбулака пересекает четыре лавиноопасных участка. Первый находится перед плотиной Медео. Здесь на дорогу один раз в 10 лет падает лавина с восточного склона горы Мохнатка. На втором участке дорога пересекает устье лога Каменного ручья. В верховьях лога лавины бывают ежегодно, но по дороге они доходят не чаще одного раза в 20 лет. Третий лавиноопасный участок находится между Каменным ручьем и метеостанцией Усть-Горельник. Длина участка около 200 м. Здесь на дорогу со склона восточной экспозиции в 4-х местах ежегодно падают небольшие лавины. Общая длина поражаемых лавинами отрезков дороги составляет 40 м. И наконец, четвертый лавиноопасный участок расположен

выше устья лога Сарысай, где дорога проходит под склоном западной экспозиции. На этом склоне в обычные годы бывает мало снега, и лавины с него не сходят. Однако, в экстремально многоснежные годы, примерно 1 раз в 50 лет лавина с этого склона может засыпать дорогу на протяжении 100 м. Показатели лавинной опасности этих участков и рассчитанный лавинный риск приведены в таблице 2.

Таблица 2
Характеристики лавинной опасности и лавинный риск
на автодороге Медео – Шимбулак

Но- мер уча- стка	Длина лави- но- опас- ных отрез- ков, м	Объем лавины, м ³	Пов- торяе- мость лавины, 1/лет	Вероят- ное число людей в лавино- опасной зоне	Вероят- ность попада- ния лю- дей в лавины	Вероят- ность гибели людей, попав- ших в ла- вину	Лавин- ный риск
1	50	1000	1/10	0,5	0,05	0,8	0,04
2	20	1500	1/10	0,2	0,02	0,8	0,016
3	40	100	1	0,4	0,4	0,2	0,08
4	100	2000	1/50	1	0,02	0,8	0,02
						Всего	0,156

Для этих расчетов лавинного риска необходимо задать плотность потока людей по этой дороге. Исходя из результатов наблюдений за движением людей, можно принять, что средний интервал между пешеходами составляет 100 м. Естественно, что он сильно меняется в зависимости от времени суток, дня недели и даже погоды. При более тщательных исследованиях это можно учесть в виде распределения плотности вероятности. При такой плотности потока в любой момент времени возможное число людей, находящихся в лавиноопасной зоне, $n=L/100$, где L - длина лавиноопасного участка, м.

Вероятность того, что лавина при сходе захватит человека, будет равна произведению вероятности схода лавин на вероятное число людей на ее пути. Для 3-го участка это будет 0,4, а для 4-го - 0,02. Вероятность гибели человека, захваченного лавиной, зависит от ее объема. При объемах 100 м³ на 3-м участке она равна 0,2. При таких усло-

вних риск гибели человека в лавине на этом участке будет равен 0,08. На участке 4 такой риск равен 0,02, а на всем протяжении дороги от Медео до Шимбулака он равен 0,156. Это значит, что за 6 лет на этой дороге может один пешеход может погибнуть в лавине.

При средней плотности потока автомашин 2/км, среднем числе пассажиров в машине 4 и вероятности гибели людей в машине, попавшей в лавину 0,16 [16], лавинный риск для людей, едущих на Шимбулак в машинах, составляет 0,064, или один смертельный случай за 15 лет.

Индивидуальный лавинный риск для пеших туристов, проходящих по этой дороге, составляет 0,008 % на одно путешествие от Медео до Шимбулака и обратно, что составляет примерно 1 смертельный случай на 25 000 посещений в зимний период. Если человек проходит по этой дороге ежедневно туда и обратно, для него лавинный риск будет составлять примерно 0,8 % в год.

Определив уровень лавинного риска, необходимо принять решение, является ли он приемлемым или нет. Если уровень риска достаточно низкий, можно не предпринимать никаких мер безопасности. Если риск превышает допустимый уровень, надо провести мероприятия по его снижению, которые требуют определенных затрат. Приемлемый риск, также как и риск вообще, является понятием относительным и, в конечном итоге, определяется желанием (или возможностью) общества платить за безопасность. В Швейцарии, например, готовы платить от 10 до 40 млн. швейцарских франков в год за предотвращение гибели одного человека [14].

Уровень приемлемого риска зависит от вида риска и способности людей самостоятельно принимать решения. В этом смысле специалисты различают риск добровольный и вынужденный. Психологически человек гораздо легче соглашается на добровольный риск, например, выбирая заведомо опасный маршрут восхождения на вершину, чем на вынужденный риск, например, покупая билет на самолет.

На Земле 1 раз в 10 лет отмечается случай прямого попадания метеорита в человека [12], что составляет примерно 1 на 100 млн чел. в год. Это можно считать крайним случаем явно приемлемого риска, так как человечество не предпринимает никаких мер по защите от метеоритов. В Швейцарии в пределах населенных пунктов допускается

1 случай гибели человека от природных опасностей на 100000 жителей в год. В промышленности уровень допустимого риска гораздо выше – 1 случай на 10000 работающих (0,01 %) в год [16]. Примерно такой же процент несчастных случаев, связанных с автокатастрофами в США [5].

Если уровень риска, по каким-либо причинам, представляется неприемлемым, предпринимаются меры по его снижению. Каждому мероприятию соответствует определенный уровень снижения риска и сумма затрат на это мероприятие. По этим данным можно построить диаграмму "риск-затраты" [13], которая позволяет выбрать наиболее эффективную стратегию управления риском.

Как правило, на начальных этапах управления риском даже небольшие затраты на проведение простейших защитных мероприятий дают значительное снижение начального риска, но обычно до уровня еще превышающего допустимый. Для дальнейшего снижения риска требуются все большие затраты, и при определенных соотношениях прирост затрат на защиту становится больше уменьшения ущерба. По отношению к материальным объектам этот уровень можно считать пределом эффективности защитных мероприятий. По отношению к людям такого предела не существует, так как жизнь человека не имеет цены, хотя в ряде случаев при анализе риска использовался денежный эквивалент человеческой жизни от 75 до 360 тыс. долларов США [4].

В таблице 3 приведены данные о стоимости противолавинных мероприятий, взятые из работ [8, 15, 16]. По этим данным была получена зависимость стоимости защитных мероприятий от уровня до которого необходимо снизить лавинный риск, приведенная на рис. 2.

Эффективность действия противолавинных мероприятий можно оценить с помощью коэффициента $K_e = \log(r_1/r_2)/\Sigma$, где r_1 - лавинный риск до проведения противолавинных мероприятий, r_2 - лавинный риск после проведения противолавинных мероприятий, Σ - стоимость противолавинных мероприятий. Оценка лавинной опасности и картирование лавиноопасных зон позволяет выбрать для строительства безопасные участки, что сразу уменьшает лавинный риск почти в 10 раз, при затратах всего 0,5-1,0 тыс. долл. США. Коэффициент эффективности этих мероприятий составляет

1-2 ($\$ 10^3$)⁻¹. Однако, достигаемый при этом уровень лавинного риска (1-5 %) еще очень высок.

Таблица 3

Стоимость противолавинных мероприятий и достигаемое ими снижение индивидуального лавинного риска

Противолавинное мероприятие	Стоимость, тыс. дол. США	Лавинный риск, %
Оценка лавинной опасности	0,5 – 1 км ⁻²	1 – 5
Прогноз лавин	2 – 5 км ⁻² в год	0,1 – 0,5
Профилактические спуски	1 – 2 км ⁻² в год	0,01 – 0,05
Лесопосадки	1000 км ⁻²	0,005 – 0,01
Лавиноудерживающие заборы	100000 км ⁻²	<0,001
Лавинозащитные галереи	1000 км ⁻¹	<0,001

Прогноз лавин предусматривает создание станций снеголавинного мониторинга, разработку региональных методов прогноза лавин и организацию службы предупреждения о лавинной опасности. Эти мероприятия уменьшают лавинный риск еще в 10 раз и имеют эффективность 0,4-1,0 ($\$ 10^3$)⁻¹. Применение профилактических спусков лавин в комплексе с их прогнозом обеспечивает снижение лавинного риска практически до приемлемого уровня 0,01 %, при эффективности 0,45-0,9 ($\$ 10^3$)⁻¹. Очевидно, поэтому во многих случаях противолавинные мероприятия ограничиваются именно этим комплексом мер.

Для защиты особо важных объектов требуется строительство защитных сооружений, имеющих очень высокую стоимость, и, вследствие этого, низкую эффективность - 0,0025 ($\$ 10^3$)⁻¹. Это означает, что

их можно применять, если стоимость защищаемого объекта превышает 400 тыс. долл. США.



Рис. 2. Зависимость индивидуального лавинного риска Γ от стоимости противолавинных мероприятий S

Таким образом, анализ риска, его картографирование и составление диаграмм "стоимость-риск" позволяет выбрать оптимальную стратегию защиты от лавин. Очевидно, подобную методику можно использовать и для других видов природного риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благовещенский В. П., Северский И. В. Оценка затрат на противолавинные мероприятия // Ледники, снежный покров и лавины в горах Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1989. - С. 100 - 109.
2. Благовещенский В. П. Определение лавинных нагрузок. - Алма-Ата: Гылым, 1991. - 116 с.
3. География лавин / Под ред. С. М. Мягкова, Л. А. Канасва. - М.: Изд-во МГУ, 1992. - 332 с.

4. Геологические стихии / Болт Б.А., Хорн У.Л., Макдональд Г. А., Скотт Р.Ф. - М.: Мир, 1978. - 440 с.
5. Мягков С. М. География природного риска. - М.: Изд. МГУ, 1995. - 224 с.
6. Северский И. В., Благовещенский В. П. Оценка лавинной опасности горной территории. - Алма-Ата: Наука, 1983. - 220 с.
7. Ядрошников В. И. Расчетные параметры лавинозащитных сооружений. - Новосибирск, 1997. - 134 с.
8. Alexander D. Natural Disaster. - New York: Chapter and Hall, 1993. - 358 p.
9. Disaster History: Significant Data of Major Disasters Worldwide, 1900 - Present. - Unated States Office of Foreign Disaster Assistance. - Washington, DC, 1988. - 436 p.
10. Hewitt K. Risk and disasters in mountain lands // Mountains in the World. A Global Priority. Edited by Messerli B. & Ives D. - London, 1997. - P. 371- 408.
11. Housner G. W. An international decade for natural disaster reduction. 1990-2000 // Natural Hazards. - 1989. - № 2. - P. 45 - 75.
12. Huggett R. The bumbarded Earth // Geography. - 1990. - Vol. 75, № 327. - P. 10 - 15.
13. Kaplan S., Garvick J. On the quantitative definition of risk // Risk Analysis. - Vol. 1, № 1. - 1981. - P. 11 - 27.
14. Merz H., Bohnenblust H. Cost/effectiveness analysis and evaluation of risk reduction measures // The 2nd World Congress on Safety Science. - Budapest, 1993. - P. 1-23.
15. Schnee und Lavinien in der Schweizer Alpen // Mitt. Eidgenoss. Inst. Schnee-Lavinienforsch. Davos. № 31-51. - 1966 - 1986. - 265 p.
16. Wilhelm, C. Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz - Metodik und Erhebungen zur Beurteilung von Schutzmassnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und okonomischer Bewertung // Mitt. Eidgenoss. Inst. Schnee-Lavinienforsch. Davos. - 1997. - № 54. - 309 p.

ҚАТЕРЛІ КӨШКІНДІ КАРТАҒА ТҮСІРУ ЖӘНЕ ОҒАН ТАЛДАУ ЖҮРГІЗУ

Геогр.г.докторы В. П. Благовещенский
А. Л. Кокарев
А. В. Степанов

Сандық бағалардың өдісі және қатерлі көшкінге талдау жүргізу, қатерлі көшкін картасы мен “тәускел түбі – шараның қорғаныш құндылығы” диаграммасын құрастыру туралы айтылған.