

УДК 551.311.21:627.141.1

Доктор геогр. наук Б.С. Степанов ¹
Доктор техн. наук Р.К. Яфязова

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ОПОВЕЩЕНИЕ О СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ

Ключевые слова: сель, селевая опасность, сейсмический сигнал, сейсмическая станция, плотина, прогноз, метод

Наличие сейсмических станций, расположенных в горной (предгорной) зоне хребтов, климат которых благоприятствует формированию селей, позволяет получать информацию об их зарождении, развитии и деградации вне зависимости от генезиса селей. Использование данных сейсмических наблюдений – наиболее информативный, надежный и мало затратный способ оповещения о селевой опасности.

Жарко в горах бывает слишком часто, чтобы всякий раз объявлять гляциальную селеопасность, к тому же без указания точного адреса. Если в течение 10 лет более 30 раз бить ложную тревогу, то к моменту прохождения даже предсказанного селя отношение к таким прогнозам может стать только ироническим.

Ю.Б. Виноградов

Селевые потоки являются основным природным механизмом переноса крупных фракций рыхлообломочных горных пород из верхнего уровня накопления (морены, продукты обвалов, каменных глетчеров и т.д.) на средний уровень (предгорную равнину). Сель – природное или антропогенное явление, ущерб, наносимый им, может быть сравним с последствиями сильного землетрясения. В зависимости от генезиса и условий формирования сели, приводящие к гибели людей, могут иметь объем от сотен кубометров до нескольких сотен миллионов кубометров.

Так, грязекаменный сель, образовавшийся 30 марта 1956 г. при взрыве вулкана Безымянный (Камчатка), прошел по долинам рек Сухой и Большой Хапицы до реки Камчатки 90-километровый путь и сформировал

¹ Казгидромет, г. Алматы

большие поля селевых отложений. Общий объем перемещенной и отложенной массы по самым скромным оценкам достигал 500 млн. м³ [3].

По данным И.В. Мушкетова, сейсмогенный сели 1887 г., образовавшийся в долине р. Проходная (приток р. Улькен Алматы) в результате разжижения древней морены и отложившийся в основном в долине р. Улькен Алматы, имел объем около 50 млн. м³.

Антропогенный сели 1988 г., сформировавшийся в результате прорыва накопителя сточных вод г. Алматы, имел объем, близкий к 70 млн. м³ [12]. Гляциальные сели в бассейнах рек Есик, Киши и Улькен Алматы (хребет Иле Алатау) имели объем несколько миллионов кубометров. Крупные сели за последние десятилетия формировались в бассейнах рек Каскелен, Талгар, Сарканд и др. Ущерб, нанесенный селями, исчисляется сотнями миллионов долларов, погибли сотни человек.

С потеплением климата селевая активность возрастает и к середине 21 века может многократно превысить таковую, имевшую место в 20 столетии. В связи с ростом населения, проживающего в зонах воздействия селей (в том числе г. Алматы), расширения рекреационных зон и горного туризма, важную роль приобретает не только защита от селей, но и своевременное оповещение о селевой опасности.

Наиболее эффективным способом уменьшения ущерба, наносимого селями, является сооружение плотин. Однако наличие нескольких селевых очагов в селевых бассейнах и особенности морфологии долин часто вынуждают осуществлять строительство селехранилищ в зонах, прилегающих к конусам выноса, на которых располагаются населенные пункты или объекты хозяйственного назначения. При этом часть долины, расположенная выше селехранилища, где проходят автомобильные дороги, гидротехнические сооружения, а подчас построены детские лагеря, гостиницы и рестораны, жилища местного населения и т.д. остаются незащищенными. К сожалению, в настоящее время далеко не все горные долины и предгорные зоны оснащены противоселевыми сооружениями. В такой ситуации предотвращение или уменьшение ущерба, обусловленного гибелью людей и утратой движимого имущества, достигается путем прогнозирования и оповещения о селевой опасности.

Сели, формирующиеся в Казахстане, могут иметь различный генезис: дождевой, гляциальный, сейсмический и антропогенный:

дождевые сели образуются в результате выпадения в горной местности интенсивных и продолжительных жидких осадков;

гляциальные сели возникают при прорыве поверхностных и подземных водоемов моренно-ледниковых комплексов, обрушении больших объемов горных пород на поверхность ледников и последующей трансформации смеси горных пород и льда в грязекаменную массу;

сейсмогенные сели образуются в результате разжижения водонасыщенных массивов горных пород вследствие сейсмических колебаний, обусловленных землетрясениями;

антропогенные сели – продукт прорыва водоемов и хвостохранилищ, а также следствие бесконтрольного обводнения садово-огородных участков, расположенных на крутых (и не очень крутых) склонах в низкогорной зоне; причиной обводнения может служить и неисправность водопроводных и канализационных сетей.

Состояние изученности природы гляциальных селей, а также наличие информации о характеристиках, определяющих вероятность их формирования, недостаточно (с экономической точки зрения) для прогнозирования селей упомянутого генезиса. Безопасность, обусловленная возможностью формирования селей гляциального генезиса, должна обеспечиваться своевременным опорожнением опасных водоемов, созданием дренажной сети в гляциальной зоне, исключающей накопление опасных объемов талых вод.

Качество прогноза сейсмогенных селей определяется состоянием прогноза времени, интенсивности, положения в пространстве эпицентра землетрясения, детального геологического строения района и т.д. В настоящее время надежность прогноза этих характеристик не позволяет прогнозировать сели сейсмического генезиса.

Опасность антропогенных селей может снижаться путем научно обоснованных методов проектирования и эксплуатации водохранилищ, хвостохранилищ, систем водоснабжения и канализации, контроля за степенью увлажнения массивов рыхлообломочных пород, сдвиг которых может приводить к формированию оползней, трансформирующихся в сели.

Сель – сложный многофакторный процесс. Важную роль в формировании селей дождевого генезиса играют климатический, метеорологический, геоморфологический, геологический, почвенно-растительный и антропогенный факторы. Изменчивость во времени и пространстве характеристик этих факторов значительно затрудняет прогнозирование селей.

Качество прогнозов селей в горной местности в решающей мере определяется объемом и достоверностью оперативной информации об из-

менении во времени гидрометеорологических характеристик в очагах формирования селей. Рассуждая о путях увеличения оправдываемости прогнозов селей, доктор техн. наук Ю.Б. Виноградов писал: «Метеорологи почему-то не пытаются прогнозировать продолжительность и интенсивность ливня уже начавшегося, уже идущего. Многие неопределенности, сводящие на нет заблаговременный (24 или 12 ч) прогноз, уже исчезли, их заменила вполне конкретная ситуация. Вы скажите, что поздно уже копаться с прогнозом. Отнюдь нет ... Что можно противопоставить такому «сверхкраткосрочному» прогнозу? Только сигнал службы оповещения о прохождении уже сформировавшегося селя в какой-либо точке бассейна, пусть даже сразу ниже селевого очага. Сколько времени у нас в запасе? Для объектов, которые первыми войдут в соприкосновение с селем, это время исчисляется минутами, иногда десятками минут. Ну а если заблаговременность предупреждения увеличить еще на 20...40 минут? В большинстве случаев этого достаточно, чтобы избежать жертв и спасти то, что можно убрать из опасной зоны за полчаса-час. Мне думается, что если в ближайшем будущем и можно рассчитывать на серьезный прогноз ливневых селей, то именно на такой» [3].

Предикторами, играющими важную роль при прогнозе селей дождевого генезиса, являются температура воздуха, фаза (твердая, жидкая) выпадающих осадков, их слой и интенсивность, высота нулевой изотермы, степень увлажнения селеформирующих грунтов, характеристики водосбора. Учитывая особую роль интенсивности и продолжительности осадков, в Казахстане и на южном склоне Большого Кавказа для их получения предпринимались попытки использовать метеорологические радиолокаторы. Однако из-за сложности горного рельефа относительно большая погрешность измерения характеристик осадков не позволяла получить необходимые материалы.

Опыт краткосрочного (12...72 ч) прогноза селей на северном склоне Иле Алатау свидетельствует о низкой его оправдываемости из-за относительно большой погрешности синоптического метода, используемого при прогнозе осадков. Возможности численных методов прогноза осадков ограничены объемом и качеством имеющейся исходной информации. По мнению профессора М.А. Петросянца, для успешного прогнозирования опасных гидрометеорологических явлений в горной местности расстояние между метеостанциями не должно превышать 25 км, интервал времени между измерениями – 45 мин, погрешность измерения метеоэлементов

уменьшена в 2...3 раза. Обеспечить получение и своевременную передачу таких данных в ближайшие годы маловероятно.

Поскольку сели бассейнов рек Киши и Улкен Алматы угрожают г. Алматы, а оправдываемость краткосрочных прогнозов селей дождевого генезиса низка, возникла необходимость в разработке метода прогноза селей без привлечения данных прогноза осадков [10].

В период 2008...2010 гг. в РГП «Казгидромет» был разработан метод сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы [11]. Метод основан на данных о фактическом выпадении жидких осадков в высокогорной и среднегорной зонах, а также результатах анализа гидрометеорологических условий, предшествовавших «моменту» составления прогноза: высоты сезонной снеговой линии, температуры воздуха и вертикального температурного градиента, степени увлажнения селеформирующих грунтов и т.д.

Поскольку заблаговременность сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей относительно невелика, представляется целесообразным ее увеличение за счет предварительной подготовленности к возникновению чрезвычайной ситуации подразделений Казгидромета и МЧС, принимающих участие в мониторинге и проведении мероприятий, направленных на предотвращение и смягчение ущерба, наносимого селями. Положительный эффект достигается поэтапным оповещением государственных органов и населения о потенциальной угрозе, что позволит практически на порядок увеличить оправдываемость прогноза катастрофических селей дождевого генезиса при заблаговременности, обеспечивающей безопасность людей, оказавшихся в потенциально опасной зоне.

Первый этап. При краткосрочном прогнозе жидких осадков: «Сильные осадки в селеопасных районах» (слой превышает 15 мм) дается «Предупреждение о сильных осадках в селеопасных районах». Однако это предупреждение доводится только до метеостанций, участвующих в мониторинге селей, а также уполномоченного органа МЧС (без права распространения информации населению).

Второй этап. С началом выпадения упомянутых выше осадков на М Мынжилки и М Шымбулак, о которых наблюдатели метеостанций сообщают прогностическому подразделению, дается «Предупреждение о начале выпадения осадков», которое доводится до органов МЧС (без права дальнейшего распространения), отвечающих за безопасность от природных катаклизмов в бассейнах рек Киши и Улькен Алматы.

Третий этап. При выпадении 40 мм осадков на М Мынжилки и наличии других факторов, определяющих возможность формирования селя, прогностическим подразделением дается «Штормовое предупреждение» СГЯ (сель), которое доводится до органов МЧС с целью предупреждения населения и организаций о высокой вероятности формирования селя.

Предлагаемая схема предупреждения о селевой опасности позволит Казгидромету и МЧС заблаговременно подготовиться к мониторингу опасного явления и мероприятиям, обеспечивающим безопасность населения и функционирования хозяйственного механизма в чрезвычайной ситуации. С другой стороны, население будет избавлено от многочисленных не оправдавшихся прогнозов селей, что повысит доверие к прогнозам селей, без которого прогнозирование не имеет смысла.

Качество прогнозов оценивается оправдываемостью и предупрежденностью. Оправдываемость определяется как частное от деления числа оправдавшихся прогнозов на число прогнозов. Предупрежденность равна частному от деления числа оправдавшихся прогнозов на сумму числа прогнозов плюс число селевых явлений, не предусмотренных прогнозом.

В результате анализа матрицы сопряженности фактического и прогностического состояния, а также матрицы потерь, Т.Л. Киренской установлено, что стратегия доверия прогнозу селей, при 100 % предупрежденности, целесообразна при составлении одного перестраховочного прогноза в течение 2-х лет [4, 5].

Многочисленность очагов зарождения селей (только на северном склоне Иле Алатау их несколько сотен), различие в генезисах селеобразования делают систему оповещения о селевой опасности, базирующуюся на гидрометеорологической информации, и ее передаче по космическим каналам связи, громоздкой и дорогостоящей.

В 1972...1978 гг. Казахским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом (КазНИГМИ) проводились эксперименты по искусственному воспроизведению селей в натуральном масштабе. Максимальный расход селей достигал 420 м³/с, что соответствует расходам средних (по масштабам) катастрофических природных селей.

В ходе экспериментов, с целью получения данных о расходах селя в различных створах в зависимости от расхода воды, дальности прохождения селя и т.д., применялся сейсмический способ измерения расхода селя [1]. Сейсмический способ основан на измерении и регистрации сейсмиче-

ских колебаний, возбуждаемых в горных породах при прохождении селей. К достоинствам сейсмического метода относится то, что датчики располагаются вне зоны разрушительного воздействия селя. Это позволяет получать непрерывную информацию об основных характеристиках селей, что создает условия для оптимизации мероприятий, направленных на снижение ущерба, наносимого селями.

В 1973 г. пульсирующий ледник Медвежий (Памир, бассейн р. Ванч) перегородил долину р. Абдукагор, образовалось ледниково-подпрудное озеро с объемом около 27 млн. м³ и максимальной глубиной 110 м. Сейсмический способ успешно применялся при определении расхода катастрофического паводка, образовавшегося в результате прорыва подпрудного озера. Максимальный расход паводка достигал 1000 м³/с (рис. 1) [7].

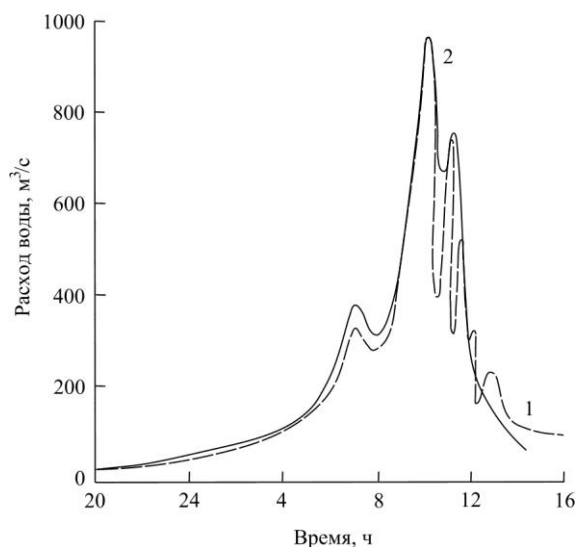


Рис. 1. Гидрограф паводка, возникшего при прорыве подпрудного озера ледника Медвежий. По данным: 1 – сейморасходомера; 2 – об опорожнении озера.

В том же году (после просмотра сейсмограмм, полученных на сейсмостанции Талгар при прохождении селя на р. Киши Алматы в 1973 г.) нами была предпринята попытка заинтересовать сейсмологов Института физики Земли АН СССР проблемой оповещения о селевой опасности с использованием сейсмической аппаратуры упомянутой сейсмостанции. Известно, что сейсмический метод использовался в системах определения координат и мощности ядерных взрывов. В сети наблюдений за природными землетрясениями и взрывами принимала участие и сейсмическая

станция Талгар. Амплитуда сигнала, обусловленного движением селя в бассейне р. Киши Алматы в 1973 г., на порядки превышала чувствительность сейсмографа, установленного на станции и располагавшегося в штольне, пройденной в коренных породах бортовой части долины реки, образованной слиянием рек Правый и Средний Талгар.

Однако привлечение аппаратуры сейсмостанции Талгар для оповещения о селевой опасности сдерживалось частотой прохождения селей, информация о характеристиках которых могла использоваться при разработке методов интерпретации данных сейсмических наблюдений, недостаточным количеством станций и загруженностью научных работников другими проблемами.

Сейсмический способ измерения характеристик селей использовался при разработке сейсмического оповестителя о селевой опасности Научно-исследовательским институтом приборостроения Госкомгидромета СССР и Казахским гидрометеорологическим институтом [2, 6]. Оповеститель прошел приемочные испытания, однако его внедрению в Казахстане помешал распад СССР.

Сейсмический метод, с использованием данных сейсмических станций, используется для получения информации о грозах и взрывах химически веществ; разработаны методы оценки координат и характеристик оползней [8]. Оползневые процессы наносят значительный ущерб экономике, приводят к разрушениям на большой территории и человеческим жертвам. Так, в результате схода оползня в ущелье Талды-Булак 13 марта 2004 г. погибло 29 человек. На рис. 2 представлены сейсмограммы этого оползня, а на рис. 3 – карта расположения сейсмических станций и эпицентров оползней, произошедших в предгорьях Иле Алатау вблизи г. Алматы [9].

Характерной особенностью сейсмических сигналов, генерируемых селом, являются большая продолжительность и постепенный рост амплитуды по мере увеличения расхода и «удлинения» потока.

В настоящее время объем информации о зарождении селей, условиях их формирования и характеристиках, дальности продвижения селей, в том числе данные, полученные при воспроизведении искусственных селевых потоков на Шамалганском полигоне КазНИГМИ, характера разрушений, обусловленных воздействием селей и ущербе, нанесенном ими, позволяет разработать методы интерпретации сейсмических колебаний, возбуждаемых селями, результаты которых будут использоваться органами ЧС для предупреждения об опасности селей. Существующие сети

наблюдений за землетрясениями и гидрометеорологической обстановкой позволят полностью автоматизировать процесс опознавания сейсмических сигналов, обусловленных селями, оценивать изменение их характеристик во времени и пространстве.

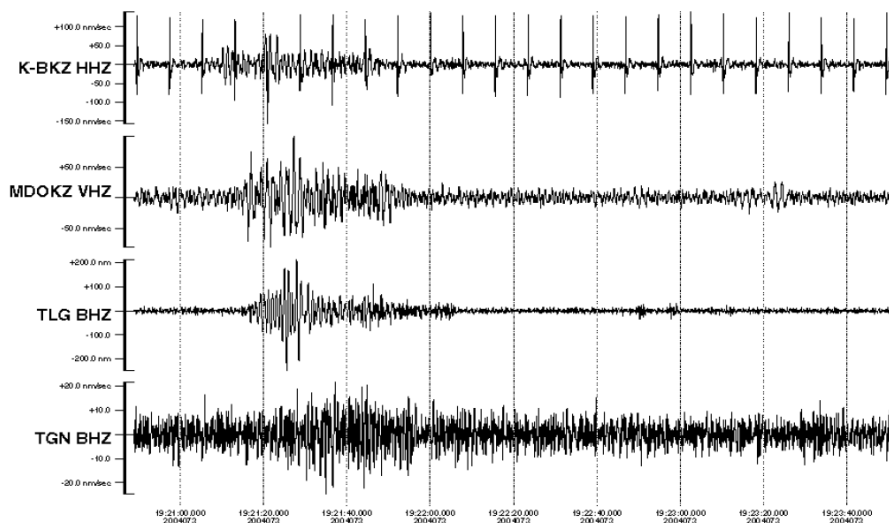


Рис. 2. Сейсмическая запись оползня 13.03.2004 19:21 (GMT), $j = 43.2894^\circ$, $l = 77.1611^\circ$.

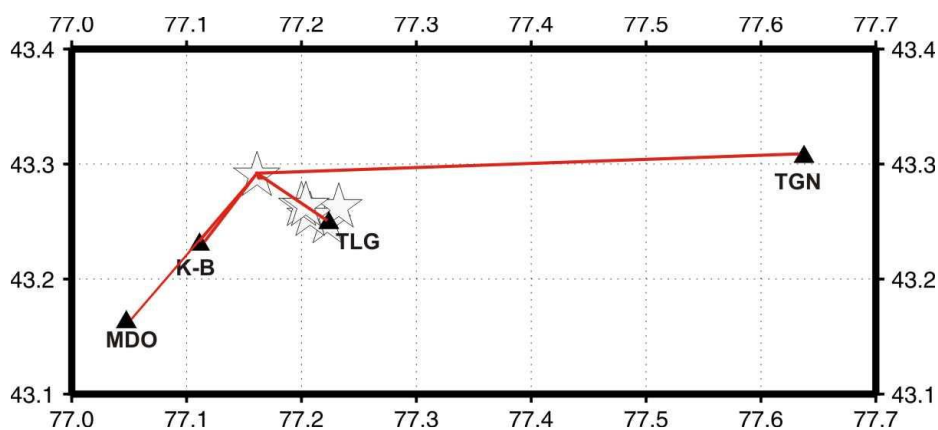


Рис. 3. Карта расположения эпицентров оползней (звездочки) и сейсмических станций (треугольники).

Важным достоинством сейсмического способа, на основе данных существующей сети наблюдений за землетрясениями и вне зависимости от генезиса селей, является охват прогнозом больших территорий (без необходимости крупных капиталовложений в создание многочисленных пунктов наблюдений за изменением гидрометеорологических характеристик и затрат на их функционирование в сложных условиях горной местности), а

также отсутствие затрат на передачу оперативных данных по каналам космической связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 539220 СССР, М. Кл 2 G 01 F 1/66. Способ измерения расхода водных, водных наносонесущих и селевых потоков в необорудованных руслах / Ю.Б. Виноградов, В.А. Красюков и Б.С. Степанов (СССР)/. – №2127532/10; Заявлено 17.04.75; Опубл. 15.12.76; Бюл. № 46.
2. Вайсер В.В., Красюков В.А., Голубович В.А. Локальная система передачи параметров селя // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1984. – №8. – С. 132–135.
3. Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 144 с.
4. Киренская Т.Л. Методические основы прогнозирования селевых потоков ливневого происхождения (на примере Заилийского Алатау): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Ташкент, 1988. – 20 с.
5. Киренская Т.Л. О прогнозировании ливневых селей в Заилийском Алатау // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1985. – №9. – С. 77–84.
6. Коваленко П.И., Красюков В.А., Новиков М.Я., Степанов Б.С. Сейсмический оповеститель селя // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1980. – №5. – С. 101–110.
7. Красюков В.А., Степанов Б.С. О сейсмическом методе измерения расхода водных и селевых потоков // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1983. – №7. – С. 88–94.
8. Михайлова Н.Н. Центру данных института геофизических исследований – 15 лет // Вестник НЯЦ РК. – 2014. – Вып. 2. – С. 5–13.
9. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н. Сейсмическая регистрация природных явлений (не землетрясений) станциями Центральной Азии [Электрон. ресурс]. – 2012. – URL: http://www.kndc.kz/kndc/docs/publication/topic2012_8.pdf (дата обращения: 02.03.2017).
10. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Метод сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса // Гидрометеорология и экология. – 2016. – №4. – С. 71–83.
11. Яфязова Р.К. К концепции сверхкраткосрочного прогноза // Гидрометеорология и экология. – 2014. – №4. – С. 52–57.
12. Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. – Алматы, 2007. – 158 с.

Поступила 10.03.2017

Геогр. ғылымд. докторы Б.С. Степанов
Техн. ғылымд. докторы Р.К. Яфязова

СЕЙСМИКАЛЫҚ СЕЛ ҚАУПІ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАУ ӘДІСІ

Түйін сөздер: сел, сындағы сел қаупі, сейсмикалық сигнал, сейсмикалық станциясы, бөгеті, болжам әдісі

Болуы сейсмикалық станциялар орналасқан тау-кен (тау етегі аймақтарында жоталардың, климат, олардың қолайлы қалыптастыру сел, алуға мүмкіндік береді, олардың пайда болуы, дамуы мен құлдырау қарамастан генезисі сел. Деректерді пайдалану сейсмикалық бақылаулардың ең ақпараттық, сенімді және аз шығындық тәсілі туралы хабарлау сел қаупі.

Stepanov B.S., Yafyazova R.K.

DEBRIS FLOWS HAZARD SEISMIC WARNING

Keywords: debris flow, debris-flow hazard, seismic signal, seismic station, dam, forecast, method

The presence of seismic stations located in the mountain (foot-hill) zones of ridges, the climate which favors for the debris flows formation, allows obtaining data about their origin, development and degradation, regardless of the debris flows genesis. The use of data from seismic observations is the most informative, reliable and low-cost way debris flows hazard warning.