

ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОГО РИСКА (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПРОВИНЦИИ ЛАОКАЙ, ВЬЕТНАМ)

DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-3-40-53

УДК 624.131.8

**НГУЕН Ч.К.**

Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), г. Москва, Россия; Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, г. Ханой, Вьетнам, kien.mgri@gmail.com

ФОМЕНКО И.К.

Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), г. Москва, Россия, ifolga@gmail.com

ЗЕРКАЛЬ О.В.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, igzov@mail.ru

ПЕНДИН В.В.

Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), г. Москва, Россия, pendin@yandex.ru

Аннотация

В условиях меняющегося климата стихийные бедствия происходят все чаще и чаще. В связи с этим проблема управления природными рисками становится более актуальной. Важным шагом на пути ее решения является оценка физического, социального и экономического ущерба, вызванного стихийными бедствиями, поскольку именно она позволяет руководству административных органов принимать верные управленческие решения. Оценка оползневой опасности достаточно сложна ввиду непростой природы этого явления и отличается от оценок рисков, обусловленных другими природными угрозами такими как, например, наводнения или землетрясения. Это связано с тем, что хотя оползневая опасность имеет площадной характер, пространственная распространенность оползневых процессов крайне неоднородна и сложно предсказуема. Отмеченный факт определяет трудности как в моделировании оползневой опасности, так и в оценке уязвимости элементов риска. В представленной статье обобщены результаты оценки риска ожидаемого физического, социального и экономического ущерба, вызванного возможным проявлением оползней в северо-западной части провинции Лаокай. В развитие существующих методик региональной оценки оползневой опасности авторами статьи был разработан подход, базирующийся на методе количественной оценки, основанной на анализе ущерба и потерь (АУП), позволяющий избавиться от субъективности экспертных оценок. Предложенный подход характеризуется системностью и включает вероятностную оценку оползневой опасности в сочетании с анализом уязвимости техногенных объектов и уровнем возможных социальных потерь. Наконец, реализация предложенной методики предусматривает оценку точности (в терминах оценки правдоподобия) полученных результатов.

Ключевые слова:

оползневой риск; оползневая опасность; уязвимость; элементы риска; социальный риск; экономический риск

Ссылка для цитирования:

Нгуен, Ч.К., Фоменко, И.К., Зеркаль, О.В., Пендин, В.В., 2018. Оценка оползневой опасности (на примере северо-западной части провинции Лаокай, Вьетнам). Инженерная геология, Том XIII, № 3, с. 40–53. DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-3-40-53.

RISK ASSESSMENT OF LANDSLIDE PROCESSES (A CASE STUDY OF THE NORTH-WESTERN PART OF LAO CAI PROVINCE, VIETNAM)

NGUYEN T.K.

Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia; Institute of Geological Sciences, Vietnam Academy of Science and Technology, Ha Noi, Vietnam, kien.mgri@gmail.com

FOMENKO I.K.

Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia, ifolga@gmail.com

ZERKAL O.V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, igzov@mail.ru

PENDIN V.V.

Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia, pendin@yandex.ru

Abstract

Under climate changes the natural disasters occur more and more frequent. Thus, disaster risk management become more relevant. An important step towards solving this problem is to assess physical, social and economic damage caused by natural disasters. Proper risk assessment allows administrations to make correct management decisions. Assessment of landslide risk is quite complicated due to the complex nature of this phenomenon and differs from risk assessments caused by other natural threats such as floods or earthquakes. The reason for it is that although the landslide hazard has an areal character, the spatial spread of landslide processes is extremely heterogeneous and is difficult to predict. This fact determines the difficulties, both in modeling the landslide hazard, and in assessing the vulnerability of risk elements. This article summarizes the results of assessing the risk of physical, social and economic damage caused by landslides in the northwestern part of Lao Cai Province (Vietnam). In the development of existing methods for assessing regional landslide risks, the authors of the article developed an approach based on the method of quantitative assessment. The last one includes the analysis of damage and losses (ADS), which makes it possible to get rid of the subjectivity of expert assessments. This approach is systemic and includes a probabilistic assessment of the landslide hazard in combination with an analysis of the vulnerability of man-made objects and the level of possible social losses. Finally, the implementation of the proposed methodology involves an assessment of the accuracy (in terms of likelihood estimation) of the obtained results.

Key words:

landslide risk; landslide hazard; vulnerability; elements of risk; social risk; economic risk

For citation:

Nguyen, T.K., Fomenko, I.K., Zerkal, O.V., Pendin, V.V., 2018. Risk assessment of landslide processes (a case study of the north-western part of Lao Cai Province, Vietnam). *Engineering Geology*, Vol. XIII, No. 3, pp. 40–53. DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-3-40-53.

Введение

Анализ и оценка рисков, обусловленных стихийными бедствиями (далее — оценка риска), являются составными частями управления рисками [2]. Процедура оценки предусматривает систематическое использование всей доступной информации для идентификации природных опасностей и оценки вероятности возможных нежелательных последствий. Полученные результаты применяются при перспективном планировании развития территорий и осуществлении мероприятий по снижению риска стихийных бедствий [1, 2].

Основными препятствиями в надежной оценке риска от оползневых процессов являются: отсутствие точных данных по проявлениям оползней; многофакторность оползневого процесса; сложности в пространственной оценке оползневой опасности; разнородность реципиентов оползневого риска и гетерогенность их уязвимо-

сти, а также изменчивость степени уязвимости во времени [14].

Целью статьи является апробация методики оценки оползневых рисков на примере северо-западной части провинции Лаокай, Вьетнам.

Основные понятия и определения

Основополагающим в риск-анализе является собственно термин «риск», под которым понимается «вероятность пагубных последствий или ожидаемых потерь (человеческих жизней, собственности и средств к существованию, деловой активности, ущерб окружающей среде) в результате взаимодействия между естественными или антропогенными опасностями, условиями уязвимости и способностью реагировать или справляться с последствиями» [13]. Другим определением «риска» является его трактовка как «комбинации/сочетания вероятности

случая и его отрицательных последствий» [17]. В законодательных документах Российской Федерации (ст. 2 Федерального закона «О техническом регулировании») риск определен как «вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда».

В терминах математической статистики риск — это мера опасности, которая фактически определяется как математическое ожидание ущерба.

Международным Обществом по механике грунтов и геотехнике (ISSMGE) совместно с техническим комитетом по оценке и управлению рисками (TC32) на основе IUGS (1997), ICOLD (2003) и национальных стандартов, таких как: British Standard BS 8444, Australia-New Zealand Standard AS/NZS 4360, and Canadian Standard CAN/CSA-Q 634-91 — было предложено следующее определение [8]:

Риск (risk) — совокупная мера вероятности и ущерба от проявления опасного геологического процесса (ОГП), оказывающего воздействие на людей, инженерные сооружения и природную среду. Количественно риск оценивается выражением «Риск = Опасность × Потенциальный ущерб».

Существует более детальное количественное определение риска [14]:

Риск = опасность × уязвимость × элементы риска

Это уравнение включает:

- опасность, как вероятность возникновения угрозы (опасность, например, вероятность активизации оползня заданной величины);
- уязвимость объектов в зоне поражения;
- элементы риска в форме ущерба в результате реализации угрозы, равный числу людей или стоимости объектов (элементов риска) в зоне поражения.

Краеугольными в вышеизложенной формулировке риска являются определения терминов «опасность» и «уязвимость».

В настоящее время существуют два принципиально разных подхода к определению опасности [13]:

- потенциально разрушительное событие, физическое явление и/или деятельность человека, которая может вызвать потерю жизни или ранение людей, материальный ущерб, социально-экономические разрушения или деградацию окружающей среды;
- вероятность реализации угрозы.

Первый подход определяет опасность как потенциальный источник (физический процесс или воздействие) возникновения ущерба. При этом термин опасность становится синонимом угрозы, под которой, согласно [8], понимается природное явление (существующее, например, глубинная ползучесть грунтов, или потенциально возможное, такое как обвал или оползень), которое способно причинить ущерб. Угроза может быть описана в категориях геометрических и физических характеристик, которые изучаются, например, в процессе инженерных изысканий. Следует заметить, что понятие угрозы не предполагает никаких прогнозов.

Глоссарий UNISDR¹ по снижению риска стихийных бедствий использует именно это толкование термина «опасность» [17].

Описанный подход также нашел свое отражение и в российских нормативных технических документах.

Согласно ОДМ 218.2.030-2013 «Методические рекомендации по оценке оползневой опасности на автомобильных дорогах», оползневая опасность — это угроза развития оползневой опасности, способного причинить ущерб здоровью людей, объектам дорожного хозяйства.

Согласно «Рекомендациям по оценке геологического риска на территории г. Москвы»², опасность — это процесс, свойство или состояние природы, общества или техники, представляющие угрозу для жизни или благосостояния людей, объектов экономики или окружающей среды.

Аналогичный взгляд на опасность используется в СНиП 22-01-95 «Геофизика опасных природных воздействий».

Второй подход трактует оползневую опасность как вероятность активизации опасного процесса заданной величины в заранее определенный период времени и в определенном месте. Это определение включает в себя понятия пространственного положения, величины или интенсивности и повторяемости [7, 8]. При таком взгляде на опасность она не является синонимом угрозы, а представляет собой вариант прогноза развития оползней.

Не менее важным понятием является «уязвимость». Обзор литературы [5, 7, 9] свидетельствует об отсутствии естественнонаучных подходов к проблеме уязвимости при исследованиях риска от воздействия оползней. Существующие подходы к оценке уязвимости были заимствованы из технических исследований.

В рамках Глоссария UNISDR по снижению риска стихийных бедствий термин «уязвимость» рассматривается как «характеристика и особенности общества, системы или материального актива, которые делают их восприимчивыми к разрушительному воздействию опасности» [17].

Согласно [8], уязвимость — уровень ущерба для элемента или группы элементов риска в зоне реализации угрозы. Измеряется по шкале от 0 (отсутствие ущерба) до 1 (абсолютный ущерб). Под элементами риска понимаются люди, здания, инфраструктура, природная среда, подверженная опасному природному процессу (ОПП) на рассматриваемой территории.

Собственно, термин «оценка риска» трактуется как «общий процесс анализа риска и его оценивания». Глоссарий UNISDR по снижению риска стихийных бедствий дает более развернутое определение «оценки риска», под которой подразумевается «методология определения природы и степени риска на основе анализа потенциальных опасностей и оценки существующих условий уязвимости, сочетание которых потенциально может привести к ущербу здоровью людей, потерям собственности, услуг, средств к существованию и ущербу окружающей среде» [17].

Управление риском включает четыре главных элемента (рис. 1):

- (i) Идентификация и оценка опасности — характеристика природных условий, анализ вероятности реализации опасности, ее характеристики.
- (ii) Оценка уязвимости — анализ потенциальных последствий реализации опасности и уязвимости территорий и объектов, в т.ч. на основе совмест-

¹ UNISDR (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction) — секретариат, созданный для осуществления международной стратегии ООН по уменьшению последствий стихийных бедствий.

² Рагозин, А.Л., 2002. Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы. Изд-во ГУП НИИЦ, М.

ного анализа ретроспективных данных и прогнозируемой оценки опасности.

- (iii) Количественная оценка риска — анализ уровня и степени риска в количественной форме, позволяющей делать выводы о приемлемости/неприемлемости риска.
- (iv) Контроль риска — включает определение основных действий по снижению или предотвращению риска стихийных бедствий, в т.ч. организацию и ведение мониторинга, а также разработку и создание защитных мероприятий с последующей оценкой их эффективности.

Оцениваемые виды риска

Различают следующие виды риска:

- *физический риск* — оценка проводится в физическом выражении — в количестве объектов-реципиентов риска, которым потенциально может быть нанесен ущерб при стихийном бедствии (например, количество домохозяйств, зданий и т.д.) в течение заданного промежутка времени;
- *экономический риск* — оценка проводится в денежном выражении потенциального ущерба при стихийном бедствии в течение заданного промежутка времени или в процентном выражении доли потенциального ущерба от общей стоимости объектов-реципиентов риска (в случае, когда определение в денежном выражении невозможно в связи с отсутствием сведений о стоимости единичного объекта-реципиента риска);
- *социальный риск* — оценка проводится в количестве человек, которые потенциально могут погибнуть/пострадать в результате чрезвычайной ситуации в течении заданного промежутка времени.

Важным элементом в риск-анализе является понятие удельного риска, под которым понимается *риск* (физический или экономический), приведенный к единице площади.

В рамках представленной работы определялся именно удельный риск.

Краткая информация о районе исследований

Район исследования расположен в северо-западной части провинции Лаокай (север Вьетнама) на границе с Китаем и удален от Ханоя на 300 км. Он занимает площадь около 1 950 км² и образован тремя административными единицами: городом Лаокай и округами Шапа и Батсат (рис. 2).

Рельеф региона сильно расчлененный. Высота над уровнем моря изменяется от 200 м в долине реки Тхао до 3 000 м и выше в пределах горного хребта Хоанг Льен Сын, а гора Фансипан, высотой в 3 143 м, считается самым высоким пиком на полуострове Индокитай.

Годовое количество осадков в предгорьях хребта Хоанг Льен Сын составляет 2 000–3 600 мм, при этом 80–85% от их общего количества приходится на летний период.

Провинция Лаокай является чрезвычайно перспективной для экономического развития территорий. Однако ее успешное освоение ограничивается сложными инженерно-геологическими условиями территории и, в первую очередь, интенсивным проявлением оползневых процессов.

Потенциальными элементами риска от оползневых процессов в рассматриваемом регионе являются:



Рис. 1. Структура управления риском и место (красная рамка) работ по оценке риска стихийных бедствий в ее составе (приведено по [2])

- при оценке физического риска: общее количество зданий — 33 338, протяженность дорог — 1 359 км [12];
- при оценке социального риска: общая численность населения — 153 203 человека. Плотность населения варьируется от 9 человек/км² (коммуна Чунг Ленг Хо) до 5 019 человек/км² (Коммуна Пом Хан — город Лаокай) [11].

Методика исследований

При наиболее общем подходе методы региональной оценки рисков можно разделить на два основных класса: качественные и количественные. При рассмотрении качественных методов следует иметь в виду, что имеется принципиальная возможность перевода всей качественной информации в количественную форму. Существуют три основных способа количественного представления геологической информации: а) балльные оценки; б) булевые переменные; в) численное выражение³.

При оценке рисков от оползневых процессов был использован метод количественной оценки на основе анализа ущерба и потерь (АУП), который ориентирован, в первую очередь, на определение экономического ущерба от оползневого процесса и возможных социальных потерь. Рассматриваемый подход отличается системностью и включает вероятностную оценку оползневой опасности при совместном анализе: а) условий ее потенциального развития, б) уязвимости техногенных объектов и в) уровня возможных социальных потерь [2, 4].

Оценка интенсивности оползневых процессов

Оценка интенсивности оползневых процессов была выполнена на основе районирования территории по оползневой опасности [4].

Для региональной оценки оползневой опасности проводилось разделение изучаемой территории на группы участков (зон), отличающихся между собой по природным условиям формирования оползней, а также по интенсивности и характеру влияния инженерно-хозяйственной деятельности. При этом в обязательном порядке учитывались: основные литолого-генетические комплексы пород, слагающие склоны; крутизна склонов; интенсивность основных природных оползнеобразующих факторов и др.

Анализ оползневых факторов может проводиться с использованием либо способа взвешенных сумм, либо посредством взвешенных произведений [10]. Каждый подход имеет свои достоинства и ограничения, поэтому на практике рекомендуется использовать их комплексно, а

³ Пендин, В.В., 2009. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии. КДУ, М.

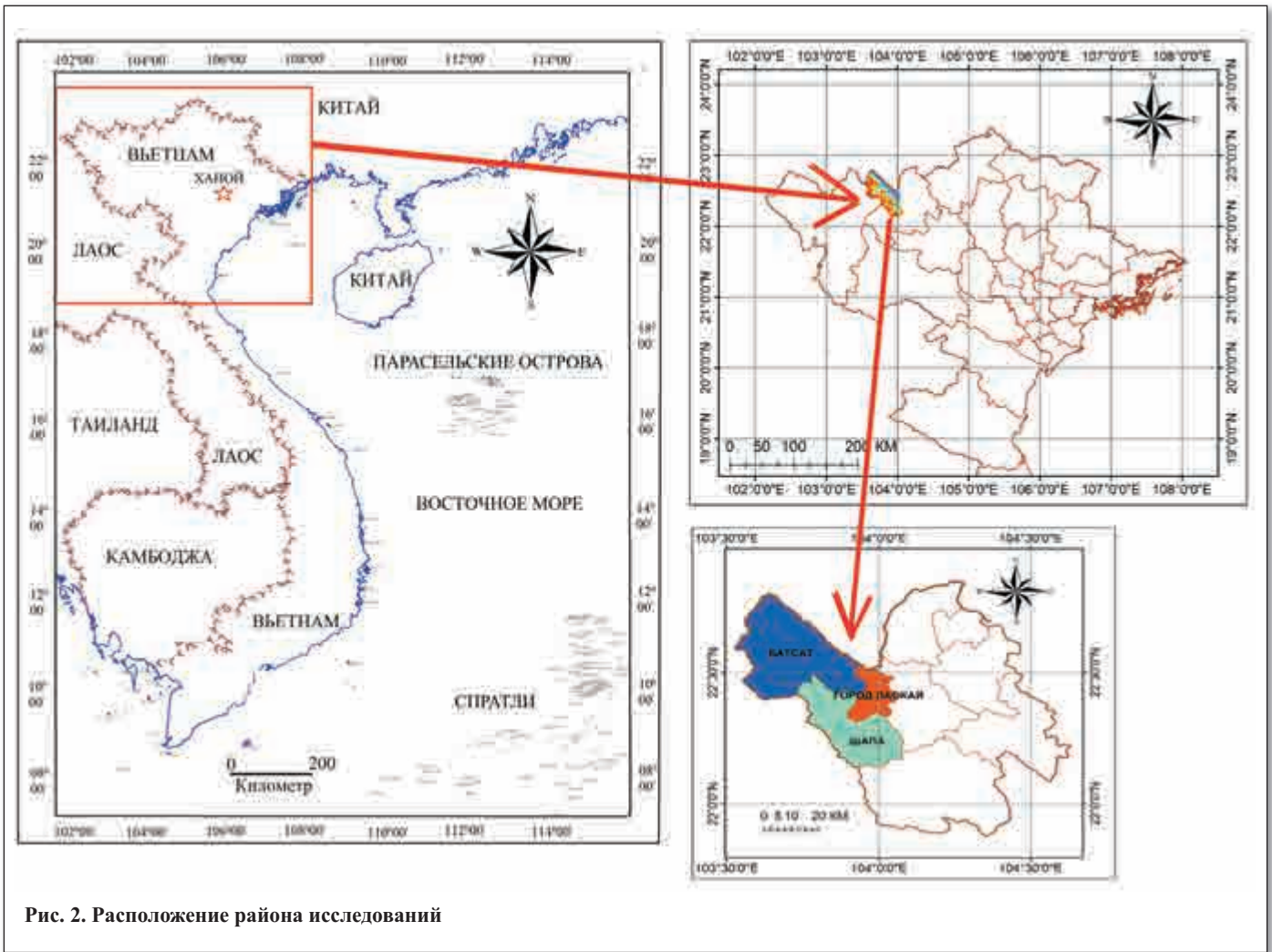


Рис. 2. Расположение района исследований

затем сравнивать окончательное распределение совокупных значений для установления соответствия.

Способ взвешенных сумм в классической формулировке может быть определен следующим образом:

$$S = w_1x_{i1} + w_2x_{i2} + \dots + w_jx_{ij} + \dots + w_nx_{in} \quad (1)$$

где S — интегрированный показатель восприимчивости территории к оползневому процессу; w_j — вес фактора j ; x_{ij} — вес класса i фактора j ; n — количество независимых факторов.

Способ взвешенных произведений определяется выражением следующего вида:

$$S = (w_1x_{i1} \times w_2x_{i2} \times \dots \times w_jx_{ij} \times \dots \times w_nx_{in}) \times 10^{-6} \quad (2)$$

где S — интегрированный показатель восприимчивости территории к развитию оползневых процессов; w_j — вес фактора j ; x_{ij} — вес класса i фактора j ; n — количество независимых факторов.

В качестве метода оценки оползневой опасности на исследуемой территории был использован модифицированный метод анализа иерархий [3].

Результаты оценки оползневой опасности способом взвешенных сумм представлены на рис. 3, а, взвешенных произведений — на рис. 3, б.

Анализ полученных карт районирования показал, что наиболее высокая оползневая опасность характерна для восточных участков исследуемой территории, включая

коммуны Бат Сат, Бан Куа, Бан Вьюк, Чинь Тьонг, Лао Чи и городские округа Лаокай и Шапа. В геологическом отношении зона высокой оползневой опасности приурочена к массивам грунтов, сложенных глинистыми сланцами, песчаниками и алевролитами, находящимися в зоне влияния оползневого процесса на рассматриваемом участке являются низкие прочностные свойства грунтов, слагающих склоновые массивы, их нарушенность разрывными нарушениями, а также высокая энергия рельефа.

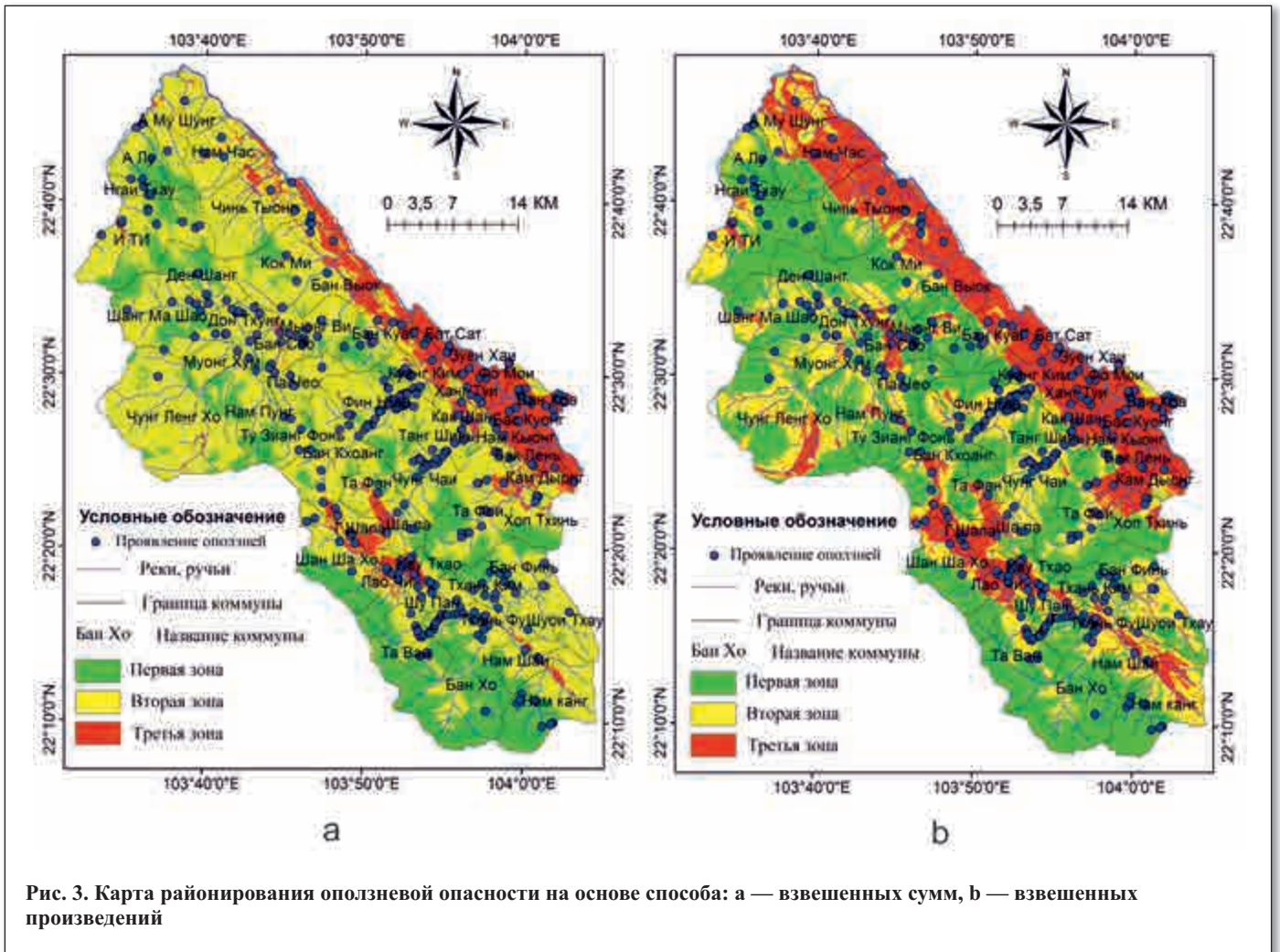
Низкая оползневая опасность характерна для западных районов, включая коммуны А Лу, Нгаи Тхау, Та Ван, Бан Хо, Нам Канг. В геологическом отношении зона низкой оползневой опасности приурочена к массивам грунтов, сложенных прочными интрузивными породами.

Визуальное сравнение карт районирования оползневой опасности, построенных различными способами, показывает большую «контрастность» карты, созданной на основе метода взвешенных произведений.

Оценка надежности карт оползневой опасности на основе отношения правдоподобия

С 2005 по 2015 гг. в изучаемом районе в рамках полевых исследований было идентифицировано проявление 641 оползня (рис. 4) [6].

Отношение правдоподобия (ОП) позволяет оценивать неизвестные параметры, основанные на известных результатах. В рамках рассматриваемой проблемы на основе известного распределения оползней выполним оценку интег-



рированного показателя восприимчивости территории к оползневому процессу или, иными словами, оценим адекватность выделенных зон при районировании оползневой опасности. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$ОП = \frac{\% \text{ оползней}}{\% \text{ площади}} \quad (3)$$

Согласно (Saro L., 2004) [16], данное отношение правдоподобия для оценки оползневой опасности по своей сути представляет выражение условной вероятности. Таким образом, случай, когда $ОП > 1$ означает высокую вероятность нахождения оползня на рассматриваемом участке территории, и, наоборот, если $ОП < 1$, то вероятность нахождения оползня низкая. Результаты оценки ОП для полученных при оценке оползневой опасности зон приведены на рис. 5, а также в табл. 1, 2.

Как видно из рис. 5, для зоны с высокой оползневой опасностью $ОП > 1$ в обоих случаях. Однако для второй зоны при районировании по способу взвешенных сумм $ОП < 1$, а по способу взвешенных произведений > 1 . Также стоит отметить значительные различия в площади зон, полученных разными способами (табл. 1 и 2). Так, при районировании по способу взвешенных произведений почти половина территории отнесена к зоне с низкой оползневой опасностью (44,67%), при этом к зоне с высокой оползневой опасностью отнесено 25,43% площади, что практически в три раза больше, чем получено способом взвешенных сумм (8,93%). На карте, созданной по способу взвешенных сумм, большая часть территории (67,94%) харак-

теризуется умеренной оползневой опасностью, в то время как на карте с использованием взвешенных произведений данная зона занимает только 29,9%. Таким образом, можно сделать вывод о том, что способ взвешенных произведений позволил получить при районировании более равномерное распределение зон с различной оползневой опасностью по площади исследуемой территории.

Учитывая большую объективность информации по оползневой опасности территории, полученной способом взвешенных произведений, оценка интенсивности оползневых процессов (количество оползней за 1 год на 1 км²) была выполнена на основе карты оползневой опасности, полученной с использованием предложенного подхода (табл. 3).

Оценка уязвимости и ущерба от оползневых процессов

Оценка уязвимости для природных опасностей выполняется по результатам прогнозирования их интенсивности для рассматриваемых территорий сельскохозяйственного, специального или иного назначения (далее территории), отдельных населенных пунктов, групп зданий и сооружений в их пределах, объектов инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры (далее сооружений), незастроенных территорий общественно-делового, производственного, рекреационного назначения, а также для населения, относительно постоянно или периодически находящегося в пределах перечисленных выше объектов-реципиентов риска [2].

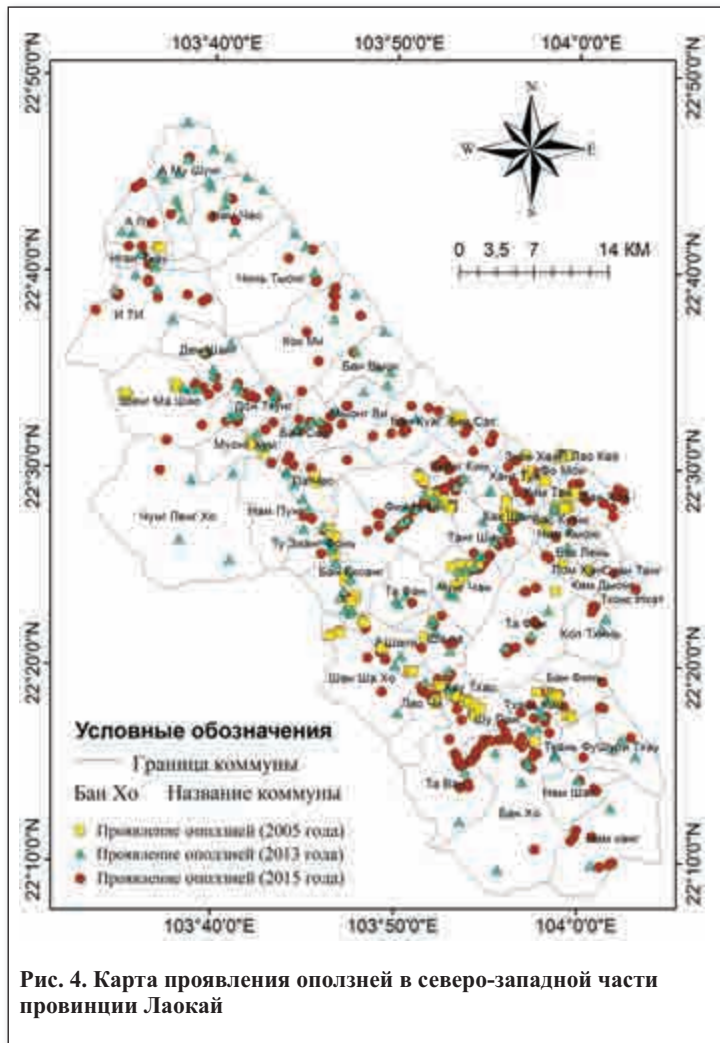


Рис. 4. Карта проявления оползней в северо-западной части провинции Лаокай

Для оценки рисков от оползневой процесса был использован подход, предложенный А.Л. Рагозиным и в дальнейшем вошедший в «Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы»². Риск, вызванный негативным событием *A*, можно определить по выражению (4):

$$R(A) = P(A) \times P_s(A) \times V(A), \quad (4)$$

где *R(A)* — риск, вызванный негативным событием *A*; *P(A)* — повторяемость опасности *A* в пределах определен-

ной по площади территории, численно равная ее статистической вероятности (случаев/год); *P_s(A)* — вероятность поражения оцениваемого объекта опасностью *A*; *V(A)* — уязвимость оцениваемого объекта для опасности *A*.

В большинстве случаев при региональной оценке рисков от оползневых процессов, величины *P_s(A)* и *V(A)* оценить достаточно сложно. По этой причине предпочтительней пользоваться следующей формой выражения (5):

$$R(A) = P(A) \times W(A), \quad (5)$$

где *W(A) = P_s(A) × V(A)* — возможный ущерб от опасности *A*.

За 40-летний период (с 1965 по 2006 гг.) в результате развития оползней на территории северо-западной части провинции Лаокай погибло более 150 человек, и было разрушено свыше 360 домохозяйств [15]). Наиболее полные данные по ущербу от оползневых процессов для исследуемой территории были получены в 2004 г. (табл. 4) [15]. По этой причине для оценки рисков от оползневых процессов были использованы данные за этот период.

Оценка оползневого риска

Для оценки оползневого риска была использована следующая информация [4]:

- Интенсивность развития оползневых процессов.
- Реципиенты риска (например, общее количество зданий).
- Ущерб (количество разрушенных зданий).

Расчет был выполнен на основе формулы (5). Результаты оценки физического риска представлены в табл. 5, 6, 7, 8, экономического риска — в табл. 9, социального — в табл. 10.

Определение уровня риска от оползневого процесса

Важным моментом при определении категории риска является выбор разумных уровней классификационного показателя.

В данном исследовании уровни оползневого риска были определены на основе анализа распределения, приведенного на рис. 7, с использованием классификации по методу естественных границ.

Таблица 1

Оценка отношения правдоподобия (на основе способа взвешенных сумм)						
Год	Зона оползневой опасности	Площадь зоны, км ²	Количество оползней	% оползней	% площади	Отношение правдоподобия
2005	Первая	416	10	6,67	21,33	0,31
	Вторая	1 306	87	58	69,74	0,83
	Третья	228	53	35,33	8,93	3,96
	Сумма	1 950	150	100	100	—
2005–2013	Первая	416	22	7,3	21,33	0,34
	Вторая	1 306	200	66,45	69,74	0,95
	Третья	228	79	26,25	8,93	2,94
	Сумма	1 950	301	100	100	—
2005–2015	Первая	416	58	9,05	21,33	0,42
	Вторая	1 306	431	67,24	69,74	0,96
	Третья	228	152	23,71	8,93	2,66
	Сумма	1 950	641	100	100	—

Таблица 2

Оценка отношения правдоподобия (на основе способа взвешенных произведений)						
Год	Зона оползневой опасности	Площадь зоны, км ²	Количество оползней	% оползней	% площади	Отношение правдоподобия
2005	Первая	871	47	31,33	44,67	0,70
	Вторая	583	51	34,00	29,9	1,14
	Третья	496	52	34,67	25,43	1,36
	Сумма	1 950	150	100	100	–
2005–2013	Первая	871	89	29,47	44,67	0,66
	Вторая	583	104	34,44	29,9	1,15
	Третья	496	109	36,09	25,43	1,42
	Сумма	1 950	301	100	100	–
2005–2015	Первая	871	170	26,48	44,67	0,59
	Вторая	583	237	36,92	29,9	1,23
	Третья	496	235	36,60	25,43	1,44
	Сумма	1 950	641	100	100	–

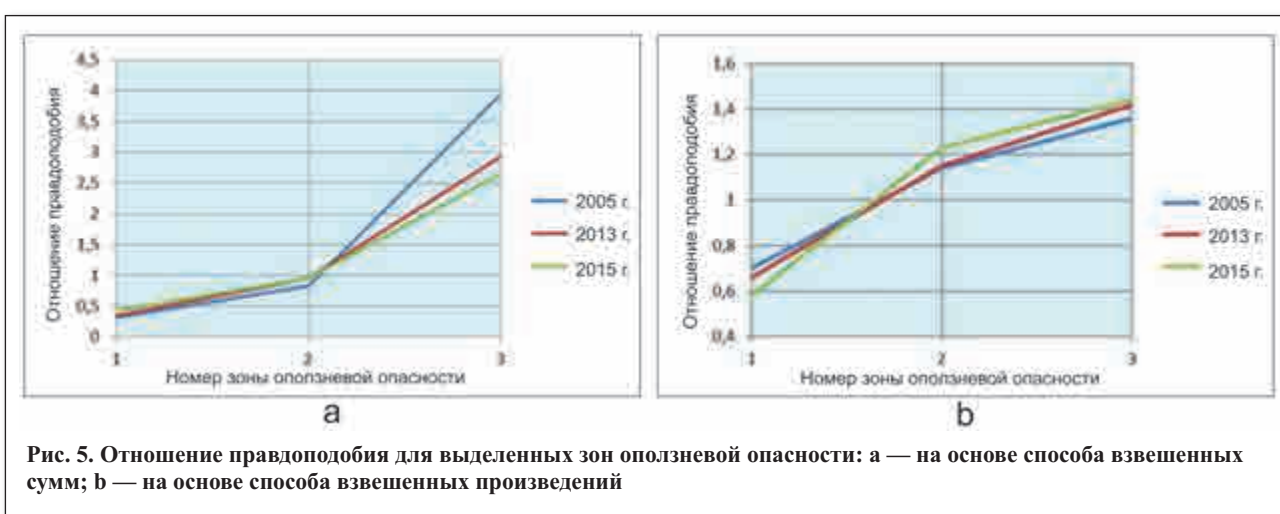


Таблица 3

Оценка интенсивности оползневой опасности на основе способа взвешенных произведений			
Зона оползневой опасности	Площадь зоны, км ²	Количество накопленных оползней за 10 лет (2005–2015 гг.)	Интенсивность оползневой опасности, кол-во оползней/км ² в год
Первая	871	170	17
Вторая	583	237	24
Третья	496	235	24

Таблица 4

Ущерб, причиненный оползнями в 2004 г.					
Номер* участка	Количество разрушенных зданий	Ущерб от разрушения дорожной сети, м	Ущерб от разрушения с/х угодий, га	Социальные потери, человек	Экономический ущерб, долл. США
1	–	100	–	–	21 193
2	3	–	–	7	9 211
3	4	–	–	23	12 280
4	1	–	–	–	3 809
5	–	–	–	2	–
6	–	–	0,7	–	1 316

*Нумерация участков приведена в соответствии с рис. 6

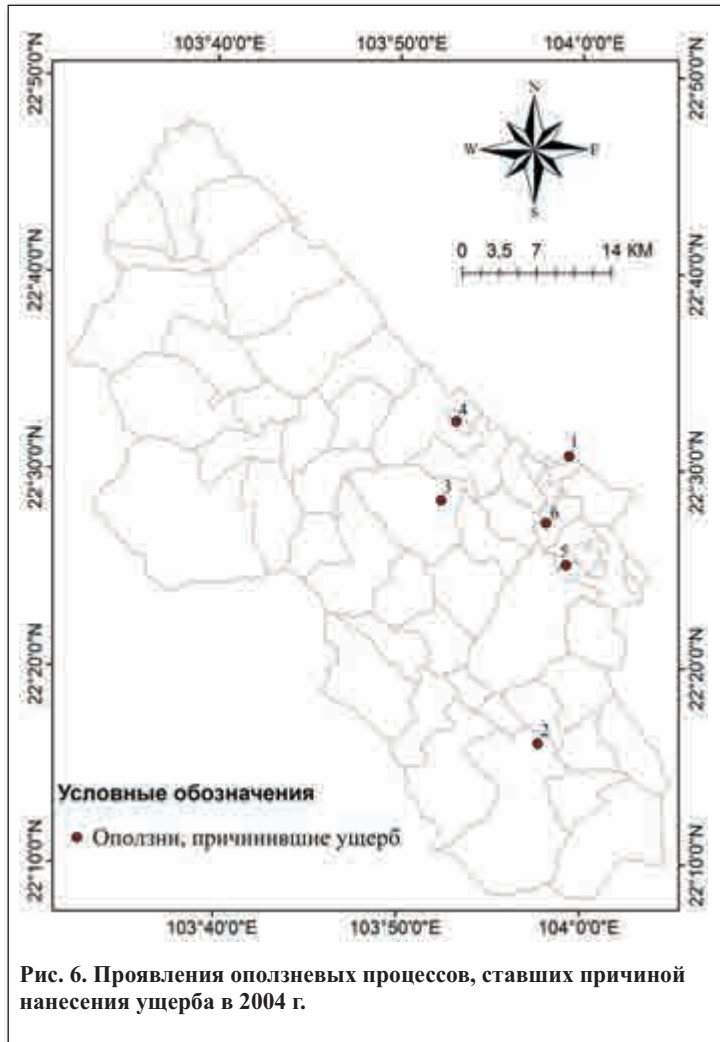


Рис. 6. Проявления оползневых процессов, ставших причиной нанесения ущерба в 2004 г.

В методе естественных границ классы основаны на естественном группировании данных. Границы классов определяются таким образом, чтобы сгруппировать схожие значения и максимально увеличить различия между классами. Объекты делятся на классы, границы которых устанавливаются там, где встречаются относительно большие различия между значениями данных.

В результате для метода АУП были определены следующие зоны:

- первая зона: $R = 0 - 3 \times 10^{-6}$; характеризуется низкой степенью риска от оползневых процессов;
- вторая зона: $R = 3 \times 10^{-6} - 5,5 \times 10^{-5}$; характеризуется умеренной степенью риска от оползневых процессов;
- третья зона: $R > 5,5 \times 10^{-5}$; характеризуется высокой степенью риска от оползневых процессов.

Анализ табл. 11 показывает, что в общем случае степень оползневой опасности не определяет уровень оползневой риска.

Оценка надежности определения риска на основе отношения правдоподобия

В рамках рассматриваемой проблемы на основе известного распределения ущерба и выполненной оценки оползневой риска была проведена верификация выделенных зон при районировании риска. Для этого использовалась следующая формула:

$$ОП = \frac{\% \text{ущерба}}{\% \text{площади}} \quad (6)$$

Результаты оценки ОП приведены на рис. 8, а также в табл. 12.

Случай, когда $ОП > 1$, означает высокую вероятность причинения ущерба при активизации оползневых процессов, и, наоборот, если $ОП < 1$, то вероятность нанесения ущерба низкая. Из представленной таблицы (см. табл. 11) видно, что для территорий с высокой степенью риска от развития оползней полученные значения ОП существенно выше 1. Для территорий со средней степенью риска от развития оползней полученные значения ОП колеблются от 1,1 до 1,6, в то время как для территорий с низкой степенью риска от развития оползней значения ОП имеют нулевые значения.

Заключение

Оценка риска от оползневых процессов достаточно сложна по своей природе. Этот факт определяет трудности как в моделировании оползневой опасности, так и в оценке

Таблица 5

Оценка оползневой опасности для зданий					
Зона оползневой опасности	Интенсивность, количество оползней/км ² в год	Количество разрушенных зданий	Общее количество зданий	Площадь зоны, км ²	Риск
низкая	17	0	4 408	871	0
средняя	24	4	4 077	583	$4,04 \times 10^{-5}$
высокая	24	4	24 853	496	$7,79 \times 10^{-6}$
Сумма	—	8	33 338	1 950	—

Таблица 6

Оценка оползневой опасности для дорог					
Зона оползневой опасности	Интенсивность, количество оползней/км ² в год	Протяженность разрушенных дорог, км	Общая протяженность дорог, км	Площадь зоны, км ²	Риск
низкая	17	0	361	871	0
средняя	24	0,1	305	583	$1,35 \times 10^{-5}$
высокая	24	0	693	496	0
Сумма	—	0,1	1 359	1 950	—

Таблица 7

Оценка оползневой риска для с/х угодий					
Зона оползневой опасности	Интенсивность, количество оползней/км ² в год	Площадь выведенных из оборота с/х угодий, км ²	Общее количество с/х угодий, км ²	Площадь зоны, км ²	Риск
низкая	17	0	146	871	0
средняя	24	0	251	583	0
высокая	24	0,7	127	496	$2,67 \times 10^{-4}$
Сумма	–	0,7	524	1 950	–

Таблица 8

Оценка полного физического оползневой риска				
Зона оползневой опасности	Риск от оползневых процессов для зданий	Риск от оползневых процессов для дорожной сети	Риск от оползневых процессов для с/х угодий	Полный удельный физический риск
низкая	0	0	0	0
средняя	$4,04 \times 10^{-5}$	$1,35 \times 10^{-5}$	0	$5,39 \times 10^{-5}$
высокая	$7,79 \times 10^{-6}$	0	$2,67 \times 10^{-4}$	$2,75 \times 10^{-4}$

Таблица 9

Оценка экономического оползневой риска					
Зона оползневой опасности	Интенсивность, количество оползней/км ² в год	Экономический ущерб, (долл. США)	Общая оценка инфраструктуры (долл. США)	Площадь зоны, км ²	Риск
низкая	17	0	22 760 020	871	0
средняя	24	33 473	27 436 570	583	$5,02 \times 10^{-5}$
высокая	24	14 336	229 682 404	496	$3,02 \times 10^{-6}$
Сумма	–	47 809	279 878 994	1 950	–

Таблица 10

Оценка социального оползневой риска					
Зона оползневой опасности	Интенсивность, количество оползней/км ² в год	Число погибших и пострадавших, человек	Численность населения, человек	Площадь зоны, км ²	Риск
низкая	17	0	20 254	871	0
средняя	24	23	18 749	583	$5,05 \times 10^{-5}$
высокая	24	9	114 200	496	$3,81 \times 10^{-6}$
Сумма	–	32	153 203	1 950	–

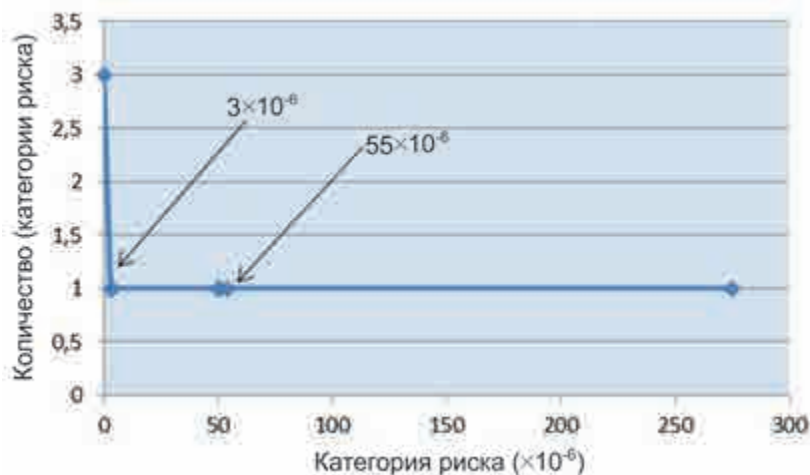


Рис. 7. График распределения категории риска

Матрица риска			
Зона оползневой опасности	Степень риска		
	Полный физический	Экономический	Социальный
Первая	низкий	низкий	низкий
Вторая	средний	высокий	высокий
Третья	высокий	средний	средний

Таблица 12

Оценка отношения правдоподобия							
Риск	Зона оползневой опасности	Площадь зоны, км ²	Количество ущерба	% ущерба	% площади	Отношение правдоподобия	Степень риска
Физический	Первая	416	0	0	44,67	0	низкий
	Вторая	1 306	4,1	46,6	29,90	1,6	средний
	Третья	228	4,7	53,4	25,43	2,1	высокий
	Сумма	1 950	8,8	100	100	–	–
Социальный	Первая	416	0	0	44,67	0	низкий
	Вторая	1306	23	71,9	29,90	2,4	высокий
	Третья	228	9	28,1	25,43	1,1	средний
	Сумма	1 950	32	100	100	–	–
Экономический	Первая	416	0	0	44,67	0	низкий
	Вторая	1306	33 473	70,0	29,90	2,34	высокий
	Третья	228	14 336	30,0	25,43	1,18	средний
	Сумма	1 950	47 809	100	100	–	–

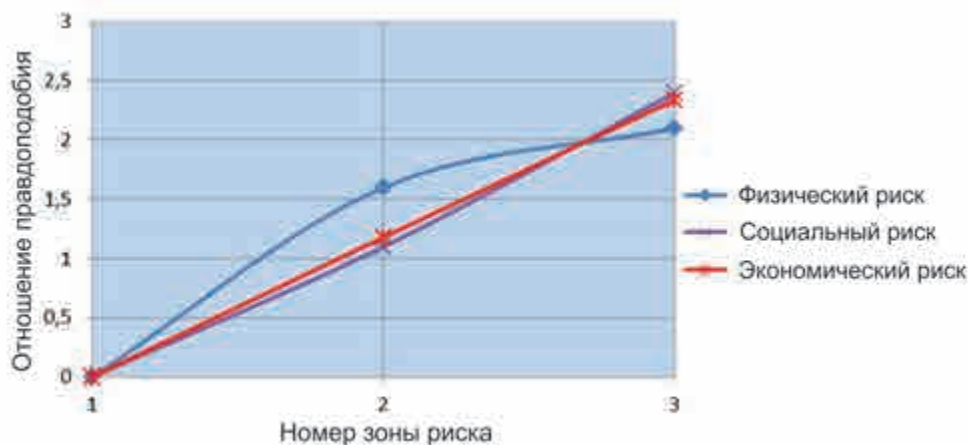


Рис. 8. Отношение правдоподобия для риска от оползневой опасности

уязвимости элементов риска. В статье была выполнена региональная оценка оползневой опасности для северо-западной части провинции Лаокай с использованием метода анализа ущерба и потерь (АУП), обобщены результаты ожидаемого физического, социального и экономического ущерба. Предложенный подход характеризуется системностью и включает вероятностную оценку оползневой опасности в сочетании с анализом уязвимости техногенных объектов и уровнем возможных социальных потерь.

Основные результаты и выводы заключаются в следующем:

- Метод АУП позволяет исключить из анализа субъективность экспертных оценок при оценке риска от оползневых процессов территорий.
- Верификация полученных результатов на основе оценки отношения правдоподобия показала надежность полученных результатов.
- Доказано, что в общем случае степень оползневой опасности не определяет уровень оползневой опасности, так как последний связан со степенью хозяйственного освоения территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеркаль, О.В., 2009. Оценка геологических рисков в практике инженерных изысканий. *Инженерные изыскания*, 2009, № 4, с. 40–43.
2. Зеркаль, О.В., Шомахмадов, А.М., Хусейнов, Э., Саидов, М.С., Ишук, Н.Р., 2011. Руководство по региональной оценке риска стихийных бедствий на территории Республики Таджикистан. Программа Развития ООН, Душанбе.
3. Нгуен, Ч.К., Фоменко, И.К., Пендин, В.В., Нгуен, К.Т., 2017. Применение метода анализа иерархий при региональной оценке оползневой опасности (на примере района северо-западный Лаокай, Вьетнам). *Геоинформатика*, № 2, с. 53–66.
4. Фоменко, И.К., Пендин, В.В., Нгуен, Ч.К., 2017. Оценка ущерба, опасности и риска от оползневых процессов (на примере северо-западного Вьетнама). Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации, Материалы Тринадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций, Москва, 2017, с. 27–34.
5. Alexander, E.D., 2005. Landslide hazard and risk. In T.A. Glade (ed.), *Vulnerability to landslides*. Wiley, London, pp. 175–198.
6. Bui, T.D., Tran, A.T., Hoang, D.N., Nguyen, Q.T., Nguyen, B.D., Ngo, V.L., Biswajeet, P., 2017. Spatial prediction of rainfall-induced landslides for the Lao Cai area (Vietnam) using a hybrid intelligent approach of least squares support vector machines inference model and artificial bee colony optimization. *Landslides*, Vol. 14, № 2, pp. 447–458.
7. Corominas, J., Einstein, H., Davies, T., Strom, A., Zuccaro, G., Nadim, F., Verdell, T., 2014. Glossary of terms on landslide hazard and risk. In *Engineering Geology for society and territory*, Vol. 2. Springer International Publishing, Torino, pp. 1775–1780.
8. Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S., Leroi, E., 2005. A framework for landslide risk assessment and management. *Landslide risk management*, Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, 2005, pp. 3–25.
9. Glade, T., 2003. Vulnerability assessment in landslide risk analysis. *Die Erde*, Vol. 134, No. 2, pp. 123–146.
10. Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, Vol. 74, No. 1, pp. 17–28.
11. Lao Cai statistical yearbook 2015, 2016. Lao Cai statistics office, Statistical publishing house, Lao Cai.
12. Le, Q.H., 2015. Research, assessment, zoning and forecast landslide hazard in the mountains of Vietnam. State project, report on research, Hanoi. (in Vietnamese)
13. *Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*, 2002. United Nations, Geneva.
14. Marco, U., Farrokh, N., Suzanne, L., Amir, M.K., 2008. A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. *Engineering Geology*, Vol. 102, pp. 251–256. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.03.011.
15. Nguyen, T.Y., 2006. Assessment of landslides and mudflows in some mountainous regions of Vietnam and recommendations of anti-landslide measures, state project, research report. Ha Noi. (in Vietnamese)
16. Saro, L., 2004. Application of likelihood ratio and logistics regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. *Environmental Management*, Vol. 34, No. 2, pp. 223–232.
17. UNISDR terminology on Disaster Risk Reduction, 2009. United Nations, Geneva.

REFERENCES

1. Zerkal, O.V., 2009. Assessment of geological risks in the practice of engineering surveys. *Engineering Survey*, 2009, No. 4, pp. 40–43. (in Russian)
2. Zerkal, O.V., Shokhmamadov, A.M., Huseynov, E., Saidov, M.S., Ishuk, N.R., 2011. Guidelines on regional disaster risk assessment on the territory of the Republic of Tajikistan. United Nations Development Program, Dushanbe. (in Russian)
3. Nguyen, T.K., Fomenko, I.K., Pendin, V.V., Nguyen, Q.T., 2017. Application of the method of analysis hierarchies (AHP) under the regional landslide hazard assessment (for example area North-West of Laocai in Vietnam). *Geoинформатика*, No. 2, pp. 53–66. (in Russian)
4. Fomenko, I.K., Pendin, V.V., Nguyen, T.K., 2017. Assessment of damage, danger and risk from landslide processes (on the example of northwestern Vietnam). Prospects for development of engineering survey in Russian Federation, Materials of the 13th All-Russian Conference of prospecting organizations, Moscow, 2017, pp. 27–34. (in Russian)
5. Alexander, E.D., 2005. Landslide hazard and risk. In T.A. Glade (ed.), *Vulnerability to landslides*. Wiley, London, pp. 175–198.
6. Bui, T.D., Tran, A.T., Hoang, D.N., Nguyen, Q.T., Nguyen, B.D., Ngo, V.L., Biswajeet, P., 2017. Spatial prediction of rainfall-induced landslides for the Lao Cai area (Vietnam) using a hybrid intelligent approach of least squares support vector machines inference model and artificial bee colony optimization. *Landslides*, Vol. 14, № 2, pp. 447–458.
7. Corominas, J., Einstein, H., Davies, T., Strom, A., Zuccaro, G., Nadim, F., Verdell, T., 2014. Glossary of terms on landslide hazard and risk. In *Engineering Geology for society and territory*, Vol. 2. Springer International Publishing, Torino, pp. 1775–1780.

8. Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S., Leroi, E., 2005. A framework for landslide risk assessment and management. *Landslide risk management, Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, 2005*, pp. 3–25.
9. Glade, T., 2003. Vulnerability assessment in landslide risk analysis. *Die Erde*, Vol. 134, No. 2, pp. 123–146.
10. Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, Vol. 74, No. 1, pp. 17–28.
11. Lao Cai statistical yearbook 2015, 2016. Lao Cai statistics office, Statistical publishing house, Lao Cai.
12. Le, Q.H., 2015. Research, assessment, zoning and forecast landslide hazard in the mountains of Vietnam. State project, report on research, Hanoi. (in Vietnamese)
13. Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives, 2002. United Nations, Geneva.
14. Marco, U., Farrokh, N., Suzanne, L., Amir, M.K., 2008. A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. *Engineering Geology*, Vol. 102, pp. 251–256. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.03.011.
15. Nguyen, T.Y., 2006. Assessment of landslides and mudflows in some mountainous regions of Vietnam and recommendations of anti-landslide measures, state project, research report. Ha Noi. (in Vietnamese)

CAPTIONS TO FIGURES

- Fig. 1. Structure of risk management and the place (red frame) of the risk assessment of natural disasters in its hierarchy (cited by [2])
- Fig. 2. Location map of the research area
- Fig. 3. Map of landslide hazard zoning based on the: a — method of weighted sum, b — method of weighted multiplication
- Fig. 4. Map of the landslide manifestations in the north-western part of Lao Cai Province
- Fig. 5. Likelihood ratio for identified landslide hazard zones: a — on the basis of the weighted sum method; b — on the basis of the method of weighted multiplication
- Fig. 6. Landslide process manifestations caused damage in 2004
- Fig. 7. Graph of the distribution of the risk category
- Fig. 8. Likelihood ratio for landslide risk

CAPTIONS TO TABLES

- Table 1. Estimation of the likelihood ratio (based on the weighted sum method)
- Table 2. Estimation of the likelihood ratio (based on the weighted multiplication method)
- Table 3. Assessment of the intensity of the landslide process on the basis of the method of weighted multiplication
- Table 4. Damage caused by landslides in 2004
- Table 5. Landslide risk assessment for buildings
- Table 6. Landslide risk assessment for roads
- Table 7. Landslide risk assessment for agricultural lands
- Table 8. Assessment of total physical landslide risk
- Table 9. Assessment of economic landslide risk
- Table 10. Assessment of social landslide risk
- Table 11. Risk matrix
- Table 12. Estimation of the likelihood ratio

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

НГУЕН Ч.К.

Аспирант кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), г. Москва, Россия; исследователь отдела развития технологий и инженерной экологии Института геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, г. Ханой, Вьетнам

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

NGUYEN T.K.

Postgraduate student of the Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeology, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia; researcher of the Department of the Technology Development and Environmental Engineering, Institute of Geological Sciences, Vietnam Academy of Science and Technology, Ha Noi, Vietnam

ФОМЕНКО И.К.

Профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), д.г.-м.н., г. Москва, Россия

ЗЕРКАЛЬ О.В.

Заведующий лабораторией инженерной геодинамики и обоснования инженерной защиты территорий, ведущий научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., г. Москва, Россия

ПЕНДИН В.В.

Заведующий кафедрой инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), д.г.-м.н., профессор, г. Москва, Россия

FOMENKO I.K.

Professor of the Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeology, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

ZERKAL O.V.

Head of the Laboratory of Engineering Geodynamics and Substantiation of Engineering Protection of Territories, leading research scientist of the Engineering and Ecological Geology Department, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

PENDIN V.V.

Head of the Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeology, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), professor, Moscow, Russia

