



## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РОЛИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ АКТИВИЗАЦИИ ОПОЛЗНЕЙ В ПРОВИНЦИИ ШОНЛА, ВЬЕТНАМ

Н.Ч. НГИА<sup>1,2,\*</sup>, В.Н. ЭКЗАРЬЯН<sup>1</sup>, З.В. БИНЬ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

<sup>2</sup> Вьетнамский институт стратегических и политических исследований промышленности и торговли  
17, Йет Киеу ул., г. Ханой 100000, Вьетнам

<sup>3</sup> Ханойский горно-геологический университет, Ханой, Вьетнам  
18, Вьен ул., г. Ханой 100000, Вьетнам

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Оползни — это экзогенный геологический процесс (ЭГП), который наиболее интенсивно развит в горных районах и приводит не только к человеческим жертвам, но и к огромным имущественным потерям существующей инфраструктуры территории. Шонла — горная провинция на северо-западе Вьетнама, которая часто страдает от оползней. В исследовательской работе изучена взаимосвязь природных и техногенных факторов с пространственным распределением оползневых явлений в провинции Шонла и предлагается комплекс превентивных противооползневых мероприятий и решений.

**Цель.** Оценить роль факторов и условий, влияющих на степень активности оползней в провинции Шонла, и предложить мероприятия по предотвращению и/или минимизации негативного воздействия оползневых процессов на окружающую природную среду.

**Материалы и методы.** Для достижения поставленной цели авторами были использованы метод анализа и обработки данных полевых исследований и метод модифицированных частотных отношений (МЧ) в сочетании с ГИС-технологиями. Это позволило определить значение отношения частот (вес) для каждого исследуемого фактора, определяющего наличие и степень активности оползня, и применить технологию дистанционного зондирования для выявления репрезентативности факторов.

**Результаты.** Изучение и оценка роли факторов, влияющих на оползни в провинции Шонла, показывают, что их значимость в порядке убывания выглядит следующим образом: землепользование; высота над уровнем моря; расстояние до дорог; стратиграфо-генетические комплексы и свиты; расстояние до эрозионной сети; крутизна склонов; экспозиция склонов; расстояние до геолого-тектонических разломов; среднегодовое количество атмосферных осадков. Все перечисленные факторы проранжированы по коэффициенту прогнозирования (PR). Среди них фактор «изменение землепользования» оказывает наибольшее влияние на степень активизации оползней в провинции Шонла. Кроме того, предлагается комплекс мероприятий по предотвращению и/или минимизации оползневых процессов на исследуемой территории.

**Заключение.** Результаты данного исследования являются важной научной и практической основой при оценке устойчивости геологической среды провинции, помогают местным органам власти рационально использовать территорию и учитывать оползневую обстановку при генеральном планировании социально-экономического развития провинции Шонла.

**Ключевые слова:** метод частотного соотношения, оползень, ГИС, провинция Шонла, Вьетнам

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Нгиа Н.Ч., Экзарьян В.Н., Бинь З.В. Количественная оценка роли природных и техногенных факторов активизации оползней в провинции Шонла, Вьетнам. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(4):142—157. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-4-142-157> EDN: [YVMGOB](https://www.edn.org/YVMGOB)

Статья поступила в редакцию 05.11.2025

Принята к публикации 28.11.2025

Опубликована 22.12.2025

\* Автор, ответственный за переписку

## QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE ROLE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS IN LANDSLIDE ACTIVATION IN SON LA PROVINCE, VIETNAM

NGUYEN TRONG NGHIA<sup>1,2,\*</sup>, VLADIMIR N. EKZARYAN<sup>1</sup>, DUONG VAN BINH<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklay str., Moscow 117997, Russia*

<sup>2</sup> *Viet Nam Institute of Strategy and Policy for Industry and Trade  
17 Yet Kieu str., Hanoi 10000, Vietnam*

<sup>3</sup> *Hanoi University of Mining and Geology  
18, Vien str., Hanoi 10000, Vietnam*

### ABSTRACT

**Background.** Landslides represent an exogenous geological process (EGP) most intensively developed in mountainous areas, leading to human casualties and enormous property losses to the existing infrastructure of the area. Son La is a mountainous province in northwestern Vietnam that is frequently affected by landslides. The present research work observes the correlation between natural and anthropogenic factors, as well as the spatial distribution of landslide phenomena in Son La province; a set of preventive anti-landslide measures and solutions is proposed.

**Aim.** To assess the role of factors and conditions affecting the degree of landslide activity in the province of Son La and to propose measures preventing or minimizing the negative impact of landslide processes on the environment.

**Materials and methods.** To achieve this objective, the authors employed the analysis and processing of field research data, as well as the modified frequency ratio (MFR) method in combination with GIS technologies. Thus, the frequency ratio value (weight) for each studied factor that determines the presence and degree of landslide activity was determined; remote sensing was used to identify the representativeness of the factors.

**Results.** The studies and assessment of the role of factors influencing landslides in Son La province show that their significance in descending order is as follows: land use; altitude above sea level; distance to roads; stratigraphic and genetic complexes and suites; distance to erosion network; slope steepness; slope exposure; distance to geological and tectonic faults; average annual precipitation. All listed factors are ranked by the prediction rate (PR). Among them, land use has the greatest effect on the degree of landslide activation in Son La province. In addition, a set of measures is proposed to prevent or minimize landslide processes in the studied area.

**Conclusion.** The results of the present study provide an important scientific and practical basis for assessing the stability of the geological environment in Son La province, helping local authorities to rationally use the territory and take into account the landslide situation in the general planning of the socio-economic development of the province.

**Keywords:** frequency ratio method, landslide, GIS, Son La province, Vietnam

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** the study had no sponsorship.

**For citation:** Nghia N.T., Ekzaryan V.N., Binh D.V. Quantitative assessment of the role of natural and anthropogenic factors in landslide activation in Son La province, Vietnam. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(4):142—157. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-4-142-157> EDN: [YVMGOB](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-4-142-157)

*Manuscript received 05 November 2025*

*Accepted 28 November 2025*

*Published 22 December 2025*

\* Corresponding author

## Введение

Вьетнам — страна с разнообразным рельефом, включающим горные районы, равнины и побережья, при этом горные районы составляют  $\frac{3}{4}$  природной площади страны. Горные районы северных провинций Вьетнама, особенно провинция Шонла, регулярно сталкиваются со стихийными бедствиями, такими как внезапные наводнения, оползни и проливные дожди. Оценка риска оползней имеет большое значение в национальной стратегии предотвращения и смягчения последствий стихийных бедствий во Вьетнаме [2]. Для снижения ущерба от оползней необходимо проводить постоянное изучение факторов, определяющих развитие и активизацию оползневых процессов. В настоящее время исследования оползней подразделяются на прямые и косвенные, используются качественные, полуколичественные и количественные методы, основанные как на частотных, так и на детерминированных методах [1]. Существует множество методов оценки современного состояния и степени активности оползней, но выбор подходящего метода зависит от таких критериев, как цель исследования, площадь исследуемой территории, доступность, масштаб исследования, тип используемых данных, наличие информации, документов и опыта [16]. Исходя из геоэкологических условий изучаемого района, для исследования был выбран модифицированный метод отношения частот, который широко используют при многокритериальном анализе благодаря его прогностической способности по сравнению с другими методами.

## Материалы и методы исследования

### Область исследования

Провинция Шонла — горная провинция на севере Вьетнама, примерно в 320 км к востоку от столицы, г. Ханоя. По данным Статистического управления провинции Шонла, по состоянию на 2024 год общая численность населения провинции составляет 1 330 580 человек [10].

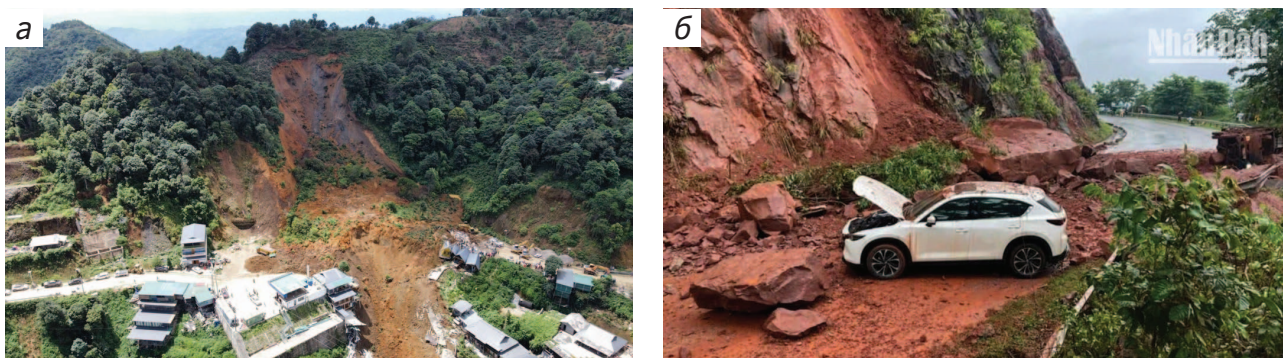
Для Шонла характерен сильнорасчлененный рельеф, крутые склоны, жаркий и влажный климат, а также частые сезонные дожди, которые являются причинами многих видов стихийных бедствий и оползней. В период с 2011 по 2024 год непосредственно пострадали (погибли, получили ранения, пропали без вести) около 358 человек, а материальный ущерб составил более 8 триллионов вьетнамских донгов [6]. На рисунке 1 показаны участки схода оползней в двух районах провинции Шонла.

### Исходные материалы и метод исследования

Для построения карт факторов, определяющих наличие и степень активности оползневых процессов, использовались цифровые модели рельефа (ЦМР), геологические отчеты и картографические материалы разной направленности, в том числе карты землепользования 2020 года в провинции Шонла. Исходные данные взяты из различных источников, таких как Вьетнамский институт геологических наук и минеральных ресурсов, Главное статистическое управление Вьетнама, Статистическое управление провинции Шонла, полевые исследования и изображения Google Earth. Весь картографический материал был приведен к единому масштабу.

### Карта распространения оползней

Для целей исследования была составлена карта распространения оползней с использованием результатов выполненных полевых исследований, спутниковых снимков Google Earth с течением времени разных лет, материалов дистанционного зондирования и данных, собранных из опубликованных источников. Карта распространения оползней позволяет визуализировать их пространственное распределение на изучаемой территории. В общей сложности в районе исследования было выявлено и нанесено на карту более полутора тысяч оползней, материалы по которым легли в основу количественной оценки взаимосвязей между факторами и пространственным распределением оползневых явлений.



**Рис. 1.** Изображение оползней в районе исследования: а — оползень в жилом районе коммуны Тасюа, провинция Шонла [7]; б — оползень на национальном шоссе 6 провинции Шонла [8]

**Fig. 1.** Image of landslides in the study area: a — landslide in the residential area of Ta Xua commune, Son La province [7]; b — landslide on national highway 6 in Son La province [8]

#### Метод модифицированного отношения частот (MFR)

Метод отношения частот (Frequency Ratio, FR) является одним из широко используемых методов оценки риска оползней не только во Вьетнаме, но и в мире. Этот метод представляет собой двумерную статистическую модель, которая отражает пространственную взаимосвязь оползневых процессов и каждого из изучаемых факторов, определяющих его активность [18, 20, 23]. Значение коэффициента частоты для каждого фактора рассчитывается путем объединения карты распространения оползней и карты факторов возникновения оползней по следующей формуле [2, 13]:

$$FR = \frac{P_{LS}}{P_C} = \frac{L_i / \sum L_i}{A_i / \sum A_i} \quad (1)$$

где  $P_{LS}$  — доля оползней в каждом классе фактора;  $P_C$  — процент площади каждого класса фактора;  $L_i$  — количество оползней, произошедших в классе  $i$ ;  $\sum L_i$  — общее количество оползней в исследуемом районе;  $A_i$  — площадь класса фактора  $i$ ;  $\sum A_i$  — общая площадь исследуемой территории.

Если значение частотного отношения  $FR > 1$ , это указывает на более сильную связь между возникновением оползней и соответствующим фактором. Напротив, если  $FR < 1$ , это свидетельствует о слабой взаимосвязи [12, 18].

NFR (Normalized Frequency Ratio) [3] — нормализованное отношение частот рассчитывается по формуле:

$$NFR = \frac{FR_i}{\sum_{i=1}^n FR_i} \quad (2)$$

где  $FR_i$  — это значение частотного отношения (FR) для класса фактора  $i$ .

Затем эмпирически рассчитываются коэффициенты прогнозирования (PR) для оценки значимости каждого исследуемого фактора, определяющего возможность возникновения и степень активности оползневых процессов.

$$PR = \frac{NFR_{\text{Макс}} - NFR_{\text{Мин}}}{(NFR_{\text{Макс}} - NFR_{\text{Мин}})_{\text{Мин}}} \quad (3)$$

Метод MFR имеет важное отличие от метода FR в части нормализации исходных данных. В методе MFR частотные отношения нормализуются в диапазоне от 0 до 1. Такая нормализация позволяет более точно интерпретировать результаты и облегчает их интеграцию с другими статистическими показателями [19]. Метод модифицированной оценки отношения частот представлен на рисунке 2.

#### Тематическое картирование факторов, определяющих возникновение и степень активности оползневых процессов

Решающую роль в образовании и развитии оползней играет крутизна склонов. Чем больше их крутизна и изрезанность, тем выше риск оползней, и наоборот [11]. Как известно, склоны имеют различный генезис: природные, природно-техногенные и техногенные. Техногенные склоны образуются при строительстве различных насыпей (дорожных покрытий, дамб и т. п.), добыче полезных ископаемых, выемке грунта (карьеров, каналов, карьеров и т. п.) или при перепланировке территории [9].

Экспозиция склонов определяет воздействие таких факторов, как солнечная радиация, ветер, дождь, интенсивность выветривания, а также уровень изменения физических свойств горных пород [21].

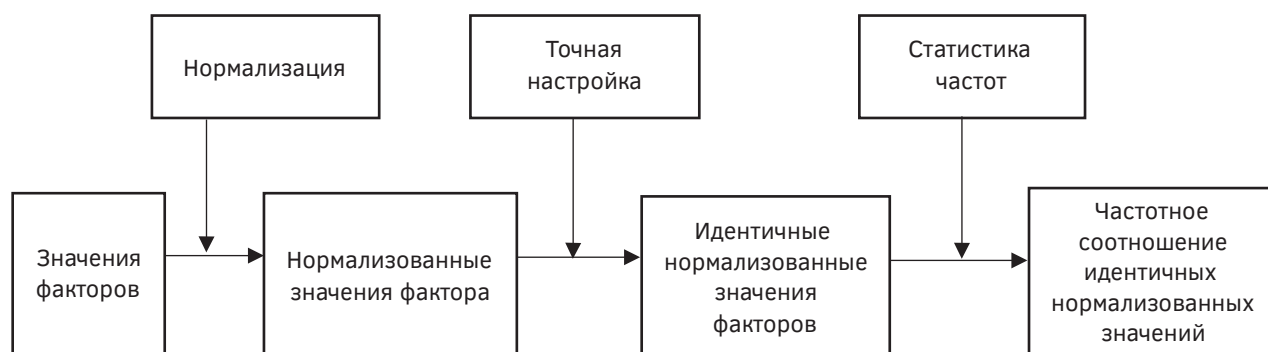


Рис. 2. Описание модифицированного частотного метода [19]  
Fig. 2. Description of the modified frequency method [19]

Стратиграфо-генетические комплексы и свиты определяют состав, строение, прочность, проницаемость, продукты выветривания материнской породы и являются одними из важнейших факторов при изучении и прогнозировании оползневых процессов [24].

Высота над уровнем моря косвенно влияет на возникновение и активность оползней, но она в значительной мере определяет другие факторы, такие как количество атмосферных осадков, скорость реакции гидратации, степень и глубина выветривания, изменение влажности, эрозия и растительность [15, 17].

Атмосферные осадки играют важную роль в оценке риска оползней. При этом учитывается годовой режим осадков, их интенсивность и распределение по площади. Когда влажность воздуха увеличивается до предельного уровня, ослабляющего несущую способность горных пород, возникают оползни, которые увеличиваются прямо пропорционально увеличению влажности [14]. Это очень важный параметр, связанный с риском оползней.

Устойчивость склонов зависит от расстояния до эрозионной сети: эрозия у подножия склона с обеих берегов реки может привести к увеличению крутизны склона и, соответственно, потере устойчивости [22].

Расстояние до дорог. Дороги в горных районах строятся по пересеченной местности, обычно вдоль речных долин, поэтому их приходится прокладывать на крутых склонах. Верхняя часть склона теряет устойчивость, что приводит к активизации оползневых и других склоновых процессов.

Геолого-тектонические разломы создают ослабленные зоны свойств горных пород. Плотность разломов использовалась для изучения взаимосвя-

зи между тектоническими факторами и риском оползней.

Землепользование — динамический фактор, связанный с деятельностью человека. Различные виды землепользования оказывают, как известно, разное воздействие на оползни [25].

### Результаты и обсуждение

Влияние природных и техногенных факторов на развитие оползней на исследуемой территории было оценено и проанализировано с использованием модифицированного метода отношения частот. Характеристики факторов, влияющих на оползневые процессы изучаемой территории, обрабатываются, рассчитываются, преобразуются и отображаются в виде растровых данных с пространственным разрешением 30 м в программном обеспечении ArcGIS (рис. 3).

В таблице 1 приведены результаты обработки данных методом модифицированных частотных отношений (МЧ) в сочетании с ГИС-технологиями. Показаны частота (вес) каждого исследуемого фактора (NFR) и коэффициент прогнозирования (PR), определяющие наличие и степень активности оползневых процессов.

Результаты определения значения NFR и PR исследуемых факторов, влияющих на оползни в провинции Шонла, позволяют сделать следующие выводы.

1. Наибольшие отношения частот (NFR) по высоте над уровнем моря составляют 0,31, 0,22 и 0,17 и приурочены к высотным поверхностям: ниже 450, 450—700, 700—1000 м. В пределах распространения данного фактора расположено 80,01% оползней исследуемой территории. Значение PR для данного слоя 5,6 указывает на значительное влияние данного фактора на пространственное распределение оползней.

2. По фактору расстояние до дороги наибольший коэффициент частотности (NFR) 0,31, 0,24 и 0,18 в интервалах значений: от 0 до 100, 100—200, 200—300 м. Значение PR для данного слоя составляет 4,8, что указывает на значительное влияние исследуемого фактора на пространственное распределение оползней.

3. В слое данных о крутизне склона значения с самым высоким отношением частот (NFR) составляют 0,21, 0,2 и 0,19 в интервалах 10—17°, 17—25°, 25—35°. В пределах развития данного фактора расположены 94,04% оползней исследуемой территории. Значение PR для данного слоя данных составляет 3,2, что указывает на существенное влияние крутизны склонов на вероятность возникновения оползней.

4. Самый высокий коэффициент частотности (NFR) по фактору «стратиграфо-генетические комплексы и свиты» составляет 0,21 в стратиграфо-генетическом комплексе Пошен. Однако суммарное значение PR в целом для данного фактора составляет 4,2, что свидетельствует о высокой степени его влияния на возможность возникновения оползней.

5. Высокие отношения частот (NFR) при изучении фактора «расстояние до систем геолого-тектонических разломов» составляют 0,2 и 0,19 и приурочены, соответственно, к значениям от 1500 до 2000 и 0—500 м. В пределах развития данного фактора располагаются 45,04% оползней исследуемой территории. Значение PR равно 1,0, что свидетельствует о практически незначительном влиянии исследуемого фактора на вероятность возникновения оползней.

6. Показатель «среднегодовое количество осадков» в интервалах 1434—1577 и 1666—1745 мм

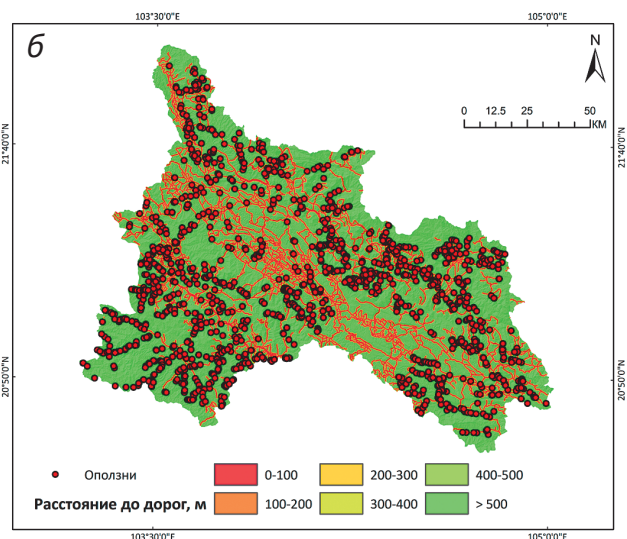
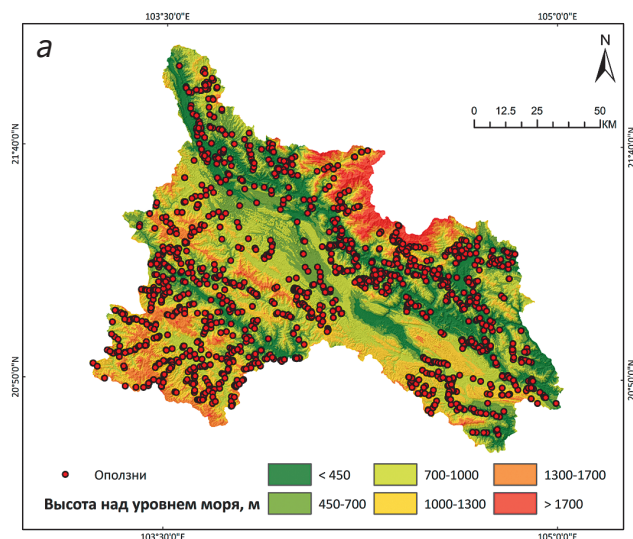
обладает самым высоким значением отношения частот (NFR), равным 0,19, и в пределах этих территорий расположено 60,08% оползней. Значение PR равно 1,0, что указывает на наличие взаимосвязи между среднегодовым количеством осадков и вероятностью возникновения оползней.

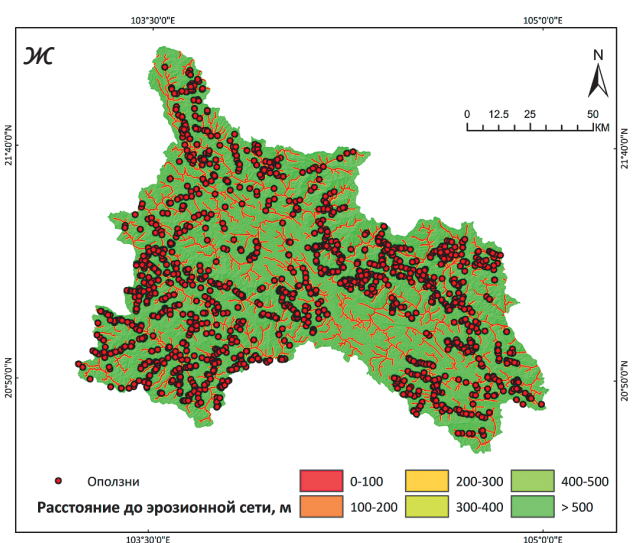
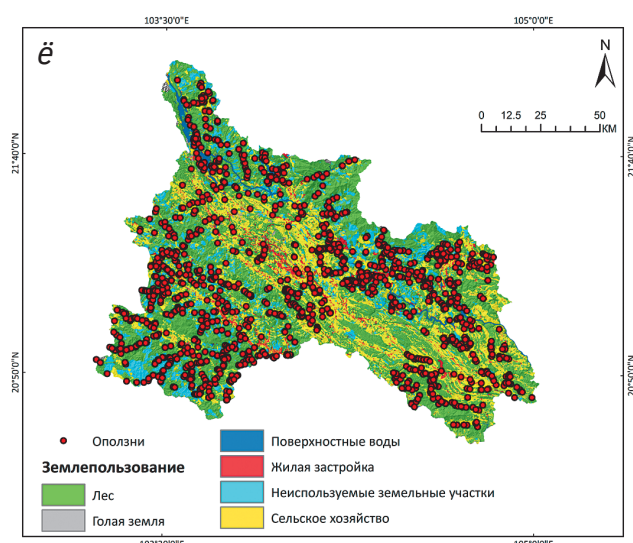
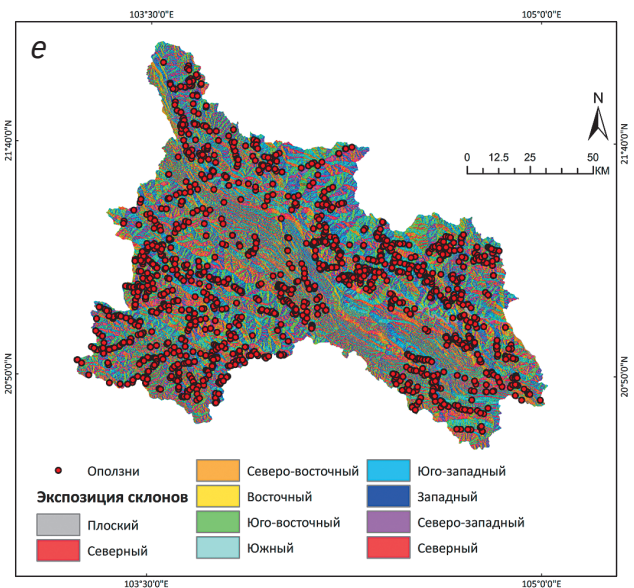
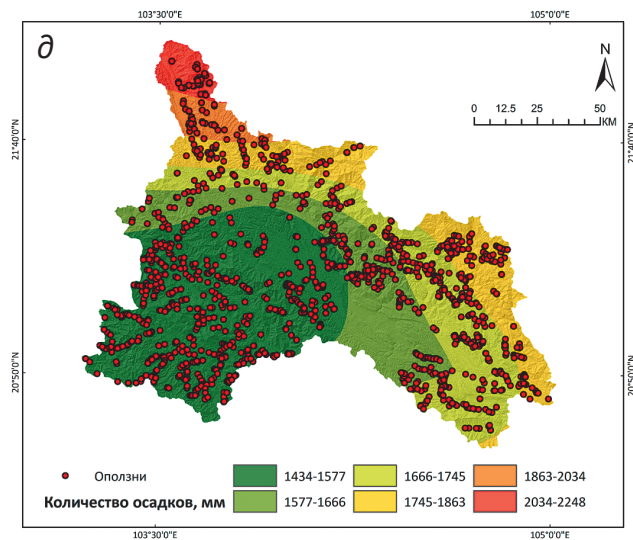
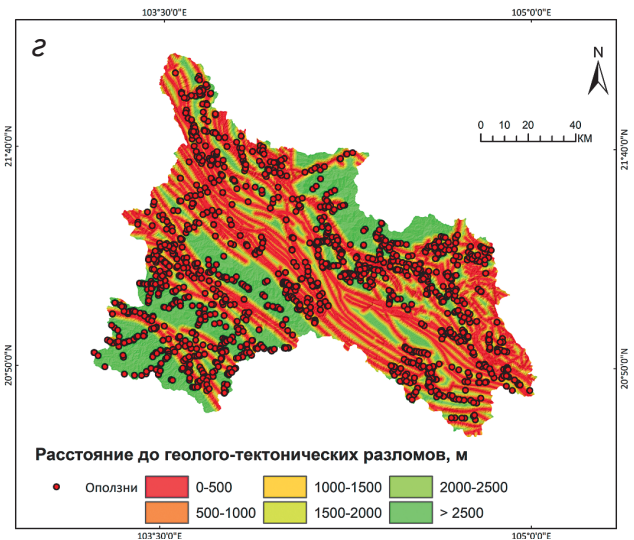
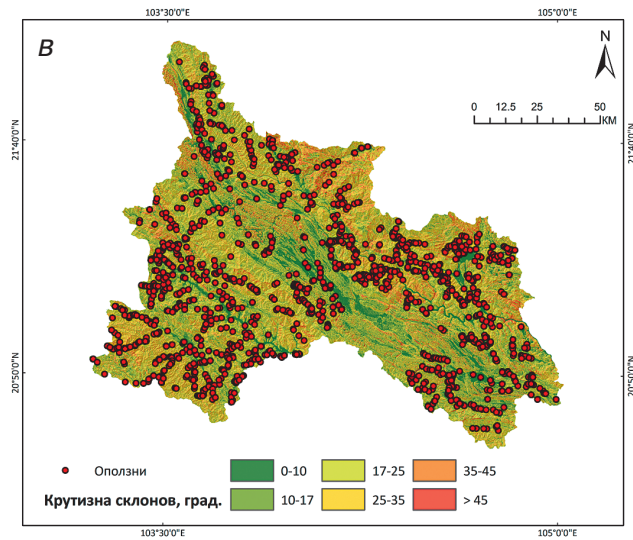
7. Наиболее высокое значение частот (NFR) по фактору «экспозиция склона» отмечается в пределах северного, северо-восточного и северо-западного направления и охватывает 44,71% оползней исследуемой территории. Значение PR равно 3,0, что свидетельствует о значительном влиянии экспозиции склонов на вероятность возникновения оползней.

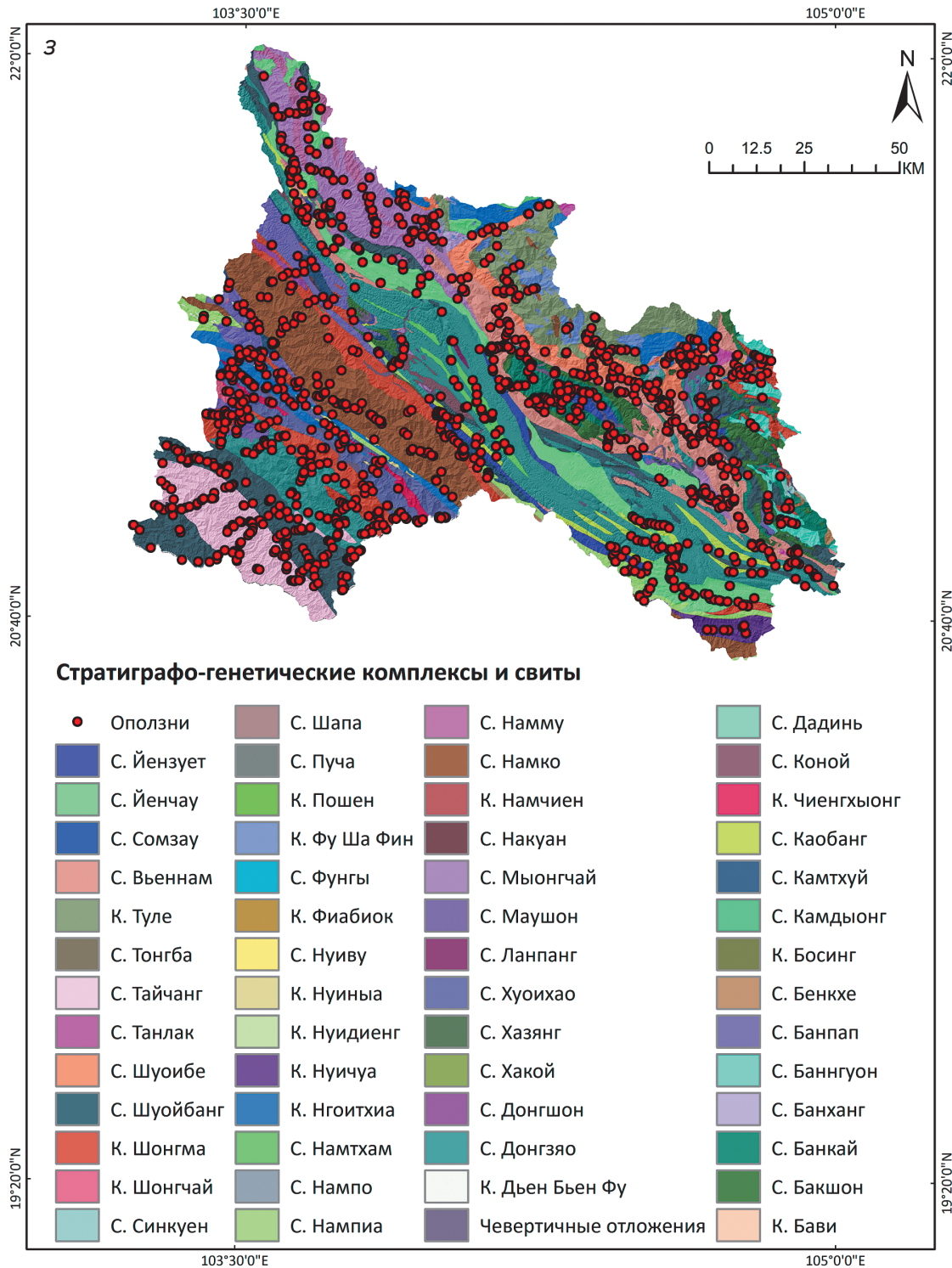
8. По показателю «землепользование» для жилой застройки отмечается самый высокий коэффициент частотности (NFR) 0,35. PR равно 6,8 — это максимальное значение показателя, которое указывает, что виды землепользования обладают самым сильным влиянием на активность оползневых процессов из всех изученных факторов.

9. По фактору «расстояние до эрозионной сети» значения с самым высоким коэффициентом повторяемости (NFR) составляют 0,28 для значения от 0 до 100 м, что вполне естественно. Показатель PR равен 4,0, что свидетельствует о существенном влиянии близости эрозионной сети на вероятность возникновения оползней.

По результатам расчетов и анализа видно, что каждый фактор играет определенную роль в формировании оползневой опасности на исследуемой территории. На основе общего значения PR факторы, определяющие оползневую активность, расположены в следующем порядке: землепользование; высота над уровнем моря; расстояние до дороги; стратиграфо-генетические комплексы







**Рис. 3.** Карты факторов, влияющих на оползневые процессы провинции Шонла: а — высота над уровнем моря; б — расстояние до дорог; в — крутизна склонов; г — расстояние до геолого-тектонических разломов; д — среднегодовое количество атмосферных осадков; е — экспозиция склонов; ё — землепользование; ж — расстояние до эрозионной сети; з — стратиграфо-генетические комплексы и свиты

**Fig. 3.** Maps of factors influencing landslide processes in Son La province: а — altitude above sea level; б — distance to roads; в — slope steepness; г — distance to geological and tectonic faults; д — average annual precipitation; е — slope exposure; ё — land use; ж — distance to erosion network; з — stratigraphic and genetic complexes and suites

**Таблица 1.** Анализ связи между факторами, вызывающими оползни, и распределением оползней с использованием моделей MFR

**Table 1.** Analysis of the relationship between landslide-inducing factors and landslide distribution using MFR models

Класс фактора	% класс пикселя	% оползня	FR	NFR	$NFR_{\text{Макс}} - NFR_{\text{Мин}}$	$(NFR_{\text{Макс}} - NFR_{\text{Мин}})_{\text{Мин}}$	PR
<b>Высота над уровнем моря, м</b>							
<450	17,01	27,03	1,59	0,31			
450—700	22,55	26,01	1,15	0,22			
700—1000	30,28	26,97	0,89	0,17			
1000—1300	19,57	14,35	0,73	0,14			
1300—1700	7,98	5,19	0,65	0,13			
>1700	2,61	0,45	0,17	0,03			
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>5,18</b>	<b>1</b>	<b>0,28</b>	<b>0,05</b>	<b>5,6</b>
<b>Расстояние до дорог, м</b>							
0—100	10,64	26,46	2,49	0,31			
100—200	8,4	16,27	1,94	0,24			
200—300	8,25	11,79	1,43	0,18			
300—400	6,38	6,34	1,00	0,12			
400—500	6,21	4,1	0,66	0,08			
>500	60,12	35,04	0,58	0,07			
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>8,1</b>	<b>1</b>	<b>0,24</b>	<b>0,05</b>	<b>4,8</b>
<b>Крутизна склонов, град.</b>							
0—10	13,80	14,03	1,02	0,2			
10—17	18,57	20,18	1,09	0,21			
17—25	29,75	31,71	1,07	0,21			
25—35	28,46	28,12	0,99	0,19			
35—45	8,28	5,64	0,68	0,13			
>45	1,14	0,32	0,28	0,05			
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>5,13</b>	<b>0,99</b>	<b>0,16</b>	<b>0,05</b>	<b>3,2</b>
<b>Стратиграфо-генетические комплексы и свиты</b>							
Комплекс Шонгма	5,42	7,17	1,32	0,02			
Четвертичные отложения (Q)	1,27	3,4	2,68	0,04			
Свита Каобанг	1,28	0,9	0,7	0,01			
Свита Баннгуон	1,28	0,9	0,7	0,01			
Свита Йензует	1,72	2,43	1,41	0,02			
Свита Танлак	0,28	0,51	1,82	0,03			
Комплекс Бави	0,004	0	0	0			
Свита Бакшон	2,71	1,73	0,64	0,01			
Свита Йенчау	6,45	6,6	1,02	0,02			
Комплекс Нгоитхиа	3,39	2,76	0,81	0,01			
Свита Фунгы	0,003	0	0	0			
Свита Тонгба	0,02	0	0	0			
Комплекс Фиабиок	0,01	0	0	0			

Продолжение таблицы 1

Класс фактора	% класс пикселя	% оползня	FR	NFR	$NFR_{\text{Макс}} - NFR_{\text{Мин}}$	$(NFR_{\text{Макс}} - NFR_{\text{Мин}})_{\text{Мин}}$	PR
Комплекс Шонгчай	0,18	0,38	2,11	0,03			
Комплекс Нуичуа	0,84	0,45	0,54	0,01			
Комплекс Нуидиенг	0,07	0,13	1,86	0,03			
Свита Банханг	0,16	0	0	0			
Свита Накуан	0,1	0	0	0			
Свита Банкай	2,2	3,59	1,63	0,03			
Свита Маушон	0,6	0,51	0,85	0,01			
Свита Синкуен	0,07	0	0	0			
Комплекс Пошен	0,01	0,13	13	0,21			
Свита Камдыонг	0,01	0	0	0			
Комплекс Туле	4,71	3,27	0,69	0,01			
Свита Намко	8,48	5,12	0,6	0,01			
Свита Шуойбанг	9,28	9,42	1,02	0,02			
Свита Ланпанг	0,06	0,06	1	0,02			
Свита Хакой	0,005	0	0	0			
Свита Намтхам	0,76	1,22	1,58	0,03			
Свита Шапа	0,01	0,06	6	0,1			
Свита Нуиву	0,03	0	0	0			
Свита Сомзау	0,002	0	0	0			
Свита Бенкхе	0,18	0,06	0,33	0,01			
Комплекс Фу Ша Фин	1,16	0,26	0,22	0			
Свита Мыонгчай	5,61	7,3	1,3	0,02			
Комплекс Чиенгхьюнг	0,46	0,52	1,11	0,02			
Свита Тайчанг	4,72	4,68	0,99	0,02			
Комплекс Намчиен	0,01	0	0	0			
Свита Намму	1,05	0,26	0,25	0			
Свита Камтхуй	0,98	0,83	0,85	0,01			
Свита Донгшон	0,19	0,06	0,32	0,01			
Свита Банпап	2,69	1,6	0,59	0,01			
Комплекс Дьен Бьен Фу	0,05	0,06	1,2	0,02			
Свита Пуча	0,03	0	0	0			
Комплекс Босинг	0,01	0	0	0			
Свита Коной	0,52	0,38	0,73	0,01			
Свита Нампия	1,59	1,67	1,05	0,02			
Свита Хазянг	0,05	0	0	0			
Свита Хуоихао	2,88	3,97	1,38	0,02			
Свита Шуоибее	2,77	4,48	1,62	0,03			
Свита Донгзяо	15,73	9,1	0,58	0,01			

Продолжение таблицы 1

Класс фактора	% класс пикселя	% оползня	FR	NFR	$NFR_{\text{Макс}} - NFR_{\text{Мин}}$	$(NFR_{\text{Макс}} - NFR_{\text{Мин}})_{\text{Мин}}$	PR
Свита Нампо	0,18	0,32	1,78	0,03			
Свита Дадинь	0,04	0,13	3,25	0,05			
Свита Вьеннам	7,57	13,45	1,78	0,03			
Комплекс Нуиныа	0,12	0,13	1,08	0,02			
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>62,39</b>	<b>1,02</b>	<b>0,21</b>	<b>0,05</b>	<b>4,2</b>
<b>Расстояние до геолого-тектонических разломов, м</b>							
0—500	31,13	34,79	1,12	0,19			
500—1000	20,14	19,09	0,95	0,16			
1000—1500	12,75	11,21	0,88	0,15			
1500—2000	8,40	10,25	1,22	0,20			
2000—2500	5,56	5,19	0,93	0,16			
>2500	22,02	19,47	0,88	0,15			
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>5,98</b>	<b>1,01</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>1</b>
<b>Среднегодовое количество осадков, мм</b>							
1434—1577	39,07	41,51	1,06	0,19			
1577—1666	18,59	17,62	0,95	0,17			
1666—1745	21,01	22,93	1,09	0,19			
1745—1863	15,47	12,94	0,84	0,15			
1863—2034	3,16	2,82	0,89	0,16			
2034—2248	2,70	2,18	0,81	0,14			
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>5,64</b>	<b>1</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>1</b>
<b>Экспозиция склонов</b>							
Плоский	0,49	0	0	0			
Северный	13,51	16,08	1,19	0,15			
Северо-восточный	13,51	15,95	1,18	0,15			
Восточный	11,52	8,20	0,71	0,09			
Юго-восточный	11,68	8,26	0,71	0,09			
Южный	13,20	11,98	0,91	0,11			
Юго-западный	14,04	14,36	1,02	0,13			
Западный	11,28	12,49	1,11	0,14			
Северо-западный	10,78	12,68	1,18	0,15			
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>8,01</b>	<b>1,01</b>	<b>0,15</b>	<b>0,05</b>	<b>3</b>
<b>Землепользование</b>							
Лес	49,34	35,17	0,71	0,11			
Голая земля	0,51	0,45	0,88	0,14			
Поверхностные воды	2,18	0,13	0,06	0,01			
Жилая застройка	4,02	8,90	2,21	0,35			
Неиспользуемые земельные участки	12,94	14,80	1,14	0,18			

Продолжение таблицы 1

Класс фактора	% класс пикселя	% оползня	FR	NFR	$NFR_{\text{Макс}} - NFR_{\text{Мин}}$	$(NFR_{\text{Макс}} - NFR_{\text{Мин}})_{\text{Мин}}$	PR
Сельское хозяйство	31,01	40,55	1,31	0,21			
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>6,31</b>	<b>1</b>	<b>0,34</b>	<b>0,05</b>	<b>6,8</b>
<b>Расстояние до эрозионной сети, м</b>							
0—100	7,05	17,42	2,47	0,28			
100—200	6,26	13,13	2,10	0,24			
200—300	6,62	12,17	1,84	0,21			
300—400	5,57	5,58	1,00	0,11			
400—500	5,93	4,94	0,83	0,09			
>500	68,60	46,76	0,68	0,08			
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>8,92</b>	<b>1,01</b>	<b>0,2</b>	<b>0,05</b>	<b>4</b>

и свиты; расстояние до эрозионной сети; крутизна склонов; экспозиция склонов; расстояние до геолого-тектонических разломов; среднегодовое количество осадков.

Таким образом, техногенные факторы, такие как землепользование, расстояние до дорог, оказывают максимальное влияние на активность оползней в провинции Шонла. Это вырубка лесов, выравнивание гор, строительство дорог, добыча полезных ископаемых, нивелирование рельефа при жилой застройке и другие виды хозяйственной деятельности.

Результаты оценки роли факторов, влияющих на риск оползней в провинции Шонла, согласуются с исследованиями, проведенными в других северных горных провинциях Вьетнама, такими как прогнозирование риска оползней в коммуне Намдан, округе Синьман, провинции Хазянг [4], районе города Баккан, провинции Баккан [5], районе Тиньтук, провинции Каобанг [3], районе коммуны Чунгчай, районе Шапа, провинции Лаокай [1, 2, 12], с применением метода статистических индексов.

Обычно в горных районах основным фактором, провоцирующим оползни, считаются осадки. Однако согласно результатам выполненных исследований для оценки возникновения риска оползней необходимо учитывать множество других факторов, таких как рельеф, геоморфология, крутизна склонов, литология, землепользование, деятельность человека в процессе строительства городской инфраструктуры. Поэтому оценка риска оползней требует комплексного подхода с учётом природных и техногенных факторов, характерных для изучаемых территорий.

На основе результатов выполненных исследований предлагается комплекс мероприятий

по предотвращению и/или минимизации оползневых процессов и их последствий на территории провинции Шонла.

1. Совершенствование системы мониторинга оползневых процессов. Необходимо модернизировать систему наблюдения, включая установку датчиков смещения грунта, создать систему оперативного оповещения населения о возможности активизации оползневых процессов, осуществлять гидрометеорологические расчеты и прогнозы с акцентом на интеграцию, синхронность и автоматизацию. Особое внимание следует уделить жилым районам, транспортной инфраструктуре и территориям, подверженным частым оползням, с целью своевременного оповещения и эвакуации населения из опасных зон.

2. Информационно-просветительская работа по повышению осведомленности населения. Необходимо проводить просветительскую работу для повышения осведомленности местного населения и заинтересованных организаций о рисках оползней и мерах их предотвращения. Такие меры включают проведение обучающих тренингов, тренингов по экстренной эвакуации, а также установку предупреждающих знаков об угрозе оползней.

3. При планировании функционального использования земель следует учитывать распространение и степень активности оползневых процессов. Ограничить строительство жилых домов, учреждений и административных зданий на склонах и в районах с высоким риском оползней.

4. Разрабатывать и реализовывать противооползневые мероприятия. Укреплять устойчивость склонов путём установки армирующих сеток, строительства подпорных стен из габионов и гравиационных подпорных стен.

5. При строительстве инфраструктурных объектов и гидроэлектростанций необходимо уделять внимание оценке устойчивости геологической среды территории, обеспечивая возможность предотвращения внезапных наводнений и оползней. Выполнять геоэкологическое обследование территории перед началом строительных работ.

6. Разработать мероприятия по нейтрализации процессов выветривания почвы и горных пород на склонах путем посадки ветивера, использования геотехнических материалов, периодического поддержания уклонов дорожной сети и строительства дренажной системы с целью снижения воздействия инфильтрации поверхностных вод на оползневый склон.

7. Охранять леса в водосборных зонах и высаживать растения с высоким потенциалом укрепления почвы с целью увеличения площади лесного покрова на поверхности рельефа. Это способствует снижению воздействия сильных дождей на поверхность земли и уменьшению эрозии.

8. Расширение применения моделей агролесоводства и устойчивого подсечно-огневого земледелия с целью снижения интенсивности паводков и селевых потоков, предупреждения ураганов, оползней, засух, а также улучшения состояния природной среды.

9. Осуществление мероприятий по озеленению деградированных и незанятых земель путем посадки древесных и кустарниковых пород, которое способствует формированию экологических буферных зон и восстановлению растительного покрова. Данная мера должна повысить водоудерживающую и противозерозионную способности почв, снизить риск оползней, способствовать сохранению биологического разнообразия и сыграть значительную роль в адаптации к изменениям климата.

### Заключение

В исследовании был использован модифицированный метод частотного отношения для построе-

ния тематических карт девяти природных и техногенных факторов, материалы по которым были собраны, обработаны и занесены в пространственную базу данных с использованием ГИС, связанной с риском оползней. Карты факторов риска оползней в провинции Шонла были верифицированы путем сопоставления с картой инвентаризации оползней, содержащей информацию по 1561 проявлению оползневого процесса в пределах изучаемой территории.

Результаты исследования показывают, что такие факторы, как: землепользование, высота над уровнем моря, расстояние до дороги, стратиграфо-генетические комплексы и свиты, расстояние до эрозионной сети, крутизна склонов, экспозиция склонов, расстояние до геолого-тектонических разломов, среднегодовое количество осадков, располагаются в порядке убывания степени их влияния на возникновение и активность оползней в провинции Шонла. Предложен комплекс мероприятий по предотвращению и/или минимизации оползневых процессов, соответствующий природным условиям и текущей ситуации в исследуемом районе.

Полученные результаты представляют собой научно-практическую основу, способствующую рациональному управлению использованием территории провинции Шонла с учетом устойчивости геологической среды к оползням. Особенно это важно в условиях стремительной урбанизации, наблюдаемой в последние годы, которая приводит к изменению землепользования и увеличению активности оползней. В провинции Шонла необходимо интегрировать управление и контроль стихийных бедствий, в частности оползней, вызванных неблагоприятными погодными и климатическими условиями, а также обеспечить надлежащий мониторинг окружающей среды, и в первую очередь мониторинг оползневых процессов. При проектировании и строительстве инфраструктурных объектов следует учитывать риск оползней.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Зьонг В.Б.* Оценка оползневой опасности природно-технических систем различного иерархического уровня: дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2023. 218 с.
2. *Зьонг В.Б., Фоменко И.К., Нгуен Ч.К. и др.* Применение статистических методов на основе ГИС для оценки потенциального развития оползней в районе Шапа, Вьетнам. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 4. С. 126—140. DOI: 10.18799/24131830/2022/4/3473
3. *Зьонг В.Б., Фоменко И.К., Нгуен Ч.К., Зеркаль О.В., Сироткина О.Н., Ву Х.Д.* Оценка оползневой опасности с использованием метода соотношения частот и комбинированного фрактально-частотного метода на примере города Тиньтук провинции Каобанг (Вьетнам). Записки Горного института. 2024. Т. 268. С. 613—624. EDN: HTDPXJ.
4. *Нгуен Куанг Хуи и др.* Прогнозируется риск оползней в коммуне Намдан, уезда Синьмань, провинции Хазянг. Журнал науки, Вьетнамский национальный университет, Ханой, Науки о Земле и окружающей среде. 2016. Т. 4, № 4. С. 80—88.

5. *Нгуен Т.Т., Нгуен Х.Ч., До В.В.* Применение ГИС и метода статистического индекса при построении карты подверженности оползням в районе города Баккан. Журнал науки и технологий водных ресурсов, 2020. № 62. С. 1—12.
6. *Нгуен Чонг Нгиа.* Оценка ситуации стихийных бедствий в провинции Шонла, Вьетнам, на период 2011—2024 гг. XVII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», 3—4 апреля 2025 г. МГРИ. Т. 5. С. 210—213.
7. Новости VnExpress, 2024. URL: <https://vnexpress.net/xuat-hien-cung-sat-truot-thu-hai-o-ta-hua-4782702.html> (дата обращения 8.4.2025).
8. Нянзан Онлайн, 2024. URL: <https://nhandan.vn/mua-lon-gay-sat-lo-nhieu-tuyen-duong-o-son-la-post832516.html> (дата обращения 8.4.2025).
9. *Пендин В.В., Фоменко И.К.* Методология оценки и прогноза оползневой опасности. М.: ЛЕНАНД, 2015. 320 с.
10. Статистическое управление провинции Шонла. Отчет о социально-экономическом положении провинции Шонла в декабре и за весь 2024 год. 2025. 56 с. URL: <https://thongkesonla.nso.gov.vn/tin-tuc/22> (дата обращения 20.4.2025).
11. *Тран Тхань Ха.* Анализ взаимосвязи между геоморфологическими характеристиками и оползнями в провинции Лаокай. Журнал науки, Вьетнамский национальный университет, Ханой, Науки о Земле и окружающей среде, 2013. ISSN 2588-1094, Т. 29, № 3, с. 35—44.
12. *Фоменко И.К., Зыонг В.Б., Нгуен Ч.К., Зеркаль О.В., Горобцов Д.Н., Сироткина О.Н.* Оценка оползневой опасности природно-технической системы элементарного уровня на примере оползневого склона в коммуне Чунгчай (Шапа, Вьетнам). Геориск. 2022. Т. XVI, № 1. С. 56—65, DOI: 10.25296/1997-8669-2022-16-1-56-65
13. *Ха Т.Х., Фам З.Х. и др.* Картографирование восприимчивости к оползням по Национальному Шоссе-6, провинция Хоабинь, Вьетнам с использованием модели частотного соотношения и ГИС. Международный журнал GEOMATE. 2021. Т. 21, вып. 85. С. 84—90. DOI: 10.21660/2021.85.j2222
14. *Ха Ван Хань и др.* Оценка риска оползней в горных районах провинции Тхыатхьен-Хюэ с использованием многокритериального анализа и технологий. Журнал науки и технологий. Научный университет, Университет Хюэ, 2020. № 2. С. 135—148.
15. *Catani F., Lagomarsino D., Segoni S., Tofani V.* Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2013. Vol. 13. Iss. 11. P. 2815—2831, DOI: 10.5194/nhess-13-2815-2013
16. *Corominas J., van Westen C., Frattini P., et al.* Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2014. Vol. 73. Iss. 2, P. 209—263. DOI: 10.1007/s10064-013-0538-8
17. *Girma F, Raguvanshi TK, Hailemariam T.* Landslide hazard zonation in Adda Berga District, Central Ethiopia- GIS based statistical approach. Journal of Geomatics, 2015. Vol. 9. No. 1. P. 25—38.
18. *Lee S, Pradhan B.* Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. Landslides. 2007. Vol. 4. P. 33—41. DOI: 10.1007/s10346-006-0047-y
19. *Li L., Lan H., Guo, C., et al.* A modified frequency ratio method for landslide susceptibility assessment. Landslides. 2017. Т. 14. P. 727—741. DOI: 10.1007/s10346-016-0771-x
20. *Mandal S.P., Chakrabarty A., Maity P.* Comparative evaluation of information value and frequency ratio in landslide susceptibility analysis along national highways of Sikkim, Himalaya. Spatial Information Research. 2018. DOI: 10.1007/s41324-017-0160-0
21. *Meten M., PrakashBhandary N., Yatabe R.* Effect of Landslide Factor Combinations on the Prediction Accuracy of Landslide Susceptibility Maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia. 2015. Geoenvironmental disasters 2. P. 9, DOI: 10.1186/s40677-015-0016-7
22. *Nohani E, Moharrami M, Sharafi S, Khosravi K, Pradhan B, Pham BT, Lee S, Melesse AM.* Landslide susceptibility mapping using different GIS-based bivariate models. 2019. Water 11. No. 7. P. 1402. DOI: 10.3390/w11071402
23. *Pradhan B.* Landslide Susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches. Journal of Indian Society of Remote Sensing. 2010. Vol. 38. P. 301—320. DOI: 10.1007/s12524-010-0020-z
24. *Wu X., Benjamin Zhan F., Zhang K., et al.* Application of a two-step cluster analysis and the Apriori algorithm to classify the deformation states of two typical colluvial landslides in the Three Gorges, China. Environmental Earth Sciences. 2016. Vol. 75. P. 146—161. DOI: 10.1007/s12665-015-5022-2
25. *Wu Wenfu, Guo Songjing, Shao Zhenfeng.* Landslide risk evaluation and its causative factors in typical mountain environment of China: a case study of Yunfu City, Ecological Indicators. 2023. Vol. 154 id. 110821, DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.110821

## REFERENCES

1. Duong V. B. Landslide hazard assessment of natural-technical systems at different hierarchical levels. Dissertation for the degree of Candidate of Geological and Mineralogical Sciences. Moscow, 2023. 218 p. (In Russ.).
2. Duong V.B, Fomenko I.K., Nguyen T.K., et al. Application of GIS-based bivariate statistical methods for landslide potential assessment in Sapa, Vietnam. News of Tomsk Polytechnic University [News TPU]. Engineering of Georesources. 2022.

- Vol. 333. No. 4. P. 126—140 (In Russ.). DOI: 10.18799/24131830/2022/4/3473
3. Duong Van Binh, Fomenko I.K., Nguyen Trung Kien, Zerkal O.V., Sirotkina O.N., Vu Hong Dang. Landslide hazard assessment in Tinh Tuc, Cao Bang province, Vietnam using Frequency ratio and combined Fractal-frequency method. *Journal of Mining Institute*. 2024. Vol. 268. P. 613—624 (In Russ.). EDN: HTDPXJ
  4. Nguyen Quang Huy, et al. Risk Assessment Forecast of Landslide in Nam Dan Areas, Xin Man District, Ha Giang province. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*. 2016, Vol. 4. No. 4. P. 80—88 (In Russ.).
  5. Nguyen Tiep Tan, Nguyen Hong Chuong, Do Van Vung. Application of GIS and Statistical Index Method in Landslide Susceptibility Mapping in the Bac Kan City. *Journal Science and Technology Water Resources*. 2020. No. 62. P. 1—12 (In Russ.).
  6. Nguyen Trong Nghia. Assessment of disaster situation in Son La province, Vietnam, for the period 2011—2024. XVII International Scientific and Practical Conference “New Ideas in Earth Sciences”. April 3—4, 2025. Vol. 5. P. 210—213. MGRI. (In Russ.).
  7. VnExpress News. 2024. URL: <https://vnexpress.net/xuat-hien-cung-sat-truot-thu-hai-o-ta-xua-4782702.html> (accessed: 08.04.2025) (In Russ.).
  8. Nhan dan News, 2024. URL: <https://nhandan.vn/mua-lon-gay-sat-lo-nhieu-tuyen-duong-o-son-la-post832516.html> (accessed: 08.04.2025) (In Russ.).
  9. Pendin V.V., Fomenko I.K. Methodology for landslide hazard assessment and prediction. Moscow: LENAND, 2015. 320 p. (In Russ.).
  10. Statistical Office of Son La province. Report on the socio-economic situation of Son La province in December and for the whole of 2024. 2025. 56 p. (In Russ.). URL: <https://thongkesonla.nso.gov.vn/tin-tuc/22>(accessed: 20.4.2025).
  11. Tran Thanh Ha. An Analysis of the relationship between Geomorphological characteristics and landslides in Lao Cai province. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*. 2013. Vol. 29. No. 3. P. 35—44 (In Russ.).
  12. Fomenko I.K., Duong V.B., Nguyen T.K., Zerkal, O.V., Gorobtsov D.N., Sirotkina O.N. Landslide hazard assessment of natural and technical system at the elementary level: a case study of the landslide slope in Trung Chai commune (Sapa, Vietnam). *GeoRisk World*. 2022. Vol. 16. No. 1. P. 56—65 (In Russ.). DOI: 10.25296/1997-8669-2022-16-1-56-65
  13. Ha Thi Hang, Pham Duy Hoa, et al. Landslide susceptibility mapping along National Highway-6, Hoa Binh province, Vietnam using Frequency ratio model and GIS. *International Journal of GEOMATE*. 2021, Vol. 21. Iss. 85. P. 84—90 (In Russ.). DOI: 10.21660/2021.85.j2222
  14. Ha Van Hanh, et al. Landslide susceptibility assessment in the mountainous region of Thua Thien Hue province using the combination of GIS technique and multi-criteria analysis. *Journal of Science and Technology — University of Sciences, Hue University*. 2020. No. 2. P. 135—148 (In Russ.).
  15. Catani F., Lagomarsino D., Segoni S., Tofani V. Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2013. Vol. 13. Iss. 11. P. 2815—2831, DOI: 10.5194/nhess-13-2815-2013
  16. Corominas J., van Westen C., Frattini P., et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2014. Vol. 73. Iss. 2, P. 209—263. DOI: 10.1007/s10064-013-0538-8
  17. Girma F, Raguvanshi TK, Hailemariam T. Landslide hazard zonation in Adda Berga District, Central Ethiopia- GIS based statistical approach. *Journal of Geomatics*, 2015. Vol. 9. No. 1. P. 25—38.
  18. Lee S, Pradhan B. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*. 2007. Vol. 4. P. 33—41. DOI: 10.1007/s10346-006-0047-y
  19. Li L., Lan H., Guo, C., et al. A modified frequency ratio method for landslide susceptibility assessment. *Landslides*. 2017. T. 14. P. 727—741. DOI: 10.1007/s10346-016-0771-x
  20. Mandal S.P., Chakrabarty A., Maity P. Comparative evaluation of information value and frequency ratio in landslide susceptibility analysis along national highways of Sikkim, Himalaya. *Spatial Information Research*. 2018. DOI: 10.1007/s41324-017-0160-0
  21. Meten M., PrakashBhandary N., Yatabe R. Effect of Landslide Factor Combinations on the Prediction Accuracy of Landslide Susceptibility Maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia. 2015. *Geoenvironmental disasters 2*. P. 9, DOI: 10.1186/s40677-015-0016-7
  22. Nohani E, Moharrami M, Sharafi S, Khosravi K, Pradhan B, Pham BT, Lee S, Melesse AM. Landslide susceptibility mapping using different GIS-based bivariate models. 2019. *Water* 11. No. 7. P. 1402. DOI: 10.3390/w11071402
  23. Pradhan B. Landslide Susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*. 2010. Vol. 38. P. 301—320. DOI: 10.1007/s12524-010-0020-z
  24. Wu X., Benjamin Zhan F., Zhang K., et al. Application of a two-step cluster analysis and the Apriori algorithm to classify the deformation states of two typical colluvial landslides in the Three Gorges, China. *Environmental Earth Sciences*. 2016. Vol. 75. P. 146—161. DOI: 10.1007/s12665-015-5022-2.
  25. Wu Wenfu, Guo Songjing, Shao Zhenfeng. Landslide risk evaluation and its causative factors in typical mountain environment of China: a case study of Yunfu City, *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 154 id. 110821, DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.110821

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Нгиа Н.Ч. — внес вклад и подготовил текст статьи, провел сбор, обработку и анализ данных, выполнил перевод на английский язык, написание и редактирование текста, утверждение версии статьи для публикации и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Экзарьян В.Н. — внес вклад в разработку концепции статьи, добавил и отредактировал текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Бинь З.В. — внес вклад в разработку концепции статьи, дополнение и редактирование содержания, обработку и анализ данных, редактирование карт, отредактировал текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Nguyen T. Nghia — contributed to preparation of the text of the article, the collection, processing and analysis, translated into English, participated in writing and editing the manuscript, approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Vladimir N. Ekzaryan — contributed to the development of the concept of the article, added and edited the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Duong V. Binh — contributed to the development of the concept of the article, added and edited the text of the article, performed data processing and analysis, edited the maps, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Нгуен Чонг Нгиа\*** — аспирант кафедры экологии и природопользования Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [Nghiant.vioit@mail.ru](mailto:Nghiant.vioit@mail.ru)  
тел.: +7 (925) 034-28-60  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8565-1632>

**Экзарьян Владимир Нишанович** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный эколог России, заведующий кафедрой экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [ekzaryanvn@mgi.ru](mailto:ekzaryanvn@mgi.ru)  
тел.: +7 (967) 241-53-48  
SPIN-код: 7968-3231  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>

**Зыонг Ван Бинь** — кандидат геолого-минералогических наук, преподаватель кафедры инженерной геологии факультета наук о Земле и геологической инженерии Ханойского горно-геологического университета, г. Ханой, Вьетнам.

18, Вьен ул., г. Ханой 100000, Вьетнам  
e-mail: [duongvanbinh@humg.edu.vn](mailto:duongvanbinh@humg.edu.vn)  
тел.: (+84) 904546259  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8612-2943>

**Nguyen Trong Nghia\*** — postgraduate student of the Department of Ecology and Nature Management of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [Nghiant.vioit@mail.ru](mailto:Nghiant.vioit@mail.ru)  
tel.: +7 (925) 034-28-60  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8565-1632>

**Vladimir N. Ekzaryan** — Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Professor, Honored Ecologist of Russia, Head of the Department of Ecology and Nature Management of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [ekzaryanvn@mgi.ru](mailto:ekzaryanvn@mgi.ru)  
tel.: +7 (967) 241-53-48  
SPIN: 7968-3231  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>

**Duong Van Binh** — Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Lecturer, Department of Engineering Geology, Faculty of Geosciences and Geoengineering, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam.

18, Vien str., Hanoi 100000, Vietnam  
e-mail: [duongvanbinh@humg.edu.vn](mailto:duongvanbinh@humg.edu.vn)  
tel.: (+84) 904546259  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8612-2943>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author