

Нгуен Ч.К., Фоменко И.К., Пендин В.В., Горобцов Д.Н.,
Никulina М.Е. (МГРИ-РГГРУ)

ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЛАОКАЙ

*Рассмотрены оползневые процессы, развитые на территории северо-западной части провинции Лаокай (Вьетнам). В качестве исходных данных были использованы материалы дистанционного зондирования региона северо-западный Лаокай в сочетании с материалами традиционных полевых исследований. **Ключевые слова:** оползневые процессы, инженерно-геологические условия, условия оползнеобразования.*

Nguyen Ch.K., Fomenko I.K., Pendin V.V., Gorobtsov D.N.,
Nikulina E.M. (MGRI-RGGRU)

FACTORS OF LANDSLIDES DEVELOPMENT IN THE LAOCAI PROVINCE NORTH-WESTERN PART

*Landslides development in the LaoCai province north-western part is described in this article. The materials of remote sounding the LaoCai province in combination with traditional field investigation materials were used as input data. **Keywords:** landslides, engineering and geological conditions, conditions of landslides development.*

Введение

Целью данной статьи является определение условий оползнеобразования, под которыми, вслед за Е.П. Емельяновой понимается вся совокупность природных и антропогенных факторов, нарушающих равновесие масс горных пород [2].

Оползни во Вьетнаме являются наиболее широко распространенным опасным геологическим процессом и встречаются во всех горных районах страны. Вместе с тем, территория северо-западной части провинции Лаокай считается одной из наиболее подверженных оползневому процессам, где они стали причиной существенных социальных и экономических потерь [9]. С 2005 по 2015 г. в этом районе был идентифицирован 641 активный оползень. По механизму развития большинство из них относятся к оползням скольжения. Анализ полученных данных показал, что самый большой оползень занимает площадь около 65,5 тыс. м², минимальный размер оползневых проявлений составляет 417 м². Наиболее крупные оползни (> 10 000 м²) составляют 11 % от общего числа выявленных оползней, на средние (1 000–10 000 м²) приходится 65,6 %, а на оползни с размерами менее 1 000 м² — 23,4 % [11]. Существенные экономические и социальные потери, связанные с активизацией оползневых процессов, привели к пониманию необходимости их системного изучения.

Сведения о районе исследований

Район исследования расположен в северо-западной части провинции Лаокай (север Вьетнама) на границе с Китаем и удален от г. Ханой на 300 км [8]. Он занимает площадь около 1,950 км² и образован тремя административными единицами: городом Лаокай и округами Шапа и Батсат.

Провинция Лаокай обладает значительными перспективами экономического развития. Однако успешное освоение рассматриваемой территории ограничивается сложными инженерно-геологическими условиями и в первую очередь активным проявлением оползневых процессов [6, 9].

Геологическое строение, тектонические особенности и сейсмическая активность

Геологическое строение района исследований

Северная часть Вьетнама образована следующими крупными тектоническими единицами — Катазиатской складчатой системой, подвижной частью Южно-Китайской платформы и Восточно-Индокитайской (Северо-Вьетнамской) складчатой системой. Особенности геологического строения позволяют подразделить территорию на две области.

Северо-восточный Бакбо относится к подвижной окраине Южно-Китайской платформы и юго-западному окончанию Катазиатской системы. Образование древнего фундамента платформы (гнейсы, кварцы, кристаллические сланцы, мраморы, гранитоиды) перекрыты верхнепротерозойскими и палеозойскими терригенно-карбонатными отложениями. Вдоль северо-восточного побережья залива Бакбо (юго-запад Катазиатской системы) терригенно-эффузивные отложения кембрия, ордовика и силура сильно смяты с образованием складчатого комплекса нижнего палеозоя. Мезозойские вулканогенно-осадочные и терригенные толщи выполняют отдельные прогибы и впадины. Позднепалеозойские и мезозойские интрузии кислого и основного составов связаны с разломами.

Северо-западный Бакбо характеризуется особыми пермо-триасовыми офиолитовыми образованиями, превращенными в глыбово-складчатую зону Индосинийского комплекса. В целом на изучаемой территории преобладают геологические комплексы, сложенные магматическими и метаморфическими породами (слагают 86,8 % от общей площади исследования) [15].

Огромное влияние на развитие оползневых процессов оказывают особенности физико-механических свойств горных пород, слагающих склоны [4, 12]. Понимание закономерностей формирования оползнеопасных отложений является необходимым условием при выполнении оценки оползневой опасности.

Главным фактором, определяющим мощность оползнеопасных отложений для исследуемого региона, являются процессы выветривания.

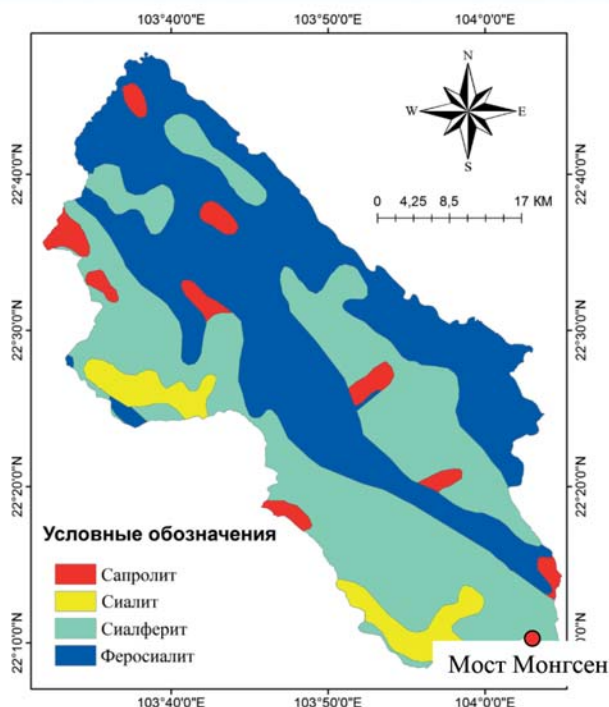


Рис. 1. Карта типов кор выветривания в районе северо-западный Лаокай

Процесс выветривания горных пород в условиях тропического климата северо-западного Вьетнама в целом и региона северо-западный Лаокай, в частности, существенно отличается от выветривания горных пород в умеренной полосе. В условиях умеренного климата под действием изменения температур с переходом их через ноль происходит главным образом физическое разрушение пород, при этом мощность коры выветривания, как правило, не превышает глубины сезонных колебаний температур. В условиях тропического климата изменение горных пород при выветривании происходит за счет химических процессов, развитию которых благоприятствуют климатические условия.

Характер пространственной изменчивости мощности коры выветривания определяется рядом факторов: условиями формирования, составом и структурно-текстурными особенностями пород; раздробленностью последних в пределах зон тектонических нарушений; ландшафтом местности, от которого зависят условия инфильтрации поверхностных вод и поверхностного сноса материала. Одним из основ-

ных факторов, определяющих мощность выветрелых пород, является исходный состав материнских пород [1].

С одной стороны, степень выветрелости пород определяет мощность потенциально оползневых отложений, с другой — мощность и минеральный состав коры выветривания определяются ее типом. В районе исследования распространены следующие типы кор выветривания (рис. 1):

- кора выветривания ферросиалитовая: каолинит-гётит-монтмориллонитовая;
- кора выветривания сиалферитовая: гётит-каолинит-гидрослюдисто-монтмориллонитовая;
- кора выветривания сиалитовая: каолинит-гидрослюдистая;
- кора выветривания сапролитовая: продукт незавершенного выветривания, состоящая из химически неизменных или слабо измененных обломков исходной породы.

Тектонические особенности и сейсмическая активность

Тектоническая зона реки Красная (несколько южнее рассматриваемой территории) располагается в одной из крупнейших тектонических зон Юго-Восточной Азии протяженностью более 900 км, уходящая под Ханойский неогеновый прогиб [14]. Она расположена между двумя глубинными разломами — «река Красная» на северо-западе и «река Чай» на юго-востоке и является границей между Южно-Китайской платформой и Индокитаем.

На основе анализа цифровой модели рельефа в районе северо-западного Лаокая можно выделить две системы разломов:

- первая с направлением простирания северо-запад — юго-восток;
- вторая с направлением простирания северо-восток — юго-запад.

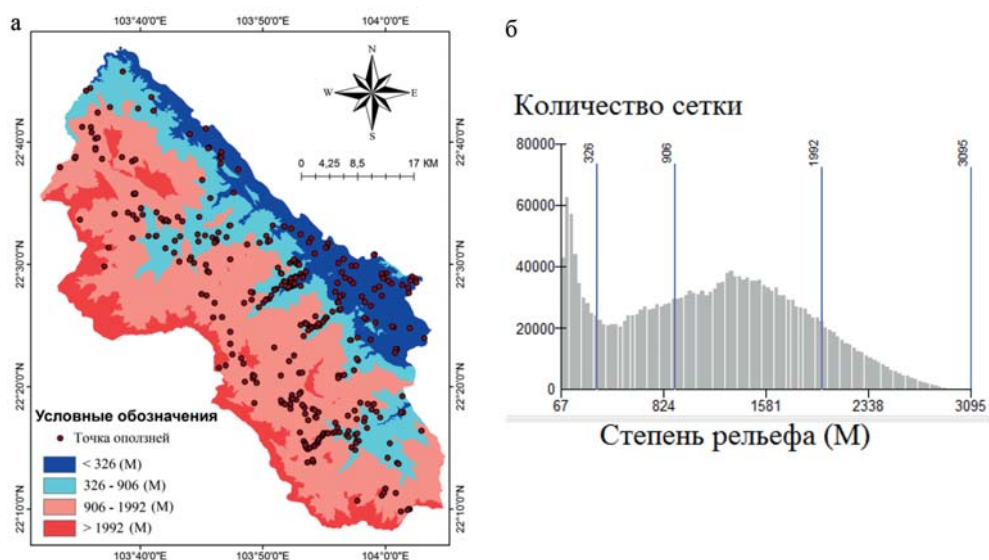


Рис. 2. а) совмещенная карта уровней рельефа и проявлений оползневых процессов, б) график распределения уровней рельефа для классификации по методу естественных границ района северо-западный Лаокай

Зоны с высокой оползневой опасностью приурочены к массивам грунтов, сложенных глинистыми сланцами, песчаниками и алевролитами, находящимися в зоне влияния активных тектонических разломов. Основными факторами активизации оползневых процессов являются низкие прочностные свойства грунтовых массивов, наличие разрывных нарушений, а также высокая энергия рельефа.

Сейсмичность северо-западного Вьетнама изучалась многими научно-исследовательскими коллективами [5, 14]. Существует представление о связи сейсмичности с крупномасштабными сдвиговыми перемещениями литосферных плит по разломам реки Красной [14]. Анализ информации по сейсмической активности исследуемой территории показывает, что максимальная сила землетрясений достигает магнитуды 7 баллов по шкале Рихтера.

Геоморфологические условия

Рельеф рассматриваемой территории является сильно расчлененным с уклонами от 15 до 35°. Абсолютные отметки высот изменяются от 200 м в долине р. Тхао до 3000 м и выше в пределах горного хребта Хоанг Льен Сын. Расположенная в пределах этого хребта гора Фансипан (3143 м) считается высочайшей точкой на п-ове Индокитай.

В данном исследовании *уровни рельефа* были определены с использованием классификации по методу естественных границ (рис. 2). В результате были выделены следующие области (высота местности уменьшается с юго-запада на северо-восток):

- с отметками высот менее 326 м. Данная область занимает 22,64 % исследуемой территории;
- с отметками высот от 326 до 906 м. Данная область занимает 28,4 % исследуемой территории;
- с отметками высот от 906 до 1992 м. Данная область занимает 39,43 % исследуемой территории;
- с отметками высот более 1992 м. Данная область занимает 9,53 % исследуемой территории, при этом следует отметить отсутствие проявлений оползневых процессов в данной области.

Экспозиция склона — одна из морфометрических характеристик рельефа, характеризующая пространственную ориентацию направления уклона. Она влияет на влажность грунтов, степень их выветрелости, преобладающий на склоне тип растительности, который определяет количество осадков и солнечного излучения, попадающих на склон.

Анализ совмещенной карты экспозиции склона и проявлений оползневых процессов (рис. 3) показывает, что оползни происходят главным образом на востоке, северо-востоке и юго-востоке от исследуемого района.

Таблица 1
Характеристика крутизны склонов района северо-западного Лаокай

Крутизна склонов (градусы)	<15	382,1883	Северо-запад, северо-восток
	15–35	1207,622	Северо-запад, юго-запад, северо-восток, юго-восток
	>35	360,4799	Северо-запад, юго-запад, северо-восток, юго-восток

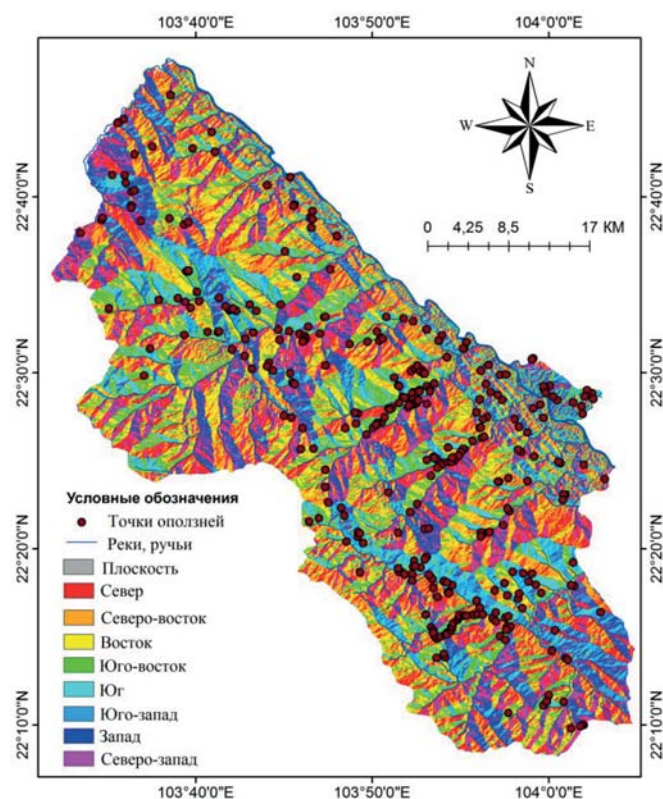


Рис. 3. Совмещенная карта экспозиции склона и проявлений оползневых процессов

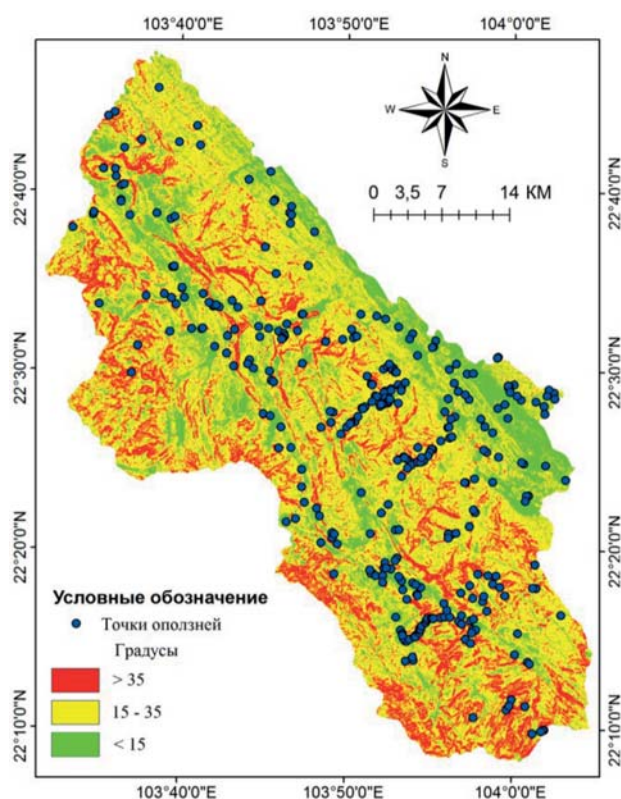


Рис. 4. Совмещенная карта уклонов и проявлений оползневых процессов

Таблица 2
Характеристика горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа района северо-западный Лаокай

Геоморфологические условия	Классы	Площадь (км ²)	Район
Горизонтальная расчлененность рельефа (км/км ²)	< 0,3	546,25	Северо-запад, юго-запад
	0,3–0,78	1207,618	Северо-запад, юго-запад, северо-восток, юго-восток
	>0,78	196,426	Юго-запад, северо-восток, юго-восток
	Сумма	1950	
Вертикальная расчлененность рельефа (км/км ²)	<600	287,698	Северо-восток, восток
	600–1250	1436,242	Северо-запад, юго-запад, северо-восток, юго-восток
	>1250	226,362	Север, юго-запад
	Сумма	1950	

Одним из важнейших факторов развития оползневой процесса является крутизна склонов. Характеристика крутизны склонов исследуемой территории приведена в табл. 1. Анализ совмещенной карты углов наклона склонов и проявлений оползневых процессов показывает, что оползни происходят главным образом в районах со склонами крутизной менее 35° (рис. 4).

Горизонтальная расчлененность — плотность всех линейных эрозионных форм постоянных и временных водотоков. Она может быть определена как суммарная длина линейной эрозии на единицу площади.

Вертикальная расчлененность рельефа определяется по разности высот водоразделов к глубине эрозионных врезов [7].

Характеристика вертикальной и горизонтальной расчлененности рельефа для исследуемой территории приведена в табл. 2 и показана на рис. 5.

Гидрогеологические условия

По условиям залегания, составу вмещающих пород и гидравлическим связям в районе севера Вьетнама выделяются следующие основные водоносные комплексы [9]:

1. Малообводненные массивы грунтов.
2. Среднеобводненные массивы грунтов.
3. Сильнообводненные массивы грунтов.
4. Очень сильнообводненные массивы грунтов.

В районе северо-западного Лаокая распространены мало-, средне- и сильнообводненные массивы грунтов (рис. 6).

Наибольшее влияние на активизацию оползневой процесса на рассматриваемой территории оказывает водоносный горизонт в элювиально-делювиальных отложениях.

Климатические условия

Годовое количество осадков в предгорьях хр. Хоанг Льен Сын составляет 2000–3600 мм, при этом 80–85 % от их общего количества приходится на летний период. Осадки неравномерно распределены в пространстве и времени: в горах, на высоте более 1000 м количество осадков превышает 2400 мм в год, в районах речных долин среднее количество осадков составляет 2000 мм в год (рис. 7) [9].

В процессе исследований отмечено, что периоды образования новых оползней совпадают с периодами дождей. Это в первую очередь связано с изменением состояния и свойств грунтов, слагающих склоны в процессе их избыточного увлажнения, а также с подъемом уровня грунтовых вод и, как следствие, с возрастанием порового давления. Количество выпадающих осадков также оказывает огромное влияние на гидрологический режим водоемов и рек, который, в свою очередь, определяет интенсивность эрозионных процессов, являющихся одним из основных факторов активизации оползней на береговых участках.

Гидрография

В районе северо-западного Лаокая длина рек и ручьев составляет 856,29 км; плотность речной сети достигает 0,44 км/км². Самой крупной рекой с площадью 1,547 км², длиной около 70 км в исследуемом районе является р. Красная (рис. 8).

Анализ рис. 8 позволяет сделать вывод о том, что большинство проявлений оползневых процессов приурочено к речным долинам. Это доказывает, что гидрологическая система является одним из важных

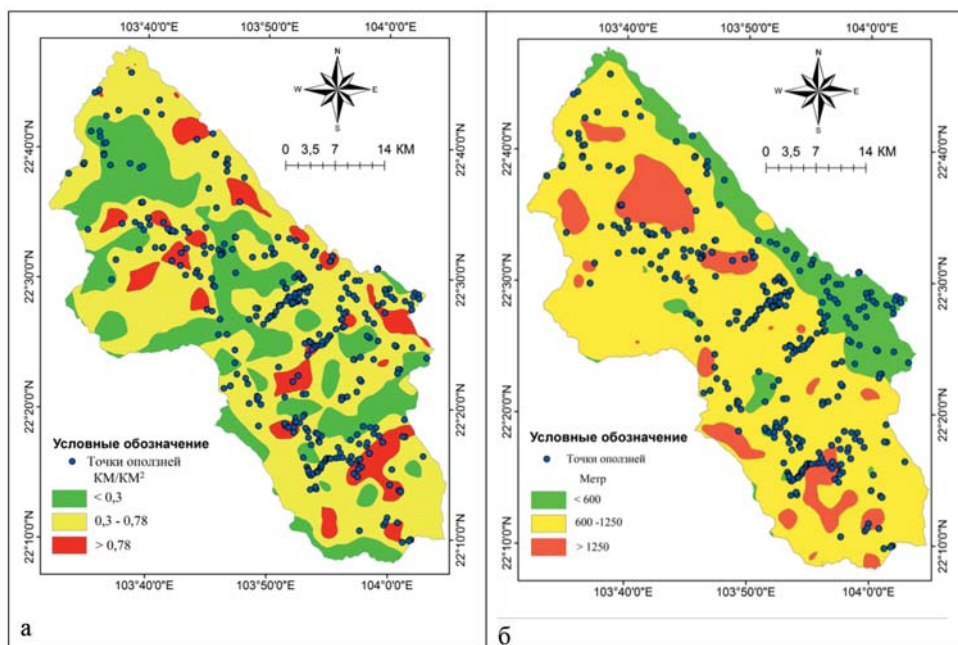


Рис. 5. Совмещенные карты: а — горизонтальной расчлененности рельефа; б — вертикальной расчлененности рельефа и проявлений оползневых процессов в районе северо-западный Лаокай

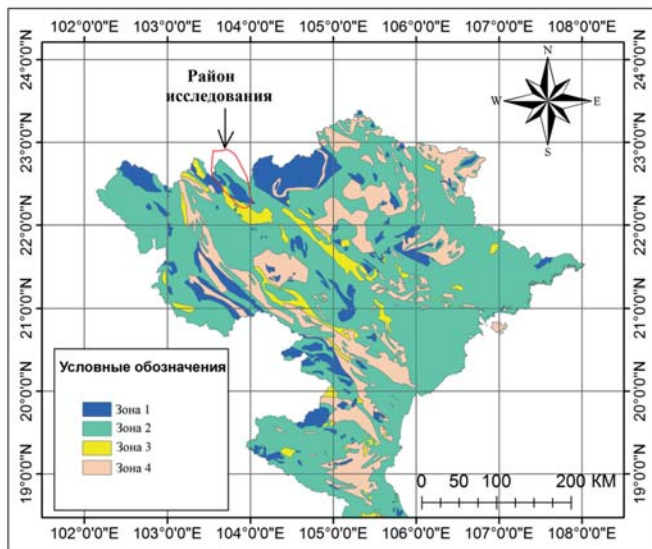


Рис. 6. Карта обводненных массивов грунтов в районе севера Вьетнама

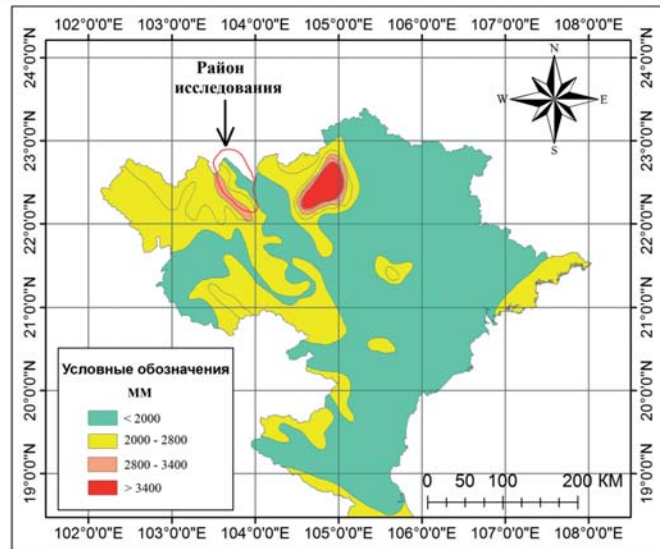


Рис. 7. Карта среднегодового количества осадков в районе севера Вьетнама [9]

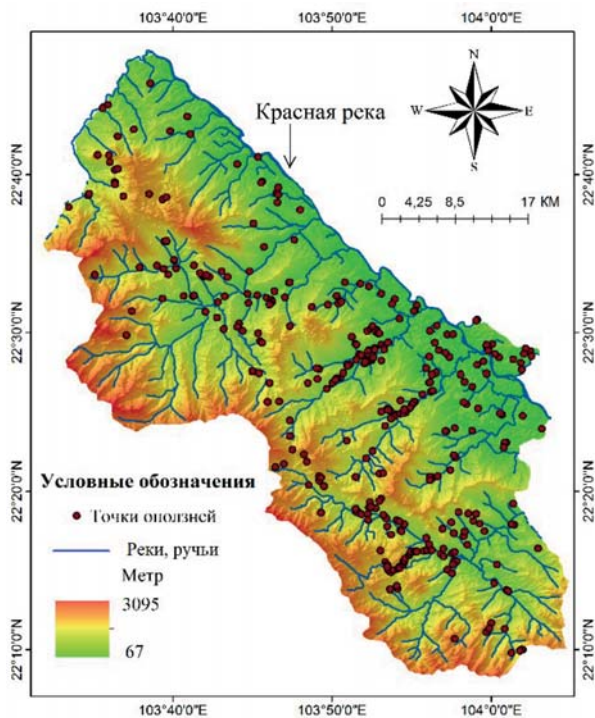


Рис. 8. Совмещенная карта речной сети и проявлений оползневых процессов в районе северо-западный Лаокай

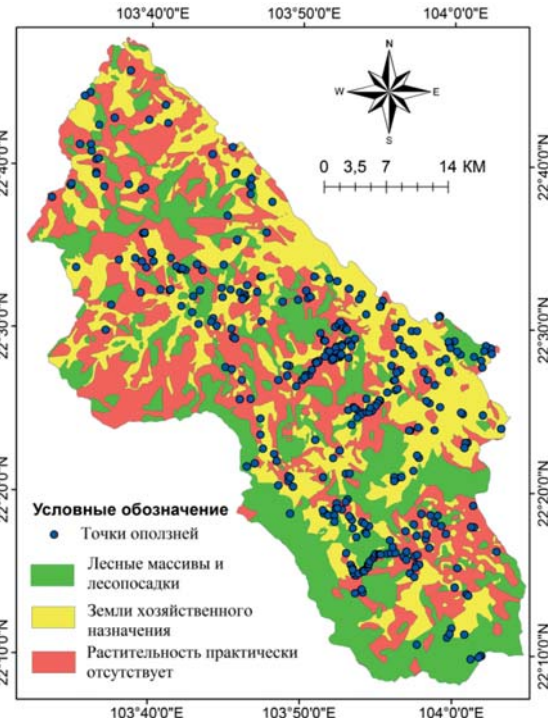


Рис. 9. Карта растительности района северо-западный Лаокай

факторов активизации оползневой процесса в районе исследования.

Растительность

В рассматриваемом районе были выделены следующие типы растительности (рис. 9):

- лесные массивы и лесопосадки;
- земли хозяйственного назначения;
- древесная растительность практически отсутствует.

Растительный покров увеличивает устойчивость склонов за счет армирующего эффекта корневой системы на грунты, а также ограничивает развитие эрозийных процессов и контролирует избыточное переувлажнение грунтов на склоне.

Анализ рис. 9 показывает, что в лесных массивах и лесопосадках оползневой процесс менее активен, в сравнении с землями хозяйственного освоения и участками лишенными древесной растительности, что является доказательством значимости данного параметра при оценке оползневой опасности.

Хозяйственное освоение территории и техногенное воздействие

Хозяйственное освоение территории изначально определяется естественными условиями жизни и хозяйственной деятельностью людей, т.е. экологическим и ресурсным потенциалом. Оползневые процессы с одной стороны существенно снижают экологический

Таблица 3
Расчитанные веса фактора оползнеобразования W_i

Фактор	Стандартное отклонение (σ_i)	$1/\sigma_i$	Уровень значимости (I)	Вес W_i
Литологические разности грунтов	0,060	16,67	12	0,300
Гидрогеологические условия	0,076	13,16	8	0,200
Количество осадков	0,081	12,35	7	0,175
Крутизна склонов	0,110	9,09	4	0,100
Тип растительности	0,119	8,40	3	0,075
Расстояние от активных разломов	0,123	8,13	3	0,075
Вертикальное расчленение рельефа	0,140	7,14	2	0,050
Горизонтальное расчленение рельефа	0,159	6,29	1	0,025

потенциал при освоении территорий, с другой стороны возрастающая техногенная нагрузка при интенсивном хозяйственном освоении является фактором активизации оползневой опасности.

Северо-западный Лаокай может быть разделен на три зоны с различным уровнем хозяйственного освоения и, как следствие, различным уровнем техногенной нагрузки:

Первая зона: с плотностью населения менее 50 чел./км². Она характеризуется низким экономическим развитием и наименьшим техногенным воздействием.

Вторая зона: с плотностью населения от 50 до 200 чел./км². Она характеризуется средним экономическим развитием и умеренным техногенным воздействием.

Третья зона: с плотностью населения более 200 чел./км². Это области с быстрорастущей экономикой и сильным техногенным воздействием.

Оценка значимости факторов развития оползневой опасности

С этой целью был использован следующий подход [3, 10, 13], основным критерием которого для определения значимости фактора является форма функции распределения выявленных оползней по информационным классам рассматриваемого фактора. Отметим, что кривая распределения строится по количеству проявлений оползневых процессов в каждом классе фактора (например, в факторе «геологическое строение» выделено 3 класса, в каждом из которых выявлено определенное количество проявлений оползневых процессов).

Таким образом, стандартное отклонение функции распределения выявленных оползней по информационным классам рассматриваемого фактора является основой для определения I — уровня значимости. Расчитанные веса факторов оползнеобразования для исследуемой территории приведены в табл. 3.

Заключение

Разработка планов экономического развития провинции Лаокай потребовала пересмотра подходов к оценке оползневой опасности на исследуемой терри-

тории. Исследование оползнеобразующих факторов и выявление взаимосвязей между ними дает возможность построить модель оценки оползневой опасности. Основными параметрами оползневой опасности, определяющими активизацию оползней района северо-западный Лаокай являются:

- крутизна склонов;
- горизонтальное расчленение рельефа;
- вертикальное расчленение рельефа;
- литологические разности грунтов;
- гидрогеологические условия;
- расстояние от активных разломов;
- количество осадков;
- тип растительности.

В результате исследования была выполнена оценка значимости выявленных факторов оползнеобразования для района северо-западный Лаокай.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарик, Г.К. Инженерная геодинамика / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. — М.: КДУ, 2015. — 470 с.
2. Емельянова, Е.П. Основные закономерности оползневых процессов / Е.П. Емельянова. — М.: Недра, 1972. — 308 с.
3. Зьонг, М.Х., Региональный прогноз оползневой опасности для района Ха Лонг — Кам Фа на северо-востоке Вьетнама / М.Х. Зьонг, И.К. Фоменко, В.В. Пендин // Инженерная геология. — 2013. — № 1. — С. 46–54.
4. Ломтадзе, В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В.Д. Ломтадзе. — Л.: Недра, 1977. — 480 с.
5. Ле, В.З. Новые решения проблемы сейсмичности Вьетнама: Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. — М., 2011. — 24 с.
6. Ле, К.Х. Исследование, оценка, районирование и прогноз оползневой опасности в горах Вьетнама. — Ханой: Государственный проект, отчет о НИР, 2015. — 254 с. (на вьетнамском языке).
7. Методы изучения рельефа — признаки развития новейших поднятий, новейших прогибов и разрывных нарушений. [http://science-conspect.org/?content=2347].
8. Нгуен, Ч.К. Применение метода анализа иерархий при региональной оценке оползневой опасности (на примере района северо-западный Лаокай, Вьетнам) / Ч.К. Нгуен, И.К. Фоменко, В.В. Пендин, К.Т. Нгуен // Геоинформатика. — 2017. — № 2. — С. 53–66.
9. Нгуен, Т.И. Оценка оползней и сейсмов в некоторых горных районах Вьетнама и рекомендации противооползневых мероприятий / Т.И. Нгуен. — Ханой: Государственный проект, отчет о НИР, 2006. — 134 с. (на вьетнамском языке).
10. Пендин, В.В. Методология оценки и прогноза оползневой опасности / В.В. Пендин, И.К. Фоменко. — М.: ЛЕНАНД, 2015. — 320 с.
11. Bui, T.D. 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 / T.D. Bui, A.T. Tran, D.N. Hoang, Q.T. Nguyen, B.D. Nguyen, V.L. Ngo, P. Biswajeet // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. — 2016. — P. 1–12.
12. Chacon, J. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems [Journal] / J. Chacon, C. Irigaray, T. Fernandez, R. Hamdouni // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. — 2006. — № 4. — Vol. 65. — P. 341–411.
13. Corominas, J., 2014. International IAEG Congress. «Engineering Geology for Society and Territory». / J. Corominas, H. Einstein, T. Davies, A. Strom, G. Zuccaro, F. Nadim, T. Verdell. / Glossary of terms on Landslide Hazard and Risk. 2. — P. 1775–1780. — Torino: Springer International Publishing.
14. Late Cenozoic tectonics of the Red River Fault Zone, Vietnam, in the light of geomorphics studies / W. Zuchiewicz, N.Q. Cuong, J. Zasadni, N.T. Yem // Journal of Geodynamics. — 2013. — Vol. 69. — P. 11–30.
15. Stratigraphic units of Viet Nam / Edited by Tong-Dzuy Thanh, Vu Khuc. — Hanoi: Vietnam National University Publisher, 2011. — 553 p.

© Коллектив авторов, 2019

Нгуен Чунг Киен // kien.mgri@gmail.com
 Фоменко Игорь Константинович // ifolga@gmail.com
 Пендин Вадим Владимирович // pendin@yandex.ru
 Горобцов Денис Николаевич // dngorobtsov@mail.ru
 Никулина Мария Евгеньевна // nikulinamari93@mail.ru