

# РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ РАЙОНА ХА ЛОНГ — КАМ ФА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ВЬЕТНАМА

## REGIONAL FORECAST OF LANDSLIDE HAZARD IN THE REGION OF THE HALONG AND CAM PHA CITIES IN THE NORTH-EAST OF VIETNAM

### **ЗЫОНГ М.Х.**

Аспирант Российского государственного геологоразведочного университета (МГРИ-РГГРУ) им. С. Орджоникидзе, г. Москва, duongmanhhung99@yahoo.com.vn

### **ФОМЕНКО И.К.**

Докторант МГРИ-РГГРУ, к.г.-м.н., г. Москва, ifolga@gmail.com

### **ПЕНДИН В.В.**

Заведующий кафедрой инженерной геологии и декан гидрогеологического факультета МГРИ-РГГРУ, д.г.-м.н., профессор, г. Москва, pendin@yandex.ru

### **DUONG M.H.**

A postgraduate student of Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, duongmanhhung99@yahoo.com.vn

### **FOMENKO I.K.**

A doctoral candidate of Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, candidate of science (Geology and Mineralogy), Moscow, ifolga@gmail.com

### **PENDIN V.V.**

The head of the engineering geology department and the dean of the hydrogeology faculty of Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, doctor of science (Geology and Mineralogy), professor, Moscow, pendin@yandex.ru

### **Ключевые слова:**

оползень; оползневая опасность; количественный региональный прогноз; оползневые процессы; восприимчивость территории; дистанционное зондирование; ГИС-технологии; индекс стабильности склона.

### **Key words:**

landslide; landslide hazard; quantitative regional forecast; landslide processes; susceptibility of the territory; remote sensing; GIS technologies; slope stability index.

### **Аннотация**

Для оценки региональной оползневой опасности для района Ха Лонг — Кам Фа на северо-востоке Вьетнама авторами статьи применены методы, базирующиеся на ГИС-технологиях. В качестве информационной основы для прогнозирования развития оползневых процессов на этой территории использованы данные дистанционного зондирования, дополненные материалами полевых работ. Установлено, что самой высокой восприимчивостью к оползневому процессам обладают породы осадочного комплекса триасового возраста (толща Хон-Гай) и четвертичные отложения. Полученная оценка региональной оползневой опасности имеет высокую степень надежности и может быть рекомендована к применению при разработке планов комплексного освоения исследованной территории.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Регион Ха Лонг — Кам Фа в силу своего географического расположения на северо-востоке Вьетнама является чрезвычайно выгодной в экономическом плане территорией: с одной стороны, это давно известный туристический район, с другой — это центр угольной промышленности страны. Однако его успешное освоение ограничивается сложными инженерно-геологическими условиями территории, в первую очередь активными проявлениями оползневых процессов. По этой причине достоверный прогноз оползневой опасности чрезвычайно важен для устойчивого развития данного региона.

Оценка степени риска активизации оползней — одна из важнейших задач инженерно-геологических исследований. Существующие методики этой оценки (А.П. Павлова, Ф.П. Саваренского, Н.Н. Маслова, А.М. Дранникова, И.В. Попова, Г.С. Золотарева, Г.Л. Фисенко, М.К. Разаевой, К.А. Гулакяна, В.В. Кюнтцеля, Е.П. Емельяновой, К. Терцаги, С. Шарпа, Д. Варнеса [1, 3, 5, 8]) можно разделить на качественные и количественные.

При разработке планов комплексного развития рассматриваемого района особое значение приобретает количественный региональный прогноз оползневой опасности.

Региональная количественная оценка устойчивости склонов выполняется на основе деления изучаемой территории на группы участков (зон), различающихся между собой по природным условиям формирования оползней, а также по интенсивности и характеру влияния на него инженерно-хозяйственной деятельности. При этом в обя-

### **Abstract**

The authors of the article apply methods based on GIS technologies to assess the regional landslide hazard of the region of Ha Long — Cam Pha in the north-east of Vietnam. To forecast landslide process development in this area they use remote sensing data supplemented by field work materials as an information basis. The authors find out that the Triassic sedimentary rocks (the Hon Gai formation) and Quaternary sediments have the highest susceptibility to landslide processes. The obtained assessment of the regional landslide hazard has high reliability degree and can be recommended to be used for designing complex development plans of the territory.



зательном порядке должны учитываться: основные литолого-генетические комплексы пород, слагающие склоны; интенсивность основных природных оползнеобразующих процессов; степень обводненности и крутизна склонов [8].

При классическом подходе региональная оценка устойчивости склонов выполняется путем определения показателей степени развития оползней по результатам инженерно-геологической съемки [1].

Целью данного исследования являлось получение регионального прогноза оползневой опасности региона Ха Лонг — Кам Фа (северо-восточной части Вьетнама) с использованием современных методик. Для достижения данной цели решались следующие задачи: (1) обоснование и апробация методики региональной оценки оползневой опасности по восприимчивости исследуемой территории к оползневым процессам; (2) использование метода районирования территории по индексу стабильности с целью регионального прогноза оползневой опасности для рассматриваемого района.

В качестве исходных данных для оценки оползневой опасности были использованы данные дистанционного зондирования региона Ха Лонг — Кам Фа в сочетании с материалами традиционных полевых исследований.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время известно достаточно большое количество методических приемов регионального прогнозирования оползневых процессов [1]. Наибольшее применение для решения этой задачи получили методы оползневого потенциала [3] и регрессионного анализа [8], имеющие статистическую основу.

В развитие существующих методик оценки и прогноза региональной оползневой опасности авторами данной статьи были использованы современные подходы, базирующиеся на ГИС-технологиях, — по восприимчивости территории к оползневым процессам и по индексу стабильности.

### Метод регионального прогноза оползневой опасности по восприимчивости территории к оползневым процессам

Оползни — вторичные экзогенные геологические процессы (ЭГП), т.е. процессы, условия которых подготовлены первичными ЭГП [1]. Они являются результатами взаимодействий между различными компонентами геологической среды вследствие их изменений под влиянием внешних воздействий.

Для определения восприимчивости территории к оползневым процессам следует определить основные факторы, обуславливающие их активизацию. Для региона Ха Лонг — Кам Фа на основе данных дистанционного зондирования были выбраны следующие основные факторы:

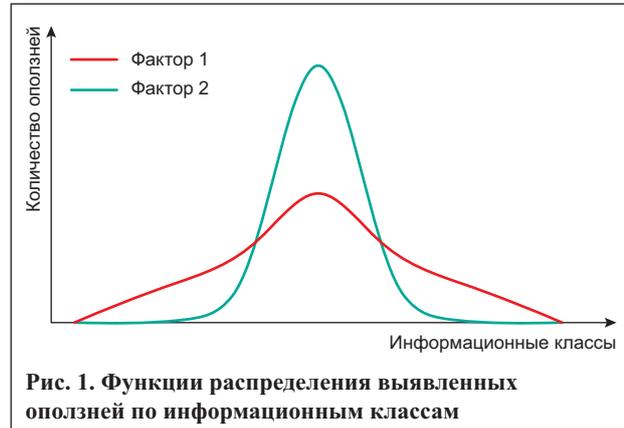


Рис. 1. Функции распределения выявленных оползней по информационным классам

- геологическое строение;
- мощность потенциально оползнеопасных отложений (для скальных и полускальных грунтов — мощность коры выветривания);
- крутизна склонов;
- тип ландшафта.

Основным критерием для того, чтобы считать тот или иной фактор оползнеопасным, является форма функции распределения выявленных оползней по информационным классам рассматриваемого фактора. В качестве примера на рис. 1 показаны две возможные функции такого распределения. Из этого рисунка видно, что фактор 1, имеющий большую дисперсию, является менее оползнеопасным по сравнению с фактором 2. Отметим, что кривая распределения строится по количеству проявлений оползневых процессов в каждом классе фактора (например, в факторе «геологическое строение» выделено 6 классов, в каждом из которых выявлено определенное количество проявлений оползневых процессов).

Стандартное отклонение функции распределения выявленных оползней по информационным классам рассматриваемого фактора является основой для определения его веса  $w_j$  (д.ед.), при этом веса всех ( $n$ ) оцениваемых факторов нормируются таким образом, чтобы их сумма равнялась 1:

$$w_j = 1 - \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j}, \quad (1)$$

где  $\sigma_j$  — стандартное отклонение функции распределения выявленных оползней по информационным классам  $j$ -го фактора.

В таблице 1 приведены веса  $w_j$  оползнеопасных факторов для региона Ха Лонг — Кам Фа. В свою очередь, каждый из этих факторов представлен информационными классами (табл. 2).

Веса  $x_{ij}$  информационных классов нормируются относительно количества выявленных оползней таким образом, чтобы их сумма для каждого фактора составляла 1:

$$x_{ij} = \frac{\text{количество выявленных активных оползней в данном информационном классе}}{\text{количество выявленных активных оползней на всей исследуемой территории}}, \quad (2)$$

Таблица 1

Веса факторов, существенно влияющих на развитие оползней в регионе Ха Лонг — Кам Фа	
Фактор	Вес $w_j$ , д.ед.
Геологическое строение	0,337
Мощность потенциально оползнеопасных отложений (для скальных и полускальных грунтов — мощность коры выветривания)	0,230
Крутизна склонов	0,254
Тип ландшафта	0,180
Сумма	1,000

Методика районирования территории по восприимчивости к оползневым процессам заключается в следующем. Для каждого элементарного участка рассматриваемой территории рассчитывается интегрированный показатель  $H$  по следующей формуле:

$$H = \sum_{i,j=1}^n w_j x_{ij}, \quad (3)$$

где  $H$  — интегрированный показатель восприимчивости к оползневым процессам, безразм.;  $w_j$  — вес фактора  $j$ , д.ед.;  $x_{ij}$  — вес класса  $i$  фактора  $j$ , д.ед.

При построении итоговой карты восприимчивости территории к оползневым процессам важным моментом является выбор разумных уровней классификационного показателя  $H$ . Эта задача решается путем подбора оптимальной (с учетом выявленных оползнеопасных факторов для данной территории) классификационной шкалы.

### Метод регионального прогноза оползневой опасности по индексу стабильности (SINMAP)

Метод регионального прогноза по восприимчивости территории к оползневым процессам позволяет выполнить ее районирование на основе факторов оползнеобразования. Однако он не позволяет получить количественную оценку

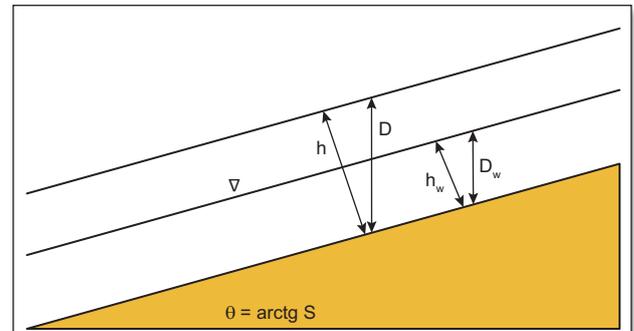


Рис. 2. Схема модели бесконечной устойчивости склона:  $D$  — мощность слоя грунтов по вертикали, м;  $D_w$  — глубина залегания уровня грунтовых вод по вертикали, м;  $h$  — истинная мощность слоя, м,  $h = D \cos \theta$ , м;  $h_w$  — мощность водоносного слоя, м,  $h_w = D_w \cos \theta$ , м;  $\theta$  — угол наклона склона, град.;  $S$  — градиент падения склона, д.ед.,  $\nabla$  — отметка уровня грунтовых вод

оползнеопасности в виде такого общепризнанного критерия, как коэффициент устойчивости склона ( $F_s$ ).

С целью регионального прогноза оползнеопасности по параметру, близкому по сути к коэффициенту устойчивости, авторы использовали метод районирования территории по индексу стабильности.

Данный метод, или картирование по индексу стабильности (SINMAP — Stability Index Mapping), был разработан в Университете штата Юта (США) в сотрудничестве с консалтинговой фирмой Terratech Consulting организациями C.N. Godwin Fluvial System Consulting, U.S. Forest Service, Rocky Mountain Research Station (США) и Forest Renewal British Columbia (Канада). В его основе лежит расчет устойчивости склона по схеме бесконечного откоса с учетом влияния подземных вод, которая определяет коэффициент устойчивости склона как отношение между удерживающими и сдвигающими силами согласно следующей зависимости [15]:

$$F_s = \frac{C_r + C_s + \cos^2 \theta [\rho g (D - D_w) + g (\rho - \rho_w) D_w] \operatorname{tg} \varphi}{D \rho g \sin \theta \cos \theta}, \quad (4)$$

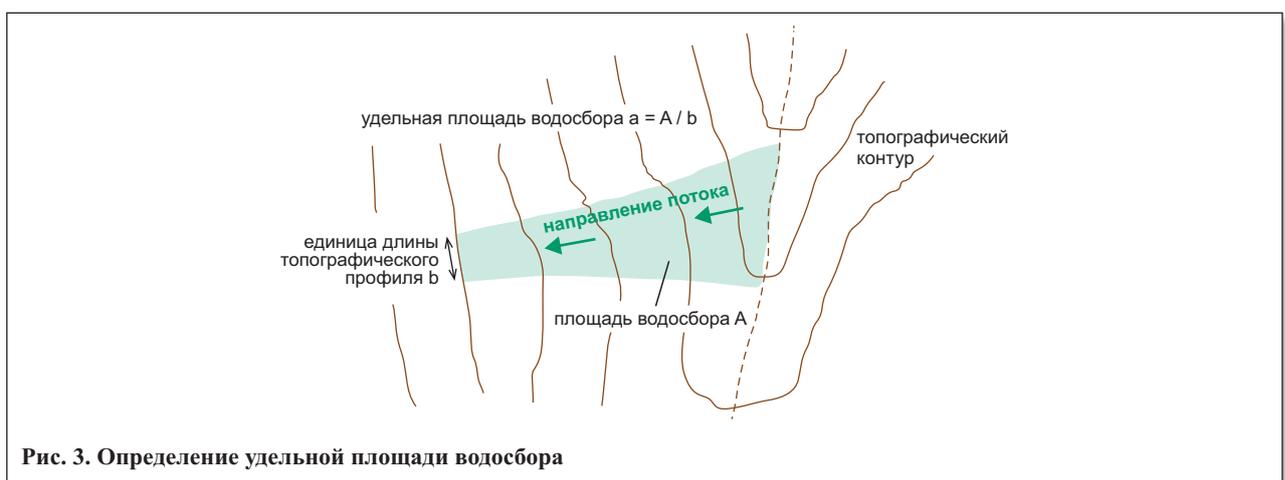


Рис. 3. Определение удельной площади водосбора



где  $F_s$  — коэффициент устойчивости склона, безразм.;  $C_r$  — вегетативное сцепление, Н/м<sup>2</sup>;  $C_s$  — сцепление грунтов, Н/м<sup>2</sup>;  $\theta$  — угол наклона склона, град.;  $\rho$  — плотность грунтов, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_w$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  — ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $D$  — мощность слоя грунта по вертикали, м;  $D_w$  — мощность водоносного слоя по вертикали, м;  $\varphi$  — угол внутреннего трения грунтов, град.

На рисунке 2 показана геометрия склона, предполагаемая в уравнении (2).

Зависимость (2) может быть приведена к следующему виду:

$$F_s = \frac{C + \cos\theta[1 - Wr]tg\varphi}{\sin\theta}, \quad (5)$$

где  $C$  — комбинированное сцепление, безразм.,  $C = (C_r + C_s) / (h \rho g)$ , где  $h = D \cos\theta$ , м;  $W$  — от-

Таблица 2

Разделение основных факторов, обуславливающих активизацию оползневых процессов в районе Ха Лонг — Кам Фа, на информационные классы и вес этих классов			
Фактор	Класс	Количество выявленных активных оползней, шт.	Вес класса $x_{ij}$ , д.ед.
Геологическое строение	Четвертичная система (Q)	8	0,157
	Толща Тиеу Гиао (N2 tg)	0	0,000
	Толща Ха Сои (J1-2 hc)	0	0,000
	Толща Хон Гай (T3n-r hg)	43	0,843
	Толща Бай Чай (P3 bc)	0	0,000
	Толща Бак Сон (C-P3 bs)	0	0,000
	<b>Сумма</b>	<b>51</b>	<b>1,000</b>
Мощность потенциально оползнеопасных отложений (для скальных и полускальных грунтов — мощность коры выветривания), м	2,0–3,0		
	0	0,000	
	3,0–4,0	7	0,137
	4,0–5,0	10	0,196
	5,0–5,5	34	0,667
	5,5–6,0	0	0,000
	<b>Сумма</b>	<b>51</b>	<b>1,000</b>
Крутизна склонов, град.	0–3	0	0,000
	3–6	5	0,098
	6–15	17	0,333
	15–30	29	0,569
	30–45	0	0,000
	> 45	0	0,000
	<b>Сумма</b>	<b>51</b>	<b>1,000</b>
Тип ландшафта	Рисовые поля	0	0,000
	Луговая растительность	0	0,000
	Естественные густые леса	21	0,412
	Озера	0	0,000
	Лесопосадки	0	0,000
	Селитебные зоны	1	0,020
	Редкие леса	25	0,490
	Кустарники	0	0,000
	Территории разработки угольных месторождений	4	0,078
	Болота	0	0,000
	Рыбохозяйственные объекты территории	0	0,000
	Обнажения скальных грунтов	0	0,000
	Песчаные отмели, пляжи	0	0,000
	<b>Сумма</b>	<b>51</b>	<b>1,000</b>

носительная влажность,  $W = D_w/D = h_w/h$ , д.ед.;  $h$  — истинная мощность слоя, м;  $h_w$  — мощность водоносного слоя, м,  $h_w = D_w \cos\theta$ ;  $r$  — отношение плотности воды  $\rho_w$  к плотности грунтов  $\rho$ , безразм., то есть  $r = \rho_w / \rho$ .

Из практики инженерно-геологических исследований известно, что влажность грунтов тесно связана с гидрологическими особенностями территории. Используя гидрологический критерий, авторы метода SINMAP [15] предлагают определять относительную влажность  $W$  (д.ед.) по следующей формуле:

$$W = \min\left(\frac{R}{T} \frac{a}{\sin\theta}, 1\right), \quad (6)$$

где  $T = K_m$  — коэффициент водопроницаемости грунтов, м<sup>2</sup>/сут;  $K$  — коэффициент фильтрации, м/сут;  $m$  — мощность водоносного слоя, м;  $a = A/b$  — удельная площадь водосбора, рассчитываемая на единицу длины топографического профиля, м (см. рис. 3);  $R$  — коэффициент эффективного питания подземных вод на единицу площади поверхности, м/сут; рассчитываемый по формуле:

$$R = (I - E_T)K_{sr}, \quad (7)$$

где  $K_{sr}$  — коэффициент поверхностного стока, безразм., определяемый как отношение объема поверхностного стока на водосборе при выпадении осадков к общему объему выпавших осадков;  $I$  — показатель интенсивности осадков, м/сут;  $E_T$  — показатель интенсивности испарения, м/сут.

Объединяя расчет устойчивости склона по схеме бесконечного откоса (5) с гидрологическим подходом (6), получим следующую зависимость:

$$F_s = \frac{C + \cos\theta \left[ 1 - \min\left(\frac{R}{T} \frac{a}{\sin\theta}, 1\right) r \right] \operatorname{tg}\varphi}{\sin\theta}. \quad (8)$$

При прогнозировании оползневой опасности важно понимать изменчивость, дискретность, по существу случайность имеющихся в распоряжении рядов значений физико-механических характеристик грунтов, полученных в ходе инженерно-исследовательских работ. Учитывая широкий спектр их колебаний, связанный, кроме всего прочего, с прогнозом их изменения, авторы модели SINMAP ввели понятие индекса стабильности склона ( $S_I$ ) определив его следующим образом: для «неблагоприятного» и «благоприятного» сочетания.

При «неблагоприятном» сочетании параметров (минимальных прочностных характеристиках грунтов, максимальных осадках):

$$S_I = F_{S_{min}} = \frac{C_1 + \cos\theta \left( 1 - \min\left[\frac{R_1}{T_1} \frac{a}{\sin\theta}, 1\right] r \right) \operatorname{tg}\varphi_1}{\sin\theta}, \quad (9)$$

где  $F_{S_{min}}$  — минимальный коэффициент устойчивости склона, безразм.;  $C_1$  — минимальное комбинированное сцепление, Н/м<sup>2</sup>;  $\theta$  — угол наклона склона, град.;  $\varphi_1$  — минимальный угол внутреннего трения грунтов, град.,  $R_1$  — максимальный коэффициент эффективного питания подземных вод на единицу площади поверхности, м/сут;  $T_1$  — минимальный коэффициент водопроницаемости грунтов, м<sup>2</sup>/сут.

При «благоприятном» сочетании параметров (максимальных прочностных характеристиках грунтов, минимальных осадках):

$$S_I = F_{S_{max}} = \frac{C_2 + \cos\theta \left( 1 - \min\left[\frac{R_2}{T_2} \frac{a}{\sin\theta}, 1\right] r \right) \operatorname{tg}\varphi_2}{\sin\theta}, \quad (10)$$

где  $F_{S_{max}}$  — максимальный коэффициент устойчивости склона, безразм.;  $C_2$  — максимальное

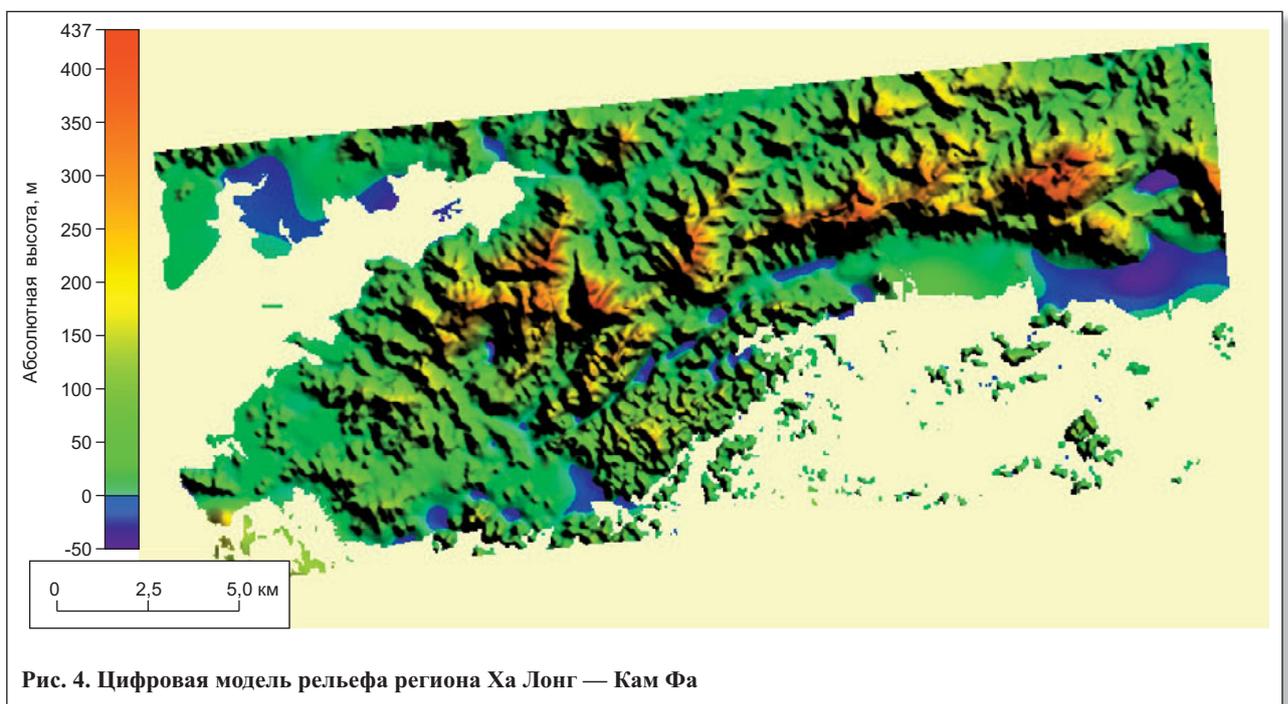


Рис. 4. Цифровая модель рельефа региона Ха Лонг — Кам Фа



Таблица 3

Значения $\varphi$ , $C$ и $R/T$ для «благоприятного» и «неблагоприятного» сочетания параметров при расчете индекса стабильности склонов в регионе Ха Лонг — Кам Фа							
Сочетание параметров	Возраст оползнеопасных отложений	$g_s$ , м/с <sup>2</sup>	$\rho_w$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_s$ , кг/м <sup>3</sup>	$\varphi$ , град.	$C$	$R/T$
Благоприятное	T3n-r hg	9,81	1000	1982	15,2÷30,3	0,011÷0,340	0,00190÷0,00040
Неблагоприятное	Q	9,81	1000	1846	6,5÷29,3	0,010÷0,260	0,00083÷0,00036

комбинированное сцепление, Н/м<sup>2</sup>;  $\theta$  — угол наклона склона, град.;  $\varphi_2$  — максимальный угол внутреннего трения грунтов, град.;  $R_2$  — минимальный коэффициент эффективного питания подземных вод на единицу площади поверхности, м/сут;  $T_2$  — максимальный коэффициент водопроницаемости грунтов, м<sup>2</sup>/сут.

Значения  $\varphi$ ,  $C$  и  $R/T$  для «благоприятного» и «неблагоприятного» сочетания параметров при расчете индекса стабильности склонов в районе Ха Лонг — Кам Фа приведены в табл. 3.

В широком смысле индекс стабильности — понятие вероятностное, которое связано с коэффициентом устойчивости следующим образом (11):

$$S_f = \text{Prob}(F_S > 1). \quad (11)$$

Важным преимуществом регионального прогноза оползневой опасности по индексу стабильности методом SINMAP является его реализация в программном обеспечении ArcGIS. Это позволяет максимально автоматизировать процесс районирования по индексу стабильности.

### КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ И ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ РАЙОНА ХА ЛОНГ — КАМ ФА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ВЬЕТНАМА

Исследуемый регион имеет площадь 351 км<sup>2</sup> (из них 238,5 км<sup>2</sup> — суша). Он протянулся вдоль северо-восточного побережья Вьетнама от города Ха Лонг до города Кам Фа. В промышленном отношении наибольшее значение здесь имеет угледобыча. Самая высокая точка в данном районе — вершина Као Цон (436 м над уровнем моря). Средний уклон территории составляет 10,8. Растительный покров занимает 47,35% общей площади (см. рис. 4).

В геологическом строении региона Ха Лонг — Кам Фа распространены следующие отложения:

- толща Бак Сон (С-Р3 bs), представленная известняками от серого до светло-серого цвета, залегающими толстыми слоистыми блоками;
- толщи Бай Чай (Р3 bc), Ха Сои (J1-2 hc), Тиеу Гиао (N2 tg), представленные переслаиванием песчаников, алевролитов и глинистых сланцев;
- толща Хон Гай (Т3n-r hg), представленная углесодержащими терригенными осадками;
- мезо-кайнозойские осадочные породы на большей части территории перекрыты четвертичными рыхлыми отложениями (Q).

В качестве исходных данных для регионального прогноза оползневой опасности для района Ха

Лонг — Кам Фа были использованы результаты дистанционного зондирования и отчеты Института геологических наук и минеральных ресурсов Вьетнама.

### РАЙОНИРОВАНИЕ РЕГИОНА ХА ЛОНГ — КАМ ФА ПО ВОСПРИИМЧИВОСТИ К ОПОЛЗНЕВЫМ ПРОЦЕССАМ

Результатом регионального прогноза по восприимчивости территории к оползневым процессам является карта районирования (рис. 5).

Как уже указывалось выше, при построении карты важным моментом является выбор разумных уровней классификационного показателя  $H$ .

Для оценки степени восприимчивости территории к оползневым процессам авторы использовали принцип «светофора», в соответствии с которым регион Ха Лонг — Кам Фа был разделен на три типа зон, в пределах которых восприимчивость геологической среды к оползневым процессам: (1) высокая; (2) средняя; (3) низкая (см. рис. 5).

Методом подбора были определены приемлемые уровни изменения интегрированного показателя восприимчивости к оползневым процессам для каждой из выделенных зон соответственно: (1)  $H = 0,6 \div 0,8$ ; (2)  $H = 0,4 \div 0,6$ ; (3)  $H = 0,0 \div 0,4$ . Для районирования региона Ха Лонг — Кам Фа использовался программный модуль Spatial Analyst ГИС ArcMap.

Первая зона показана на рис. 5 красным цветом. Она проходит в виде узкой полосы у подножий склонов. В геологическом отношении она приурочена к периферийной части толщи Хон Гай, представленной черными аспидными полосчатыми глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками. Геоморфологически данная зона характеризуется крутыми склонами и откосами.

Большие перепады высот и крутизна склонов, большая мощность коры выветривания и наличие зон ослабления, связанных с прослоями глинистых пород и угля, а также наличие разрывных нарушений и широкое развитие в основаниях склонов эрозии способствуют активизации оползневых процессов в пределах первой зоны.

Полевое инженерно-геологическое обследование показало, что на склонах имеются многочисленные проявления солифлюкции (дерновый покров на них разорван открытыми зияющими трещинами). В ходе маршрутных наблюдений были выявлены многочисленные источники подземных вод (постоянные или временные). К этой зоне приурочено максимальное количество выявленных оползней.

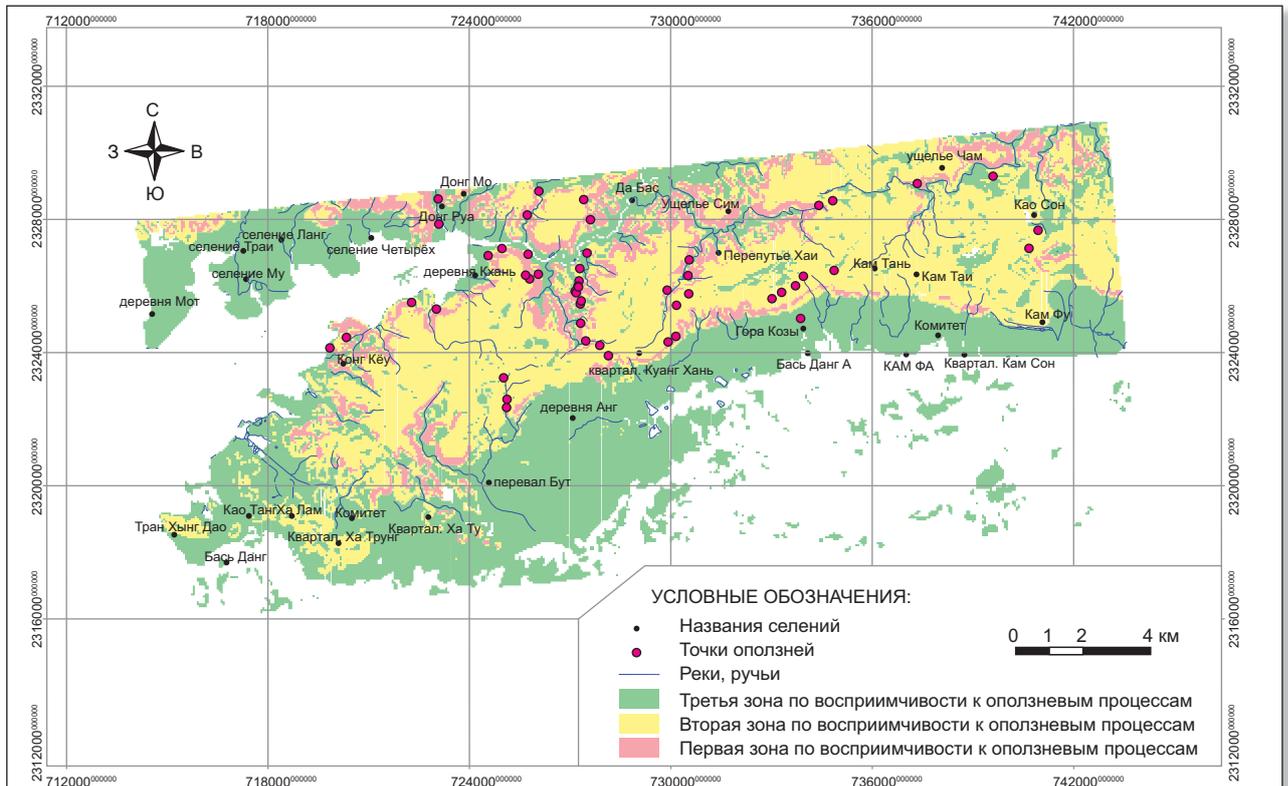


Рис. 5. Карта районирования территории Ха Лонг — Кам Фа по степени восприимчивости к оползневым процессам

Вторая зона показана на рис. 5 желтым цветом и имеет очертания в виде блоков. В геологическом отношении она приурочена к центральной части толщи Хон Гай, представленной континентальными отложениями — галечниками, кварцевыми песчаниками с прослоями черных алевролитов, углей, глинистых сланцев. Практически

повсеместно эта толща перекрыта делювиальными супесями и суглинками.

Большие перепады высот и крутизна склонов, наличие зон ослабления, связанных с прослоями глинистых пород и угля, большие накопления элювиальных и делювиальных отложений — все это способствует активизации оползневых процессов. Ко

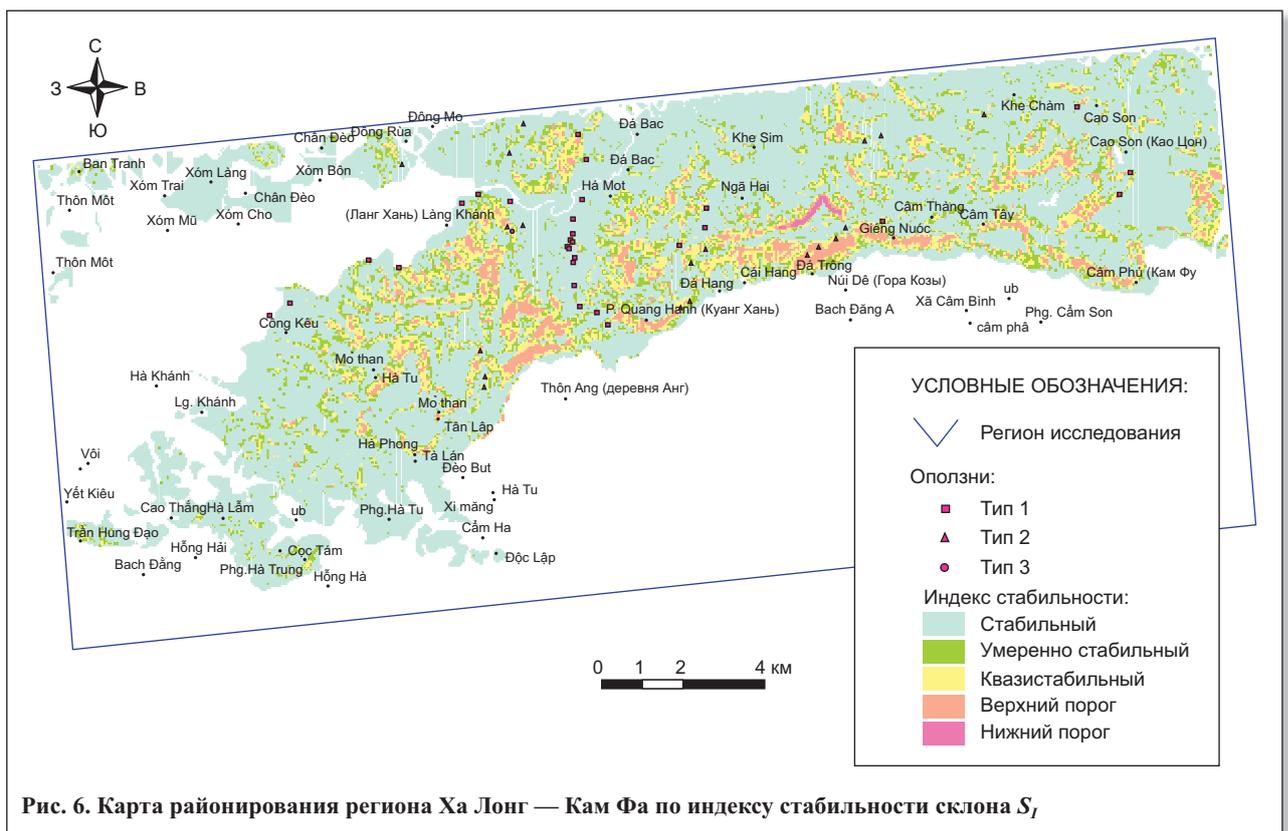


Рис. 6. Карта районирования региона Ха Лонг — Кам Фа по индексу стабильности склона  $S_f$



Таблица 4

Определение устойчивости склонов на основе индекса стабильности $S_f$	
Тип склона по стабильности	Индекс стабильности
Стабильный	$S_f > 1,5$
Умеренно стабильный	$1,25 < S_f \leq 1,5$
Квазистабильный	$1,0 < S_f \leq 1,25$
Верхний порог стабильности (для потери устойчивости необходимо неблагоприятное сочетание параметров)	$0,5 < S_f \leq 1,0$
Нижний порог стабильности (для сохранения стабильности необходимо благоприятное сочетание параметров)	$0,0 < S_f \leq 0,5$
Склон нестабилен (коэффициент устойчивости $< 1$ )	$S_f = 0$

второй зоне приурочено значительное количество выявленных в ходе полевых исследований оползней.

Третья зона показана на рис. 5 зеленым цветом. Она расположена в пределах долин Донг Хо и Куанг Хань, равнинного побережья залива Куок Беа, равнины Кам Фа, прибрежных пляжей территорий Кам Сын, Бась Данг А — Кам Фа. В геологическом отношении данная зона приурочена к закарстованным известнякам каменноугольно-пермского возраста (толще Бак Сон), породам юрского (толще Ха Сои) и неогенового (толще Тиеу Гиао) возраста и отложениям четвертичного периода.

Проявлений оползневых процессов в данной зоне практически не отмечено, за исключением долины Донг Хо, где решающую роль в формировании оползней играет фактор крутизны склонов.

### РАЙОНИРОВАНИЕ РЕГИОНА ХА ЛОНГ — КАМ ФА ПО ИНДЕКСУ СТАБИЛЬНОСТИ СКЛОНА (SINMAP)

Результатом регионального прогноза по индексу стабильности  $S_f$  является карта районирования (рис. 6). Для определения устойчивости склонов на основе  $S_f$  авторы SINMAP разработали классификацию, приведенную в табл. 4.

Исходными данными для районирования территории по оползневой опасности методом SINMAP является следующий набор карт:

- цифровая модель рельефа;
- карта мощности коры выветривания;
- карта районирования территории по физико-механическим свойствам слагающих ее грунтов (по углу внутреннего трения, сцеплению и естественной плотности);
- карта распределения оползней, выявленных на исследуемой территории;
- карта районирования по коэффициенту увлажнения территории (отношению осадков к испарению) на основе данных метеостанции Бай Чай (с 1989 по 2003 г.).

Принципиальная схема районирования оползневой опасности на основе SINMAP представлена на рис. 7.

Наилучшие результаты использование SINMAP дает при оценке опасности возникновения неглубоких оползней.

Анализ результатов, полученных на основе районирования территории по индексу стабильности,

показывает высокий уровень их достоверности: области с крутыми и длинными склонами имеют низкий индекс стабильности ( $0,0 < S_f \leq 0,5$ ); умеренно крутые и длинные склоны с большой мощностью коры выветривания и значительной площадью водосбора имеют  $S_f$  от нижнего порога неустойчивости ( $0,5 < S_f \leq 1,0$ ) до умеренного и квазистабильного уровня ( $1,00 < S_f \leq 1,25$ ). Однако часть выявленных в процессе полевого обследования оползней находится вне участков с низким индексом  $S_f$ . Вероятно, это связано с активным промышленным освоением территории, выполаживанием крутых склонов, разработкой угольных месторождений и т.д.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Региональное прогнозирование оползневой опасности в регионе Ха Лонг — Кам Фа осуществлялось путем применения двух методов: по восприимчивости территории к оползневым процессам и по индексу стабильности (методом SINMAP).

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы и наметить следующие направления для дальнейших исследований.

1. Метод районирования территории по восприимчивости к оползневым процессам относительно прост в применении и дает надежные результаты.

2. В процессе такого районирования на основе сочетания факторов оползнеобразования выявлены наиболее опасные области в регионе Ха Лонг — Кам Фа. В первую очередь это область распространения континентальных отложений толщи Хон Гай, характеризующаяся высокими значениями интегрированного показателя  $H$ . Это необходимо учитывать при планировании хозяйственного освоения территории.

3. Метод районирования по индексу стабильности позволяет получить достоверные количественные показатели, хорошо характеризующие распространение мест развития оползневых процессов.

4. На основе районирования исследуемой территории по индексу стабильности определены потенциально оползнеопасные области с высоким уровнем неустойчивости ( $0,0 < S_f \leq 0,5$ ) и низкой

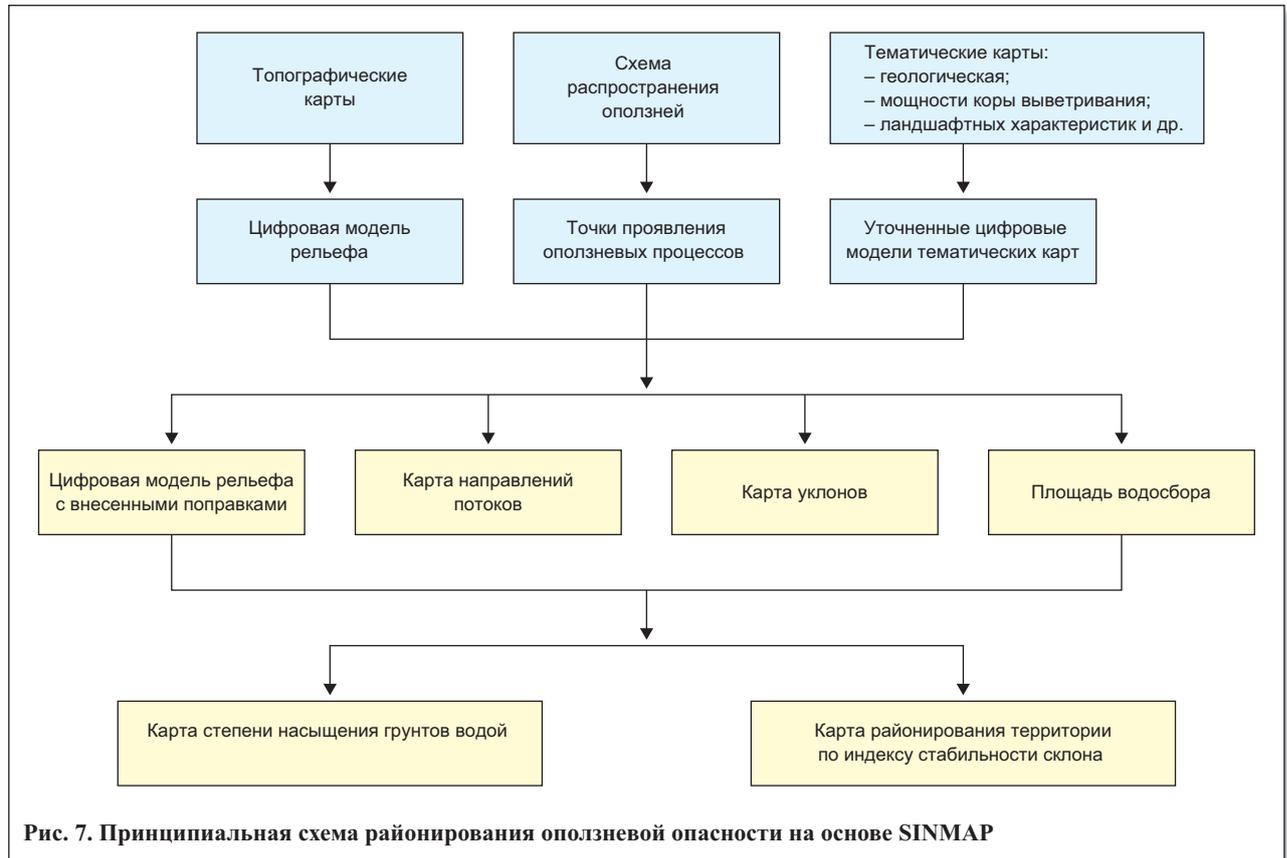


Рис. 7. Принципиальная схема районирования оползневой опасности на основе SINMAP

стабильностью ( $0,5 < S_f \leq 1,0$ ). К ним относятся некоторые области в центральной и юго-восточной части региона Ха Лонг — Кам Фа, сложенные породами триасового возраста (толщей Хон Гай) и четвертичными отложениями.

5. Используемые методы регионального прогноза оползневой опасности взаимно дополняют друг друга, а получаемые в результате их сочетания прогнозные оценки имеют повышенную точность. ↻

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярз Л.А. Инженерная геодинамика: учебник. М.: КДУ, 2007. С. 334–336, 349–355.
2. Зыонг М.Х., Фам В.Т. Использование дистанционного зондирования и географической информационной системы (ГИС) для определения оползней в районе Ха Лонг — Кам Фа // Горные науки и технологии. Геология. Ханой: Ханойский горно-геологический университет, 2008 (на вьетнамском языке). С. 27–29, 31–33.
3. Кюнцель В.В. Закономерности оползневых процессов на Европейской территории СССР и его региональный прогноз. М.: Недра, 1980. С. 176–178, 198–201.
4. Ле К.Т., Ву Т.Т., Нгуен С.Н. и др. Исследование геологических катастроф на основе приложений моделей и ГИС (например, в Донг Данг — Ланг Шон) // Горные науки и технологии. Геология. Ханой: Ханойский горно-геологический университет, 2006. № 16/10 (на вьетнамском языке). С. 17–18.
5. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика: учебник. Л.: Недра, 1977. С. 273–276.
6. Нгуен Н.Т., Нгуен Т.З., Нгуен М.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы приложений. Ханой: Институт естественных наук Вьетнамского национального университета, 2003 (на вьетнамском языке). С. 259–270, 274–278, 294–301 и 371–378.
7. Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии. М.: КДУ, 2009. С. 167–169.
8. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов. М.: Стройиздат, ПНИИИС Госстроя СССР, 1984. 80 с.
9. Трофимов В.Т., Красилова Н.С. Инженерно-геологические карты: учебное пособие. М.: КДУ, 2007. С. 94–97.
10. Фам В.Т. Геологические риски во Вьетнаме и необходимость их решения // Материалы научной национальной научно-практической конференции «Геологические риски и меры их профилактики». Ханой: Строительное издательство, 2008 (на вьетнамском языке). С. 9–14.
11. Фам В.Т. Теоретические основы методики инженерно-геологических исследований. Ханой: Ханойский горно-геологический университет, 2000 (на вьетнамском языке). С. 2–19, 26–30.
12. Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Комплексная методика расчета устойчивости склонов // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований — 2011». Одесса: Черноморье, 2011. С. 88–96.
13. Чан К.Б. ESRI ArcGIS 8.1: лекция. Ханой: Институт естественных наук Вьетнамского национального университета, 2004 (на вьетнамском языке). С. 62–67.
14. Chacon J., Irigaray C., Fernandez T., El Hamdouni R. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems // Bulletin of Engineering Geology of the Environment. 2006. V. 5. P. 341–411.
15. Tarboton D.G., Pack R.T., Goodwin C.N., Prasad A. Sinmap user's manual. Sinmap 2. A stability index approach to terrain stability hazard mapping. Version for ArcGIS 9.x and Higher. Logan, Utah: Utah State University, Terratech Consulting Ltd, Canadian Forest Products Ltd, C.N. Goodwin fluvial system consulting, 2005. С. 1–39.