

ИНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ І ГІДРОГЕОЛОГІЯ

УДК 551.435.628

Е.Е. Бойко¹, аспірант

А.Е. Кошляков², доктор геол. наук, завідувач кафедри

^{1,2} Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

УНІ «Інститут геології», кафедра гідрогеології і інженерної геології,

ул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

boyko_ekateruna@ukr.net

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Рассмотрены главные региональные факторы возникновения и активизации оползней в пределах Южного берега Крыма. В результате проработки рекомендаций, составленных крымскими экспертами-геологами, и анализа недостатков существующих методик прогнозирования оползневой опасности территории, основанный на построении моделей в среде ГИС. Созданные модели описывают пространственные особенности развития оползней. Впервые была построена детерминированная картографическая модель, отображающая распределение непрямого показателя оползневой опасности – индекса стабильности.

Ключевые слова: покровные оползни, ГИС, факторный анализ, весовой коэффициент, индекс стабильности.

ВВЕДЕНИЕ

В числе наиболее опасных и активных экзогенных геологических процессов, распространенных в пределах Горного Крыма, следует выделить оползни. Самой высокой степенью пораженности оползневой процессом характеризуется территория южного склона Главной гряды, именуемая Южным берегом Крыма (далее ЮБК). По данным Ялтинской инженерно-геологической и гидрогеологической партии, по состоянию на 2014 г., в пределах данного региона находится 1062 оползня, что составляет 66% всех зарегистрированных оползней полуострова.

Инженерно-геологическое освоение южного побережья, которое представляет собой геодинамически активную геологическую структуру, в течение длительного времени усложнялось интенсивным оползнеобразованием. Борьба человека с данным процессом длится с 20-х годов прошлого века, с момента создания первой Крымской Кучук-Койской оползневой станции. Усилиями специалистов и учёных на протяжении десятилетий осуществлялись противооползневые мероприятия: строились берегоукрепительные сооружения, объек-

ты для укрепления склонов (столбы, анкера, буронабивные сваи), выполнялось обустройство дренажных систем, применялись методы разгрузки рельефа. На сегодняшний день существует ряд фундаментальных, объясняющих природу процесса теорий и трудов – В. Ф. Пчелинцева, Н. Ф. Погребова, М. В. Чуринова, О. П. Емельяновой, Г. С. Золотарёва, И. Б. Корженевского, А.И. Шеко [2, 3, 4, 8]. Вместе с тем, сохраняется тенденция образования новых и активизации существующих оползней. Анализ случаев возникновения оползней за последние 10 лет, выполненный И. Ф. Ерышем, показал, что большую долю прироста формируют оползни покровного типа преимущественно эрозионного и техногенного генезиса. В зоне потенциального воздействия последних находятся важные хозяйственные объекты, поэтому их заблаговременное прогнозирование и моделирование, а также оценка рисков жизнедеятельности в зонах проявления процесса, остаются приоритетными задачами инженерной геологии. Существующие общепринятые методы прогнозирования и оценки оползневой опасности в пределах ЮБК основаны на статистическом анализе рядов данных, отображающих степень воздействия определённых факторов на оползневую активность. Главным условием корректного применения таких методов с целью прогнозирования является непрерывность данных, гарантируемая постоянными высокоинформативными режимными наблюдениями. Сегодня, однако, ввиду неполного финансирования стационарных работ на опорных полигонах, утрачена систематичность наполняемости базы данных. Кроме того, практические стороны применения данных методов были разработаны для определённых локальных оползневых систем, преимущественно абразионного типа – «Золотой пляж», «Фасбурла». В тоже время, существующие вероятностные методы оценки оползневой опасности в пределах ЮБК построены на основе использования общих коэффициентов пораженности территории, которые не отображают природу и направление развития процесса.

Целью работы является построение и обоснование комплексной модели оползневой опасности на основе использования геопространственных данных, отображающих изменения современного рельефа, данных результатов предыдущих исследований, а также применения современных инструментов их анализа и обработки – геоинформационных систем. *Объектом* исследований являются потенциально оползнеопасные и оползневые территории ЮБК. Предметом исследований являются факторы и условия возникновения и активизации современных оползней покровного типа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Применяемый в исследовании метод оценки оползневой опасности базируется на комплексном анализе региональных факторов, определяющих склонность определённых территорий к образованию оползней, а также влияющих на динамику их развития. С целью выявления пространственных и временных особенностей развития оползней, нами была предложена методика построе-

ния отдельных моделей – статической и динамической, в совокупности описывающих природу процесса. Для этого все факторы, определяющие склонность территории ЮБК к развитию оползневого процесса, были разделены на собственно факторы, отображающие региональные особенности территории и формирующие оползнеопасные склоны (статическая модель), а также на триггерные факторы, инициирующие оползневой процесс и определяющие его активность (динамическая модель) [7].

Построение **статической модели** было выполнено на основе использования положений теории информации и применения метода оценки весовых коэффициентов. Суть метода заключается в определении степени значимости (влияния, веса) каждого из рассматриваемых факторов в формировании оползней. С целью создания данной модели были выделены и проанализированы следующие факторы:

- геолого-литологический (генетический тип и мощность оползневых масс), стратиграфическое соотношение коренных и четвертичных пород);
- тектонический (наличие тектонических трещин);
- геоморфологический (крутизна, экспозиция склонов);
- антропогенный (транспортная сеть).

В качестве исходной информации, характеризующей распределение основных параметров указанных факторов, был использован картографический материал, созданный специалистами оползневой партии на разных этапах изучения природы оползней региона. Так, основой районирования территории по генетическому типу и мощности оползневых масс, а также основой воссоздания картины разрывной тектоники послужила карта инженерно-геологического районирования масштаба 1:25000 (Г.Д. Неклюдов, Н.П. Сторчак, 1976 г.) [5]. На основе геологической карты масштаба 1:200000 [1] была создана поверхность, отображающая соотношение элементов залегания коренных и четвертичных пород в виде угла отклонения азимута простирания толщи пород посторогенного комплекса от азимута простирания коренных пород. В результате применения инструментов геоинформационных систем, на основе цифровой модели рельефа, были построены карты, отображающие крутизну и ориентацию склонов. С целью оценки непосредственного влияния рельефообразующих процессов на формирование оползней эрозионного и техногенного генезиса была создана картографическая модель остаточного рельефа путём вычитания базисной поверхности (современного эрозионного уровня) из гипсометрической (по методу В.П. Философова [8]). Данная модель отображает распределение объёма горных пород, который может быть в будущем удален эрозией и денудацией при существующих геологических и физико-географических условиях. На наш взгляд, данная величина может быть соотнесена с величиной мощности оползневых пород в пределах ЮБК применительно к оползням покровного типа, так как разность в высотном положении современного рельефа и совре-

менной базисной поверхности характеризует запасы потенциальной энергии рельефа. Особенностью формирования рельефа на южных склонах Крымских гор является постоянное усиление процессов денудации, активная абразия береговой линии в связи с расширением глубоководной впадины Чёрного моря и погружением материковой части. С наибольшей интенсивностью эти процессы проявились в западной части Крымского побережья, где наряду с циклическим характером восходящего развития рельефа прибрежной суши абразия моря, усиленная погружениями в области шельфа, является определяющим фактором активизации склоновых процессов. Результаты факторного анализа оползневой деятельности участка может служить ярким примером сочетания и взаимной обусловленности геодинамических процессов, происходящих на суше и в пределах современной Черноморской впадины. Данные, характеризующие распределение параметров каждого фактора, были преобразованы в геопространственные объекты. В результате, был создан комплекс картографических цифровых слоёв в растровом grid-формате, что позволяет осуществлять их дальнейшую обработку средствами геоинформационных платформ (ESRI ArcMap, Arcview).

В пределах каждого фактора были выделены подфакторы (классы), которые отличаются различной величиной воздействия на процесс оползнеобразования. Весовой коэффициент каждого класса был определён с помощью формулы (1):

$$W_i = \ln \left[\frac{N_{pix} \text{Оползн.} / N_{pix} \text{Общ.}}{\sum (N_{pix} \text{Оползн.} / N_{pix} \text{Общ.})} \right], \quad (1)$$

где W_i – весовой коэффициент; $N_{pix} \text{Оползн.}$ – количество пикселей растровой ГИС-модели с зарегистрированными оползнями в пределах i -го класса; $N_{pix} \text{Общ.}$ – количество пикселей, принадлежащих i -му классу. Числитель в формуле (1) отображает плотность оползней в пределах класса ($\Pi_{\text{класс}}$), знаменатель – плотность оползней в пределах площади исследуемой территории ($\Pi_{\text{общ}}$).

Положительное значение натурального логарифма, определенного по формуле (1), означает, что возникновение оползневых процессов в той или иной степени определяется воздействием данного класса.

С целью дальнейшего анализа весовых коэффициентов в совокупности, была произведена процедура их нормирования. Полученные стандартизированные по единому правилу значения были присвоены каждому классу, представленному в виде области в пределах грид-объекта фактора. Для создания результирующей статической модели оползневой опасности, слои, отображающие распределения вновь присвоенных каждому классу нормальных величин весовых коэффициентов, были объединены в один в результате суммирования.

Динамическая модель оползневой опасности была построена с учётом не прямых факторов, влияющих на развитие процесса во времени. Анализ случаев наступления периодов массовой активизации оползней, выполненный

Ялтинской инженерно-геологической и гидрогеологической партией, показал, что они совпадают с годами повышенной увлажнённости. Таким образом, основным триггерным фактором оползневых смещений в пределах ЮБК, является гидрогеологический фактор (атмосферные осадки и их режим), а также поверхностный сток, влажность горных пород, прочностные и деформационные свойства грунтов. В качестве математической основы для создания динамической модели оценки оползневой опасности на основе расчётных значений коэффициента устойчивости был использован специальный модуль SINMAP, адаптированный в среде ГИС.

SINMAP (Stability Index Mapping – метод картографирования по индексу стабильности) разработан сотрудниками Университета штата Юта совместно со специалистами канадских организаций и относится к числу геолого-гидрогеологических методов количественного регионального прогноза оползневой опасности, широко используемых зарубежными экспертами [12, 13]. В его основе лежит расчёт устойчивости склонов по схеме бесконечного откоса с учётом влияния гидрогеологической составляющей, что делает его приемлемым для оценки устойчивости склонов, подверженных образованию оползней покровного типа. Уравнение расчёта коэффициента устойчивости по методу SINMAP, является модификацией классического уравнения теории предельного равновесия [9] и выглядит следующим образом:

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

где C_r – вегетативное сцепление, Па; C_s – сцепление грунта, Па; θ – угол наклона склона, град.; ρ – плотность грунта, кг/м³; ρ_w – плотность воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; D – мощность оползневых грунтов по вертикали, м; D_w – высота уровня грунтовых вод по вертикали, м; φ – угол внутреннего трения, град.

Выразив компоненты формулы (2) с помощью следующих равенств: $h = D \cos \theta$ (где h – истинная мощность грунтового массива, м), $h_w = D_w \cos \theta$ (где h_w – истинная высота уровня грунтовых вод, м), $w = D_w / D = h_w / h$ (где w – относительная влажность пород, безразм.), $r = \rho_w / \rho$, $C = (C_r + C_s) / (h \rho g)$ (где C – комбинированное сцепление, Па), получим формулу:

$$F_s = \frac{C + \cos \theta [1 - W \times r] \operatorname{tg} \varphi}{\sin \theta}, \quad (3)$$

Исходя из выражения (3), относительная влажность является параметром, который влияет на величину сил, противодействующих сдвигу. Так, по мере увеличения влажности увеличивается поровое давление, которое уменьшает давление в скелете грунта и тем самым снижает общее сопротивление сдвигу.

Авторы метода предлагают использовать параметры топографической и гидрогеологической моделей для определения относительной влажности грунта.

Расчёт величины последней в каждой точке грид-поверхности производится по формуле:

$$W = \min\left(\frac{R}{T} \times \frac{a}{\sin \theta}, 1\right), \quad (4)$$

где W – относительная влажность пород; R – коэффициент эффективного питания подземных вод на единицу площади поверхности, м/сут; T – коэффициент водопроницаемости грунтов, м²/сут; a – удельная площадь водосбора, рассчитываемая на единицу длины топографического профиля, м².

Величины C и j в формуле (3), а также R и T в выражении (4) обладают диапазоном значений и являются переменными. При этом, минимальные и максимальные значения сцепления и угла внутреннего трения характеризуют предельное состояние грунта. Учитывая, что расчёт по формуле (3) может быть реализован в результате n комбинаций значений (C_{\min} , C_{\max} , j_{\min} , j_{\max} , $(R/T)_{\min}$, $(R/T)_{\max}$), целесообразно рассматривать F_s как функцию. Поэтому при дальнейших расчётах были получены значения индекса стабильности (SI), как вероятностной характеристики коэффициента устойчивости:

$$SI = \text{prob}(F_s > 1), \quad (5)$$

Необходимыми для корректной работы модуля исходными данными, являются подготовленные в программе ArcView грид-поверхности, которые характеризуют пространственное распределение параметров и являются тематическими слоями рабочего набора программы:

- цифровая модель рельефа (ЦМР) Батилиманского района;
- тематический точечный слой, отображающий распределение выявленных оползней в пределах исследуемой территории;
- карта районирования территории по физико-механическим свойствам грунтов (по сцеплению, углу внутреннего трения), а также по гидро-геологическим параметрам (отношению осадков к испарению и по коэффициенту водопроницаемости пород);
- карта мощностей пород четвертичного комплекса.

С целью дальнейшего расчёта величины R , был проанализирован многолетний режим атмосферных осадков отдельных участков ЮБК, а также выделены средние сезонные максимумы и минимумы осадков. Таким образом, за 35-летний период в пределах участка Батилиман абсолютные максимумы месячных сумм атмосферных осадков наблюдались в январе (215,9 мм), а также в июне (326,6 мм). Для моделирования граничных условий состояния склона при неблагоприятном сочетании факторов (R_{\max} ; C_{\min} ; j_{\min}), в расчётах использовалось максимальное среднесуточное значение количества атмосферных осадков. Значения физико-механических параметров пород, характерных для исследуемой территории, варьируются в диапазоне, указанном в таблице 1 [7].

Таблица 1

Диапазон значений физико-механических и гидрогеологических свойств грунтов в пределах Батилиманского оползневого района

φ, град.	c, кПа	T, м ² /сут.
9÷25	27÷55	0,15÷2,5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Построение моделей оползневой опасности выполнено для Батилиманского оползневого участка, расположенного в пределах западного побережья Крыма. Границы участка совпадают с границами Ласпинского тектонического блока и с границами одноименного гидрогеологического района, что позволяет детализировать направление исследования. Площадь района составляет 10,7 км². Тут зафиксировано близко 30 единиц оползней разного генезиса. Большая часть представлена оползнями техногенного происхождения, возникшими в пределах автотроллейбусных трасс в результате строительных и ремонтных работ. Также в пределах данной территории распространены оползни эрозионного происхождения. Закономерности развития оползней абразионного происхождения не рассматривались.

Результаты расчёта весовых коэффициентов для каждого класса с целью построения статической модели приведены в табл.2.

Исходя из табл. 2, веса, вычисленные для различных факторов, варьируют в разных диапазонах. Однако, максимальные значения весовых коэффициентов в пределах указанных факторов, определяют параметр, который в наибольшей степени способствует образованию или активизации оползней. Так, в геолого-литологической группе факторов можно проследить следующую взаимосвязь – увеличение вероятности возникновения оползней при уменьшении мощности пород (что свойственно для условий развития оползней покровного типа), а также при уменьшении величины угла отклонения простираения осадочных пород от угла простираения коренных пород. Среди классов, характеризующих фактор генетического типа отложений только два класса характеризуются положительным весовым коэффициентом – оползневые отложения, а также выходы пород коренной основы (флиша). Однако, в случае моделирования покровных оползней, целесообразнее анализировать частоту зарождения их очагов в определенном генетическом комплексе пород. Процентное соотношение случаев образования трещин закола оползней к их общему количеству, рассчитанное для каждого генетического типа пород, показало, что наиболее благоприятной средой развития поверхностных оползней, являются коллювиальные, элювиально-делювиальные отложения, залегающие на аргиллитопесчаниковом флише, а также оползневые разновозрастные отложения, представленные суглинками.

Таблиця 2

**Результаты расчёта поражённости и весовых коэффициентов
для каждого класса факторов**

Факторы	Класс	$\Pi_{\text{класс}}$	W_i
Геолого-литологическая группа: Мощность пород (м)	0-10	0,771	3,37
	10-20	0,267	2,31
	20-40	0,305	2,44
	40-70	0,003	-2,28
Угол отклонения падения осадочных пород от угла падения коренных пород (°)	0-25	0,475	2,88
	25-50	0,400	2,71
	50-75	0,372	2,64
	75-100	0,245	2,22
	100-125	0,130	1,59
	125-150	0,014	-0,64
	>150	0,004	-1,91
Генетический тип отложений	Элювиально-делювиальные суглинки	0,015	-0,51
	Коллювиальные отложения	0,024	-0,07
	Проллювиальные щебнисто-суглинистые отложения	0,059	0,82
	Коллювиальные отложения с суглинистым заполнителем	0,024	-0,08
	Оползневые отложения	0,151	1,76
	Породы коренной основы (флиш)	0,071	1,00
Тектонический: Расстояние между оползнями и разломами (м)	0-50	0,101	1,34
	50-100	0,156	1,76
	100-150	0,166	1,83
	150-200	0,129	1,58
	200-250	0,028	0,07
	250-300	0,0001	-3,62
Геоморфологическая группа: Крутизна склона (°)	0-10	0,256	2,27
	10-20	0,282	2,36
	20-30	0,329	2,52
	30-40	0,028	0,06
	40-75	0,002	-2,62
Экспозиция склона	С	-	-
	СВ	-	-
	В	0,016	-0,50
	ЮВ	0,014	-0,67
	Ю	0,497	2,93
	ЮЗ	0,284	2,37
	З	0,140	1,66
	СЗ	0,003	-2,06
	З	-	-
Расстояние между оползнями и дорожной сетью (м)	0-40	0,357	2,60
	40-80	0,457	2,84
	80-120	0,446	2,81
	120-160	0,357	2,59
	160-200	0,352	2,56

Наибольшим значением весового коэффициента в группе классов тектонического фактора (расстояние между оползнем и разрывным нарушением), обладают классы, определенные диапазонами значений 50-100 и 100-150 м.

Анализируя распределение весовых коэффициентов в пределах геоморфологической группы факторов, следует отметить, что высокая вероятность образования оползней возникает при сочетании таких природных параметров исследуемой территории – крутизны склонов в пределах $20-30^\circ$, а также их южной и юго-западной экспозиции. Исходя из значений весовых коэффициентов, определенных для классов, выделенных в пределах антропогенного фактора (отдаленность от транспортной сети), следует отметить высокую степень повсеместного влияния последнего на развитие процесса. Диапазон суммарных значений весовых коэффициентов на результирующей картографической модели (рис. 1) варьируется в пределах $-9,70+5,67$. Суммарная карта распределения весовых коэффициентов была разбита на пять классов, отображающих вероятность возникновения или активизации оползней при воздействии выделенного комплекса факторов – класс очень низкой ($-9,7-3,4$), низкой ($-3,4-0$), средней ($0+1,19$), высокой ($+1,19+3,2$) и очень высокой вероятности ($+3,2+5,67$).

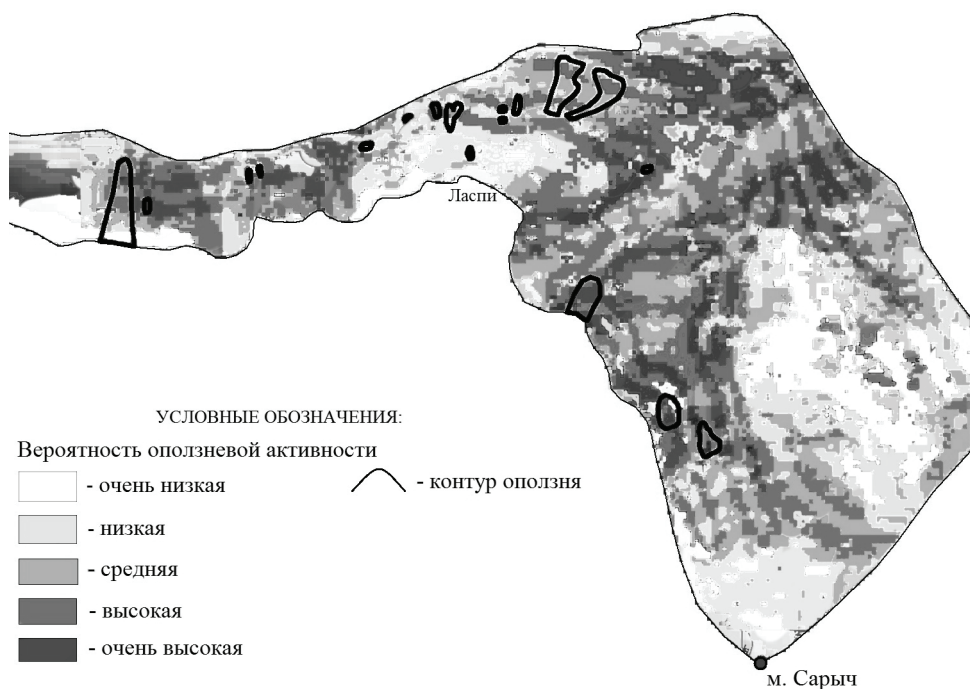


Рис.1. Карта-схема вероятности оползневой активности, составленная на основе применения факторного анализа по весовым коэффициентам (Батилиманский оползневой участок)

Последовательность определения пространственного распределения индекса стабильности при использовании модуля SINMAP следующая: на начальном этапе на основе ЦМР создаётся модель распределения индекса увлажнённости. Данная процедура аналогична гидрогеологическому анализу, осуществляемому в среде программы ArcMap с помощью специальных инструментов. Каждому пикселю присваивается значения направления и аккумуляции потока с целью оконтуривания гидрологических бассейнов. Далее, на основе использования данных из атрибутивной таблицы районирования территории по физико-механическим и гидрогеологическим параметрам, а также карты распределения индекса увлажнения с применением инструментов SINMAP, создаётся карта распределения индекса стабильности.

Полученная в результате применения метода картографирования по индексу стабильности модель (рис. 2), является принципиальной схемой районирования исследуемого оползневой района ЮБК по степени оползневой опасности.

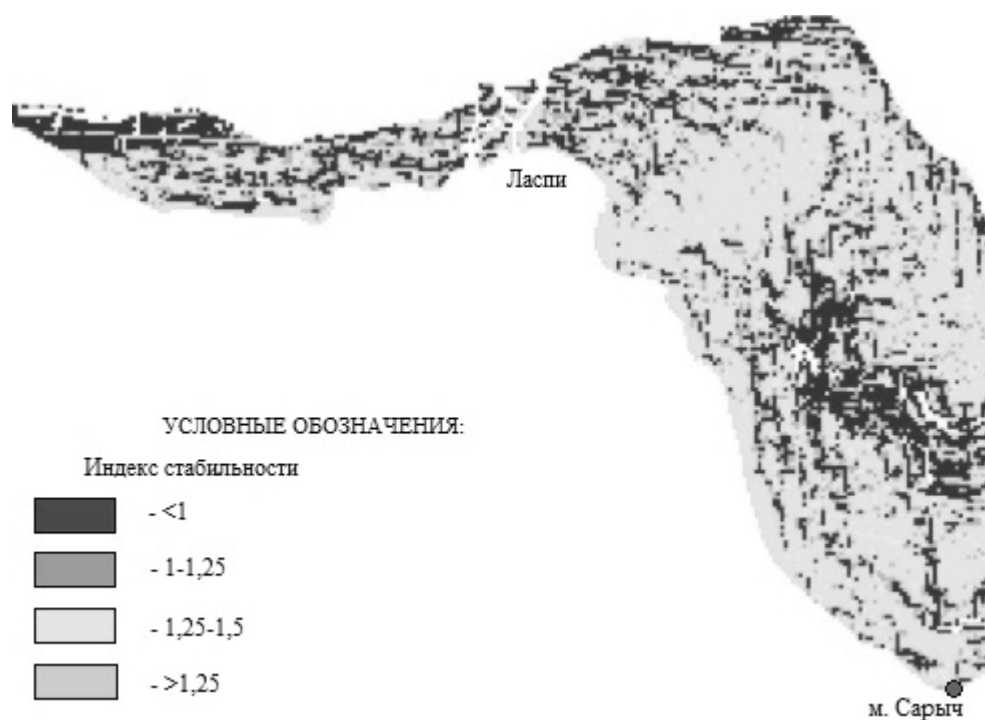


Рис. 2. Карта-схема вероятности оползневой активности на основе распределения индекса стабильности (Батилиманский оползневой участок)

Анализ комбинаций параметров, влияющих на взаимодействие сдвигающих и удерживающих сил на склоне, с сезонной периодичностью, является основой временного прогноза активности оползневой процесса.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования, были выявлены главные факторы, создающие благоприятные условия развития и активизации современных оползней. К последним следует отнести – геоморфологический (крутизна и экспозиция склонов, мощность формирующих остаточный рельеф горных пород, определяемая положением современного базиса эрозии), тектонический (близость к тектоническим разломам регионального уровня), а также техногенный (динамическое воздействие транспорта).

Анализ статической картографической модели, отображающей пространственные региональные закономерности распространения оползневой процесса, позволил сделать следующие выводы. Большая часть исследуемой территории (60%) характеризуется низкой вероятностью возникновения оползней. В то же время диапазон значений, соответствующих высокой степени вероятности проявления оползней, распространяется на большую часть закартированных оползней, находящихся в пределах 20% общей площади Батилиманского района. В целом, месторасположение 15 из 18 оползней удалось предсказать полученной моделью.

Статистический анализ динамической модели, характеризующей распределение индекса стабильности, был выполнен с помощью инструментов обработки результатов моделирования на платформе модуля SINMAP. Выявлено, что 20% территории характеризуются неблагоприятным диапазоном значений индекса стабильности ($SI < 1,2$). Также следует отметить, что согласно полученной модели, более 25% зарегистрированных оползней эрозионного и техногенного генезиса распространены в пределах склонов, которые в результате моделирования были определены как неустойчивые и квазиустойчивые.

Совместный анализ полученных моделей, построенных с целью районирования территории ЮБК по степени оползневой опасности и отображающих пространственные особенности процесса, демонстрирует достаточную степень их надёжности при использованном наборе факторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Державна геологічна карта України [Карті] : Кримська серія. Аркуші L-36-XXVIII (Євпаторія), L-36-XXXIV (Севастополь) / М-во охорони навколиш. природ. середовища України, Держ. геол. служба, Казенне п-во «Південекогеоцентр». – 1:200 000. – К. : Північгеологія, 2007. – 83 с. + 5 карт.
2. Емельянова Е. П. Основные закономерности оползневых процессов [Текст] : монография / Евгения Петровна Емельянова. – М. : Недра, 1972. – 310 с.
3. Ерыш И. Ф. Оползни Крыма [Текст] : монография в 2 ч. / И. Ф. Ерыш, В. Н. Саломатин. – Симферополь : Апостроф, 1999. – Ч. 1 : История отечественного оползневедения. – 247 с.
4. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика [Текст] : учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. «Гидрогеология и инж. геология» / Георгий Сергеевич Золотарев. – М. : Изд-во МГУ, 1983. – 328 с.
5. Карта инженерно-геологического районирования ЮБК масштаба 1:25000, лист L-36-128-А-в, В-а [Карта] / ред. Г. Д. Неклюдов, Н. П. Сторчак. – Ялта: Объединение «Крымморгеология», Крымская комплексная геологоразведочная экспедиция, 1976.
6. Прогноз экзогенных геологических процессов на Черноморском побережье СССР [Текст] : монография / под. ред. А. И. Шеко. – М. : Недра, 1979. – 239 с.

7. Рудько Г. И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты) [Текст] : монография / Г. И. Рудько, И. Ф. Ерыш. – К. : «Задруга», 2006. – 624 с.
8. Философов В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поиска тектонических структур [Текст] : монография / В. П. Философов; [под общ. ред. А. А. Корженевского]. – Саратов : Изд.-во Саратовского ун-та, 1960. – 69 с.
9. Фоменко И. К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности [Текст] : дис. ... доктора геолого-минералогических наук : 25.00.08 / Фоменко Игорь Константинович – Москва, 2014. – 318 с.
10. Carrara, M. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard [Текст] / A. Carrara, M. Cardinali, R. Detti // *Earth Surf. Processes and Landforms*. – 1999. – V. 16. – P. 427–445.
11. Dhaka, A. S. Landslide Hazard Mapping and its Evaluation Using GIS: An Investigation of Sampling Schemes for a Grid-Cell Based Quantitative Method [Текст] / A. S. Dhaka, T. Amada, M. Aniya // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 2000. – V. 66. – P. 981–989.
12. Naqa, A. E. Application of SINMAP Terrain Stability Model Along Amman-Jerash-Irbid Highway, North Jordan [Текст] / A. E. Naqa, M. Abdelghafoor // *EJGE*. – 2006. – V.11. – P. 2–19.
13. Virajh Dias, A.A. Evaluation of Sensitivity of the WAA and SINMAP Models (Static) for Landslide Susceptibility Risk Mapping in Sri Lanka [Текст] / A. A. Virajh Dias, J. K. Gunathilake // *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*. – 2014. – V. 2. – P. 167–173.

REFERENCES

1. Bilets'kyy, S. V. (2006), *Derzhavna heolohichna karta Ukrainy: Kryms'ka seriya. Arkushi L-36-XXVIII (Yevpatoriya), L-36-XXXIV (Sevastopol)*. [State Ukraine geological map scale of 1: 200,000 sheets L-36-XXVIII (Yevpatoriya), L-36-XXXIV (Sevastopol). Crimean series], Kyiv: State Geological Service, the State enterprise «Pivdenekoheotsentr», 147 p.
2. Emel'yanova, E. P. (1972), *Osnovnye zakonomernosti opolznevyykh protsessov [Basic laws of landslide processes]*, Moscow: «Nedra», 308 p.
3. Erysh, I. F., Salomatin, V. N. (1999), *Opolzni Kryma.-Ch.1. Istoriya otechestvennogo opolznevedeniya [Crimean landslides.-Part1. The history of national landslide science]*, Simferopol: «Apostrof», 247 p.
4. Zolotarev, G. S. (1983), *Inzhenernaya geodinamika [Engineering Geodynamics]*, Moscow University, 328 p.
5. Neklyudov, G. D., Storchak, N. P. (1976), *Karta inzhenerno-geologicheskogo rayonirovaniya YuBK masshtaba 1:25000, list L-36-128-A-b,B-a [Geotechnical zoning Map of Crimean South Coast of scale 1: 25,000, sheet L-36-128-A-b,B-a]*, Yalta: Assosiation «Krymmorgeologiya», Crimean complex Geological Prospecting Expedition.
6. Sheko, A. I. (1979), *Prognoz ekzogennykh geologicheskikh protsessov na Chernomorskom poberezhze SSSR [Exogenous geological processes forecasting on the Black Sea coast of the USSR]*, Moscow: Nedra, 239 p.
7. Rud'ko, G. I., Erysh, I. F. (2006), *Opolzni i drugie geodinamicheskie protsessy gornoskladchatykh oblastey Ukrainy (Krym, Karpaty) [Landslides and other geodynamic processes of mountain regions of Ukraine (Crimea, Carpathians)]*, Kiev: Zadruha, 624 p.
8. Filosofov, V. P. (1960), *Kratkoe rukovodstvo po morfometricheskomu metodu poiska tektonicheskikh struktur [Quick Reference Guide of morphometric method of tectonic structures search]*, Saratov University, 69 p.
9. Fomenko, I. K. (2014), *Metodologiya otsenki i prognoza opolznevoy opasnosti [Methodology for estimating and forecasting landslide hazard]*, Doctor's thesis, Moscow, 318 p.
10. Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R. (1991), GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 16, pp. 427–445.
11. Dhaka, A. S., Amada, T., Aniya, M. (2000), Landslide Hazard Mapping and its Evaluation Using GIs: An Investigation of Sampling Schemes for a Grid-Cell Based Quantitative Method, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 66, pp. 981–989.
12. Naqa, A. E., Abdelghafoor, M. (2006), Application of SINMAP Terrain Stability Model Along Amman-Jerash-Irbid Highway, North Jordan. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 11, pp. 2–19.
13. Virajh Dias, A. A., Gunathilake, J. K. (2014), Evaluation of Sensitivity of the WAA and SINMAP Models (Static) for Landslide Susceptibility Risk Mapping in Sri Lanka. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*, vol. 2, pp. 167–173.

Поступила 20. 11. 2015

К.Є. Бойко¹, аспірант

О.Є. Кошляков², доктор геол. наук, завідувач кафедри

^{1,2} Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ «Інститут геології», кафедра гідрогеології та інженерної геології,
вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна
boyko_ekateruna@ukr.net

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ПРИКЛАДІ ПІВДЕННОГО БЕРЕГА КРИМУ

Резюме

Розглянуто головні регіональні фактори виникнення та активізації зсувів в межах Південного берега Криму. На основі аналізу попередніх рекомендацій та врахування недоліків існуючих методик прогнозування процесу, було запропоновано алгоритм комплексної оцінки зсувної небезпеки території, що ґрунтується на побудові моделей в середовищі ГІС. Створені моделі відображають просторово особливості розвитку зсувів. Вперше була побудована детермінована картографічна модель, яка відображає розподіл непрямого показника зсувної активності – індекса стабільності.

Ключові слова: покривні зсуви, ГІС, факторний аналіз, ваговий коефіцієнт, індекс стабільності.

E.E. Wojko, postgraduate student

Koshlyakov A.E., doctor of geology, head of department

^{1,2} Taras Shevchenko National University of Kiev,
Institute of Geology, Department of Hydrogeology and Engineering Geology,
90 St. Vasylkivska, Kiev, 03022, Ukraine

COMPLEX LANDSLIDES' HAZARD ASSESSMENT WITHIN SOUTHERN COAST OF CRIMEA

Abstract

The Southern Coast of Crimea is characterized as the most highly affected by landslide processes compared to other engineering-geological objects of the peninsula. On the other hand, the existing methods for predicting and assessing landslide hazard created for this area as a result of years of research are insufficiently adapted to modern requirements of engineering geology.

The purpose of the study is to develop and test a relevant method for integrated regional prediction of landslides. In this paper, landslide hazard prediction is understood to be a sequential analysis of assessment of spatial and temporal regularities of landslide development.

Data & Methods. In the course of the study an analysis of regional factors determining the predisposition of certain areas to landslides and influencing the dynamics of their development was carried out. In order to identify spatial and temporal peculiarities of

landslide development a static model and a dynamic model were built, together describing the nature of the process. The creation of the static model is based on calculation of the weighting coefficient as a degree of impact of each of the factors considered. The dynamic model was built using GIS tools. It shows the distribution of the indirect indicator of landslide activity – the slope stability index.

Results. As result of research, two models, that consider the influence of certain factors on the landslides' activity, were developed. The statistical analysis of the obtained models demonstrated a sufficient degree of their reliability under the applied set of factors.

Keywords: shallow landslides, GIS, factor analysis, weight score, stability index.