

Оползневые процессы в Украинском Причерноморье и оценка оползневой опасности

**Федорончук Наталья Александровна,
кандидат геологических наук,**

**Рубель Олег Евгеньевич,
кандидат экономических наук.**

Оползни развиты почти по всему побережью Украинского Причерноморья, кроме зон аккумулятивных берегов. Оползни связаны с процессами эрозии и абразии.

На наличие оползней влияют:

морфометрия склонов,
геологическое строение,
гидрогеологические условия,
сейсмотектоническими условия;
климат;
гидрологический режим рек и водоемов,
растительный покров склонов,
хозяйственная деятельность человека.

Наиболее развиты оползни в Одесской и Николаевской области.
Больше всего оползней наблюдается в Одесском регионе.

Количество оползней по состоянию на 2007 г.

	Всего оползней	Из них:		
		стабильных	активных	на застроенной территории
Одесская область	5885	5241	644	197
Николаевская область	1150	1020	130	42

В Причерноморье основные деформирующиеся горизонты (ОДГ) - это красно-бурые глины четвертичного возраста и неогеновые (меотические) глины, по которым сползают блоки известняков.

Факторы образования оползней здесь:

- увлажнение пород (грунтов),
- эрозия.



Самыми крупными по масштабам и убыткам являются оползни, охватывающие толщу меотических глин.

На меотической глине в разрезе залегают понтические известняки.

Глина - это водоупор для вод, содержащихся в известняках. При намокании глина становится очень пластичной и по ее поверхности смещаются крупные блоки известняка – скальной породы.



В Причерноморском регионе оползни распространены узкой полосой вдоль морского побережья, по берегам рек и многочисленных лиманов. Динамика оползней на морском побережье характеризуется постоянными медленными смещениями. Периодически возникают отдельные катастрофические смещения.

Карта-схема сети наблюдений за оползнями

В Украинском Причерноморье в последние годы наблюдается повышенная активность оползней.

Это объясняется увеличением техногенной нагрузки (особенно в прибрежных районах), резким увеличением количества атмосферных осадков в связи с глобальным потеплением и др.

Динамика оползневых процессов в Одесской и Николаевской областях

	Количество оползней по состоянию на			
	1984	1997	2002	2007
Одесская область	920	3125	5460	5885
Николаевская область	690	531	1230	1150

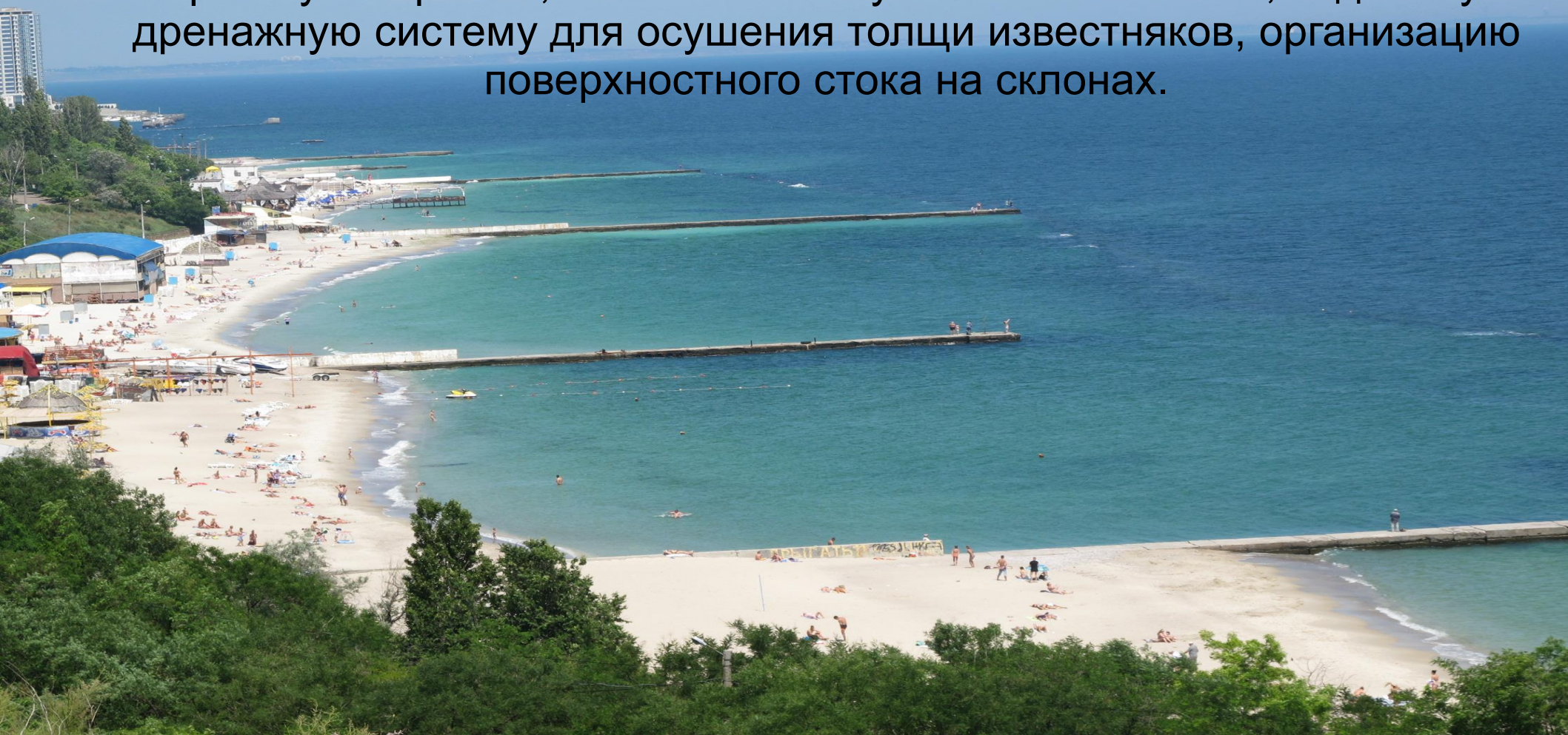
В Одесском регионе число оползней за 25 лет увеличилось в 6 раз.

Борьба с оползновыми процессами

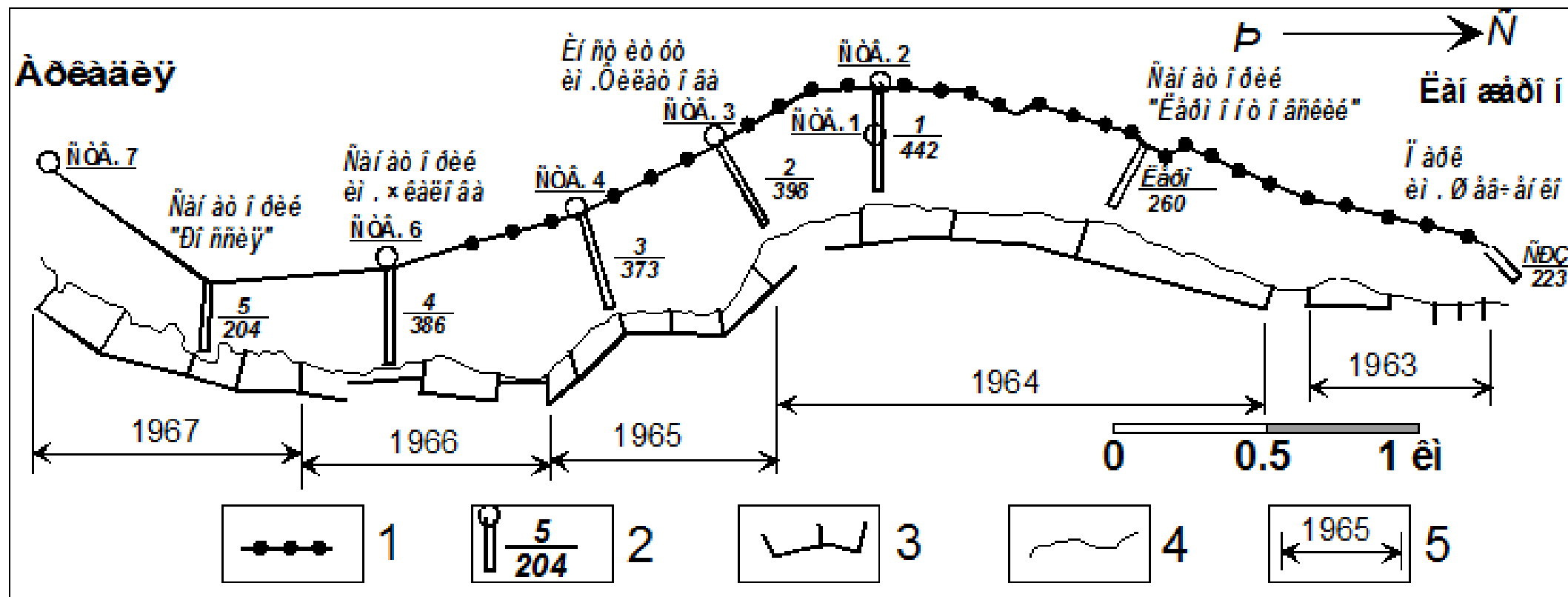
В Украинском Причерноморье проводят мероприятия по борьбе с оползнями. В ряде регионов они успешны. К ним относятся:

- террасирование склонов,
- снижение береговой абразии,
- строительство дренажных систем для осушения основных деформирующихся горизонтов.

На Одесском побережье создана уникальная комплексная система берегозащиты, включающая террасирование склонов, их озеленение, систему подводных и надводных волнорезов и волноломов, снижающих береговую абразию, намывание искусственных пляжей, подземную дренажную систему для осушения толщи известняков, организацию поверхностного стока на склонах.



План-схема строительства противооползневых сооружений вдоль Одесского побережья



- 1 – дренажные скважины вдоль галереи параллельно берегу;
- 2 – водоотводные штольни;
- 3 – система подводных волноломов и волнорезов;
- 4 – береговая линия;
- 5 – годы строительства.



Project funded by the
EUROPEAN UNION



Возрастание техногенной нагрузки (застройка неблагоприятных участков) приводит к нарушению равновесия верхней зоны геологической среды. В результате возрастает количество и частота активизации оползней.



Project funded by the
EUROPEAN UNION



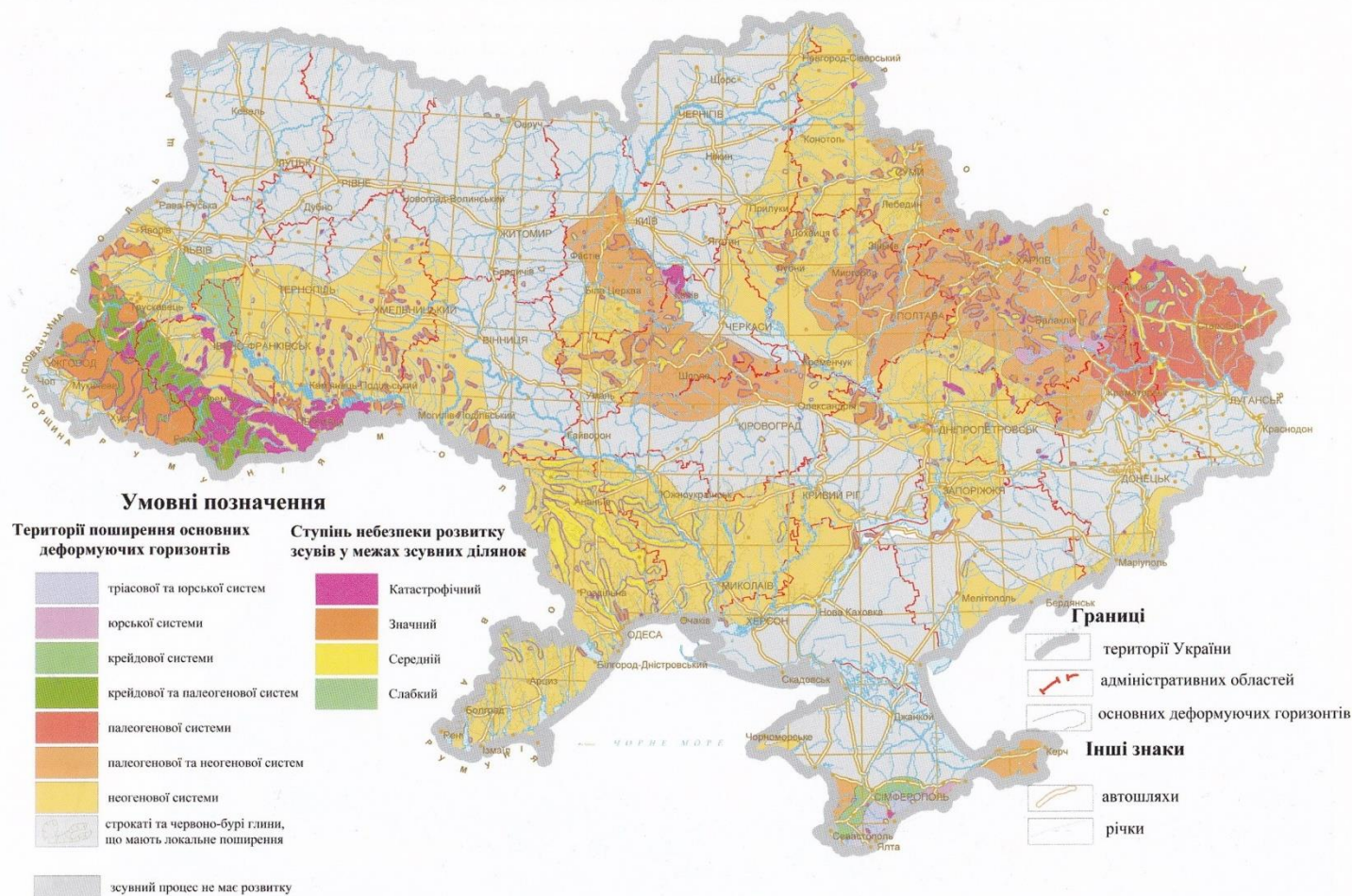
Оценка оползневой опасности

Для территории Украинского Причерноморья выполнена
прогнозная оценка степени опасности развития оползней .
Выделены территории распространения оползней и отсутствия
оползней.

Результаты оценки

представлены на **карте
оценки опасности
развития оползней** [Л.М.
Климчук, П.В. Блінов,
В.Ф. Величко та ін.
«Сучасні інженерно-
геологічні умови України
як складова безпеки
життєдіяльності», -
Київ.: ВПЦ «Експрес». -
2008. - 224 с.]

По результатам оценки
побережья Черного и
Азовского морей являются
наиболее уязвимыми в
Украине в отношении
опасности развития
оползней.



Методика оценки оползневой опасности

Нами в рамках данного проекта была разработана методика оценки оползневой опасности на региональном уровне с применением ГИС-технологий.

Предлагаемая методика оценки потенциальной оползневой опасности учитывает влияние следующих факторов:

- вертикальная расчлененность рельефа;
- мощность четвертичных отложений;
- преобладающий тип комплексов дочетвертичных отложений и наличие в геологическом разрезе деформирующих горизонтов;
- глубины залегания уровней грунтовых вод;
- плотность лесного покрова;
- количество атмосферных осадков;
- сейсмическая активность;
- интенсивность абразии берегов (для прибрежных районов).

Влияние каждого фактора неравнозначно, их значимость определяются эмпирическим путем в результате изучения данных о фактически существующих оползнях на юге Украины

Методика оценки оползневой опасности

В основу расчета **оценки оползневой опасности (H)** положена теория Мора. В расчетах принимается, что оползневая опасность прямо пропорциональна **восприимчивости склона (Su)** и **величине пускового фактора (Tr)** и выражается формулой

$$H = Su * Tr \quad (1)$$

Методика оценки оползневой опасности

Восприимчивость склонов на региональном уровне определяется такими факторами как:

- вертикальная расчлененность рельефа (D_r);
- мощность четвертичных отложений (cQ);
- преобладающий тип дочетвертичных пород и наличие в них деформирующих горизонтов (G);
- глубины залегания уровней грунтовых вод (U);
- плотность лесного покрова (F_c).

Для региональной оценки оползневой опасности **восприимчивость склонов** может быть выражена формулой

$$S_u = D_r + 0.7cQ + 0.5G + 0,5U - 0,3F_c \quad (2)$$

Восприимчивость оценивается путем сложения этих факторов с учетом значимости каждого. Для сложения значений разного порядка предлагается оценивать эти значения в баллах, применяя к каждому параметру коэффициент значимости. Данные коэффициенты определяются путем экспертной оценки, они применимы для прогнозов регионального уровня. Для отдельных районов влияние каждого фактора может сильно колебаться, поэтому для локальной оценки оползневой опасности необходимы уточнения каждого из коэффициентов эмпирическим путем.

Методика оценки оползневой опасности

Периодические резкие изменения инженерно-геологических условий (интенсивные атмосферные осадки и сейсмические сотрясения) могут выводить склоны из стабильного состояния и приводить к активизации оползней. Такие воздействия формируют **пусковой фактор** оползневой активности.

Составляющими **пускового фактора** являются:

- интенсивность атмосферных осадков (P),
- сейсмический балл территории с учетом приращения сейсмической активности ($S+\Delta$),
- интенсивность абразии берегов (для прибрежных районов) (Fa).

Величина пускового фактора определяется по формуле:

$$Tr = P + 0,2(S+\Delta) + 3Fa \quad (3)$$

Методика оценки оползневой опасности

Факторы восприимчивости склонов

Степень расчлененности рельефа (D_r) является ведущим фактором при оценке оползневой опасности. Этот показатель может выражаться в амплитуде высот на единицу площади или в уклонах рельефа земной поверхности. Мы предлагаем следующее ранжирование уклонов земной поверхности по следующим интервалами: 0-1, 1-2.5, 2.5-5, 5-10, 10-15, 15-25, $> 25^\circ$. Это базовые диапазоны характеристики склонов. Каждому их выделенных диапазонов присваивается балл расчлененности рельефа, который используется в предлагаемой формуле:

- 1 балл – 0 - 1° ,
- 2 балла – 1 - $2,5^\circ$,
- 3 балла – $2,5 - 5^\circ$,
- 4 балла – 5 - 10° ,
- 5 баллов – 10 - 15° ,
- 6 баллов – 15 - 25° ,
- 7 баллов – $> 25^\circ$.

Учитывая высокую значимость степени расчлененности рельефа на оползневую активность, этот фактор при расчетах применяется с коэффициентом 1.

Методика оценки оползневой опасности

Факторы восприимчивости склонов

Мощность четвертичных отложений (сQ) является весомым фактором в формировании оползней, т.к. четвертичные породы не литифицированы и большей степени подвержены гравитационным процессам.

Для анализа этого фактора в региональном масштабе предлагается оценить мощность четвертичных отложений в баллах в следующих диапазонах значений:

- 1 балл – 0-5 м,
- 2 балла – 5-10 м,
- 3 балла – 10-20 м,
- 4 балла – 20-40 м,
- 5 баллов – 40-60 м,
- 6 баллов – 60-80 м,
- 7 баллов – >80 м.

Величина значимости этого параметра в оценке региональной оползневой опасности может использоваться с коэффициентом 0,7, который определен путем экспертной оценки при сопоставлении зависимостей распределения мощностей четвертичных отложений и активности оползневых процессов в пределах юга Украины.

Методика оценки оползневой опасности

Факторы восприимчивости склонов

Преобладающий тип дочетвертичных пород и наличие в них деформирующих горизонтов (G) для расчета потенциальной оползневой опасности оценивается в баллах соответственно крепости дочетвертичных пород, их возрасту и наличию в них глинистых прослоев – потенциальных деформирующих горизонтов. Наиболее высокий балл при оценке оползневой опасности имеют водопроницаемые породы с глинистыми прослоями. В соответствии с этим, выходящие на поверхность дочетвертичные породы юга Украины бытии типизированы и оценены в баллах следующим образом:

- 1 балл – комплекс сарматских отложений N_1s (известняки, песчаники)
- 2 балла – комплекс понтических отложений N_{1p} (известняки, глины, мергели, пески)
- 3 балла – комплекс меотических отложений N_{1m} (глины, пески, алевроиты)
- 4 балла – комплекс балтских отложений $N_{1-2}bl$ (пески, песчаники, глины, известняки, мергели)
- 5 баллов - комплекс плиоценовых отложений N_2 (глины, суглинки, алевроиты)

Учитывая отсутствие большого разнообразия типов горных пород на юге Украины и развитие среди дочетвертичных образований в основном терригенно-карбонатных комплексов неогена, значимость данного фактора позволяет использовать его при оценке оползневой активности с коэффициентом 0,5.

Методика оценки оползневой опасности

Факторы восприимчивости склонов

Глубина залегания уровней грунтовых вод (U) является значимым фактором при оценке оползневой опасности. Повышение уровня грунтовых вод в большинстве случаев приводит к активизации экзогенных гравитационных процессов, в том числе и оползней.

При оценке фактора уровня грунтовых вод на региональном уровне предлагается использовать данные о потенциальном подтоплении территорий, исследования уровня грунтовых вод чаще носят локальный характер, а на региональном уровне общедоступными являются именно данные о подтоплении. В соответствии с этим, предлагается оценивать уровни грунтовых вод в баллах в зависимости от степени подтопления территорий юга Украины:

1 балл – не подтопляемые территории

2 балла – слабое подтопление

3 балла – умеренное подтопление

4 балла – значительное подтопление

5 баллов – интенсивное подтопление (под действием многолетнего высокого уровня грунтовых вод).

Данный фактор при расчете оползневой опасности может использоваться с коэффициентом 0,5.

Методика оценки оползневой опасности

Факторы восприимчивости склонов

Плотность лесного покрова (или лесистость) (F_c) является сдерживающим фактором при развитии оползневых процессов. Высокая плотность лесной растительности значительно повышает устойчивость склонов и уменьшает потенциальную опасность оползней. При оценке оползневой опасности значение плотности лесного покрова используется с отрицательным знаком.

Интенсивность лесных покровов территории юга Украины выражается в % лесистости на единицу площади и может оцениваться в следующих баллах:

- 1 балл – до 5 %
- 2 балла – 5-10 %
- 3 балла – 10-20 %
- 4 балла – 20-50 %
- 5 баллов – >50 %

Данный фактор при расчете оползневой опасности может использоваться с коэффициентом -0,3.

Методика оценки оползневой опасности

Составляющие пускового фактора

Интенсивность атмосферных осадков (Р) является определяющей при активизации оползней. Атмосферные осадки приводят к повышению уровня грунтовых вод, что оказывает стрессовое влияние на восприимчивость склонов. Прямая зависимость активизации оползней от интенсивности атмосферных осадков доказана многочисленными исследованиями.

Для оценки оползневой опасности используется среднегодовое количество осадков, этот показатель может быть ранжирован следующим образом.

- 1 балл – менее 400 мм в год,
- 2 балла – 400-450 мм в год,
- 3 балла – 450-500 мм в год,
- 4 балла – 500-600 мм в год,
- 5 баллов – 60-800 мм в год,
- 6 баллов – 800-1000 мм в год,
- 7 баллов – >1000 мм в год,

Учитывая высокую значимость количества атмосферных осадков в составе пускового фактора, эта составляющая при расчетах применяется с коэффициентом 1.

Методика оценки оползневой опасности

Составляющие пускового фактора

Сейсмический балл территории с учетом приращения сейсмической активности ($S+\Delta$). Сейсмическая активности территории обуславливает степень активизации потенциально оползневых массивов. Сейсмический балл территорий приводится на основании общего сейсмического районирования Украины 2004 года с 10%-ной вероятностью превышения сейсмической активности на протяжении 50 лет (GSZ2004a). По результатам GSZ2004a сейсмический балл территории юга Украины изменяется в пределах от 5 до 8. Кроме того, в силу локальных инженерно-геологических особенностей отдельных территорий (механические свойства и обводненность грунтов, геоморфологические особенности) сейсмический балл на отдельных участках может повышаться до +2 баллов, что показано результатами микросейсмического районирования отдельных территорий. Поэтому при расчетах оползневой опасности сейсмическая составляющая используется с учетом возможного приращения сейсмической активности (Δ) для тех районов, где было проведено микросейсмическое районирование. В силу того, что сейсмическая активность в Украине оценивается в баллах по шкале MSK-64, необходимость перевода абсолютных значений этого показателя в баллы сейсмической составляющей пускового фактора при оценке опасности оползней отпадает. Учитывая высокие значения баллов шкалы MSK-64 по отношению к применяемым в данной методике баллам для других факторов, предлагается использовать данный параметр с коэффициентом 0,2.

Методика оценки оползневой опасности

Составляющие пускового фактора

Интенсивность абразии берегов (F_a) в качестве составляющей пускового фактора имеет огромное значение для прибрежных территорий. Интенсивная абразия берегов увеличивает углы уклонов склонов, изменяет гидрогеологические и инженерно-геологические параметры и приводит склоны в состояние неустойчивости. Интенсивность абразии для локальных участков выражается в абсолютных значениях скорости абразии берега (м в год), но для региональных прогнозов достаточно оценить в баллах тип берега в отношении абразионных процессов:

- 0 баллов – аккумулятивные и стабильные берега;
- 1 балл – абразионные берега, сложенные скальными и полускальными породами (известняки, песчаники);
- 2 балла – абразионные берега, сложенные пористыми и рыхлыми породами (пески, глины, лессы).

Учитывая высокое значение интенсивности абразии на активизацию оползней в береговых районах, при расчетах данная составляющая используется с коэффициентом 3.

Методика оценки оползневой опасности

При оценке потенциальной оползневой опасности в региональном масштабе можно пользоваться следующей результатирующей формулой:

$$H = (Dr + 0.7cQ + 0.5G + 0,5U - 0,3Fc) * (P + 0.2(S+\Delta) + 3Fa) \quad (4)$$

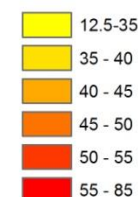
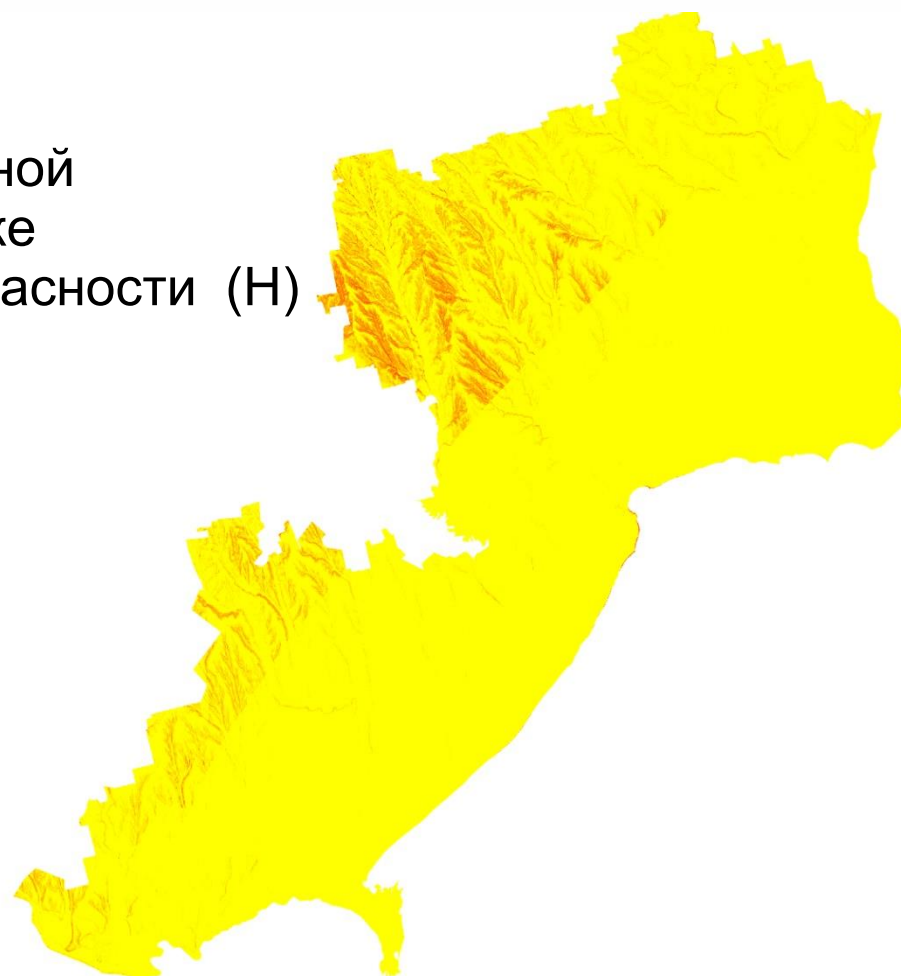
Приведенная формула (4) может быть использована при приблизительной оценке потенциальной опасности оползней. Для более детальной оценки на локальных участках необходимо учитывать конкретные инженерно-геологические свойства пород, гидрологический режим участка и степень техногенной нагрузки. Также при детальных исследованиях потенциальной оползневой опасности необходимо учитывать наличие и активность существующих оползневых проявлений.

Методика оценки оползневой опасности

По данной методике была составлена карта оползневой опасности юга Украинского Причерноморья.

Анализировать результаты прогнозной оценки регионов по данной методике и оценивать степень оползневой опасности (Н) можно по следующей шкале:

слабая – 5-40 баллов;
средняя – 40-60 баллов;
значительная – 60-80 баллов;
угрожающая – 80-100 баллов;
катастрофическая > 100 баллов.



Методика Мора-Варсона

Для оценки оползневой опасности также предложено использовать единую для всех участников проекта методику.

Опасность развития оползней зависит от восприимчивости склонов (**SUSC**) и величины пускового фактора (**TRIG**) и оценивается по формуле:

$$HI = SUSC * TRIG = (Sr * SI * Sh) * (Ts + Tp) \quad , \quad \text{где}$$

Sr – уклоны склона

SI – литологический фактор - крепость и устойчивость горных пород

Sh – влажность грунта исходя из среднемесячного количеством осадков

Ts – сейсмический балл территории

Tp – вероятность катастрофических ливней

Все факторы оцениваются в баллах в соответствии с предлагаемой ранжировкой.

Методика Мора-Варсона

Sr – уклоны склона

Rr = (Hmax-Hmin)/km2 – уклоны рассчитываются как амплитуда высот в м на кв.км. Выражаются в баллах по таблице:

Relative Relief Rr (m/km2)	Classification	Slope Factor Sr
0-75	Very Low	0
76-175	Low	1
176-300	Moderate	2
301-500	Medium	3
501-800	High	4
>800	Very High	5

Table 1. Slope factor classification

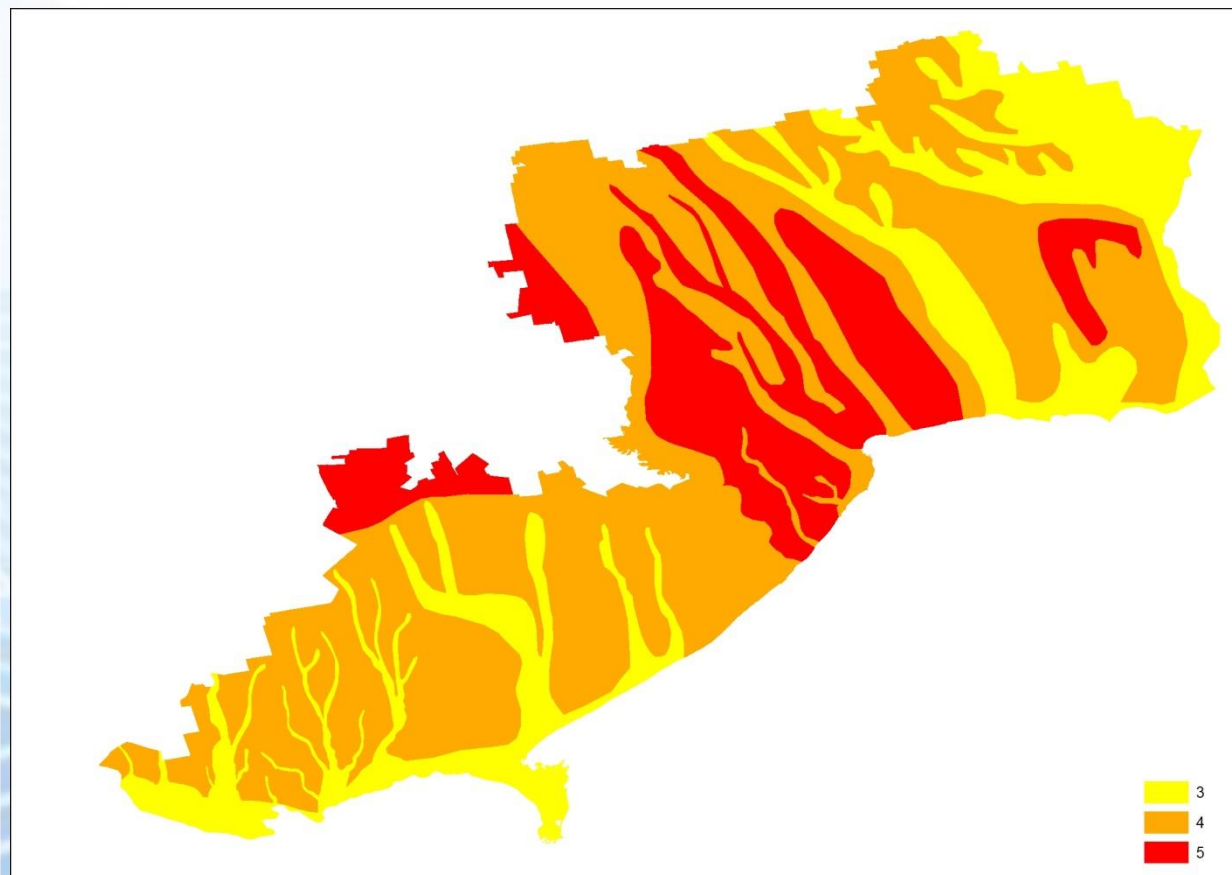


Методика Мора-Варсона

SI – литологический фактор - крепость и устойчивость горных пород

Выражается в баллах по таблице:

Литологический тип пород	баллы
Скальные породы	2
Неоген-четвертичные аллювиальные и лиманные отложения (песчано-алевритовая формация)	3
Неоген-четвертичные лессы мощностью менее 20 м	4
Неоген-четвертичные лессы и суглинки мощностью менее 20 м и интенсивно абрадируемые в прибрежной части	5



Методика Мора-Варсона

Sh – влажность грунта

Выражается в баллах в соответствии с количеством атмосферных осадков на протяжении года.

Каждому месяцу присваивается балл в зависимости от интенсивности атмосферных осадков.

Сумма всех баллов за 12 месяцев рассчитываются для каждого анализируемого пункта. Эти значения лежат в диапазоне от 0 до 24.

Значение **Sh** классифицируется на 5 групп.

Среднемесячные осадки (мм / месяц)	Балл для месяца
<125	0
126-250	1
>250	2

Суммарное значение индексов осадков	Категория	Фактор Sh
0-4	Очень низкая	1
5-9	Низкая	2
10-14	Средняя	3
15-19	Высокая	4
20-24	Очень высокая	5

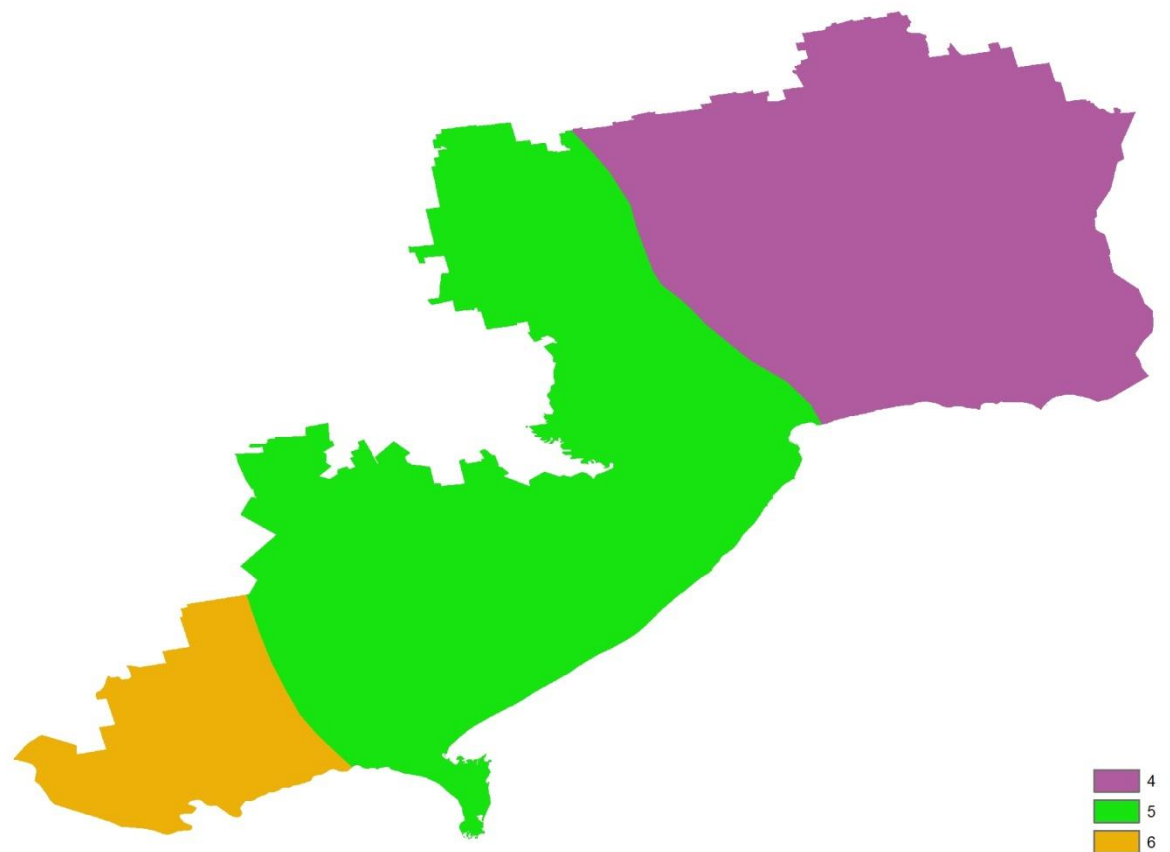
Для территории украинского Причерноморья фактор **Sh** равен 1.

Методика Мора-Варсона

Ts – сейсмический балл территории

Выражается в баллах в соответствии с баллами сейсмичности по ОСР-2004 по таблице:

Intensities (MM) Tr=100yr	Qualification	Factor Ts
III	Slight	1
IV	Very Low	2
V	Low	3
VI	Moderate	4
VII	Medium	5
VIII	Considerable	6
IX	Important	7
X	Strong	8
XI	Very Strong	9
XII	Extremely Strong	10

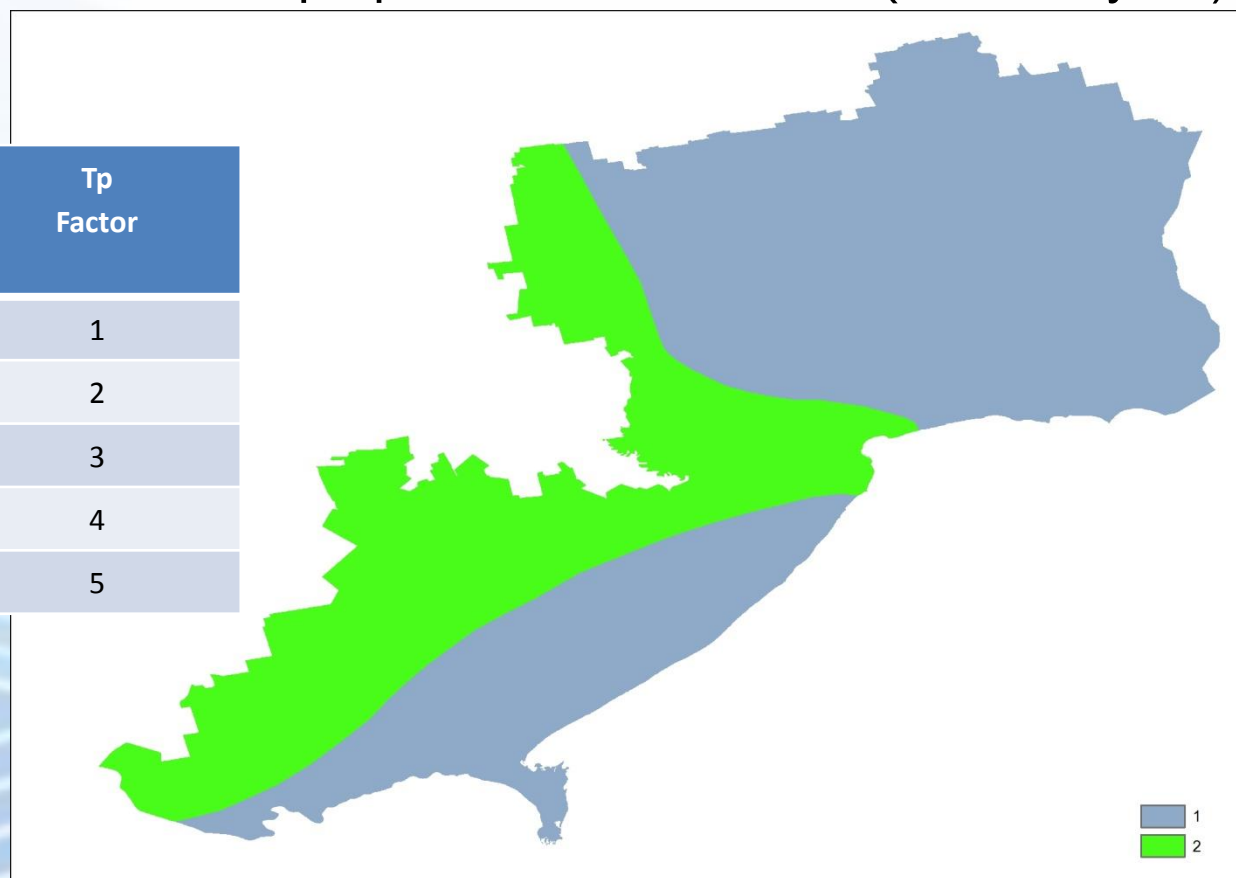


Методика Мора-Варсона

Тр – вероятность катастрофических ливней

Выражается в баллах в соответствии с катастрофическими ливнями (>100 в сутки) за последние 100 лет

Maximum Rainfall n>10yrs, Tr = 100yrs	Rainfall n<10yrs; Average	Qualificati on	Tp Factor
<100mm	<50mm	Very Low	1
101-200mm	51-90mm	Low	2
201-300mm	91-130mm	Medium	3
301-400mm	131-175mm	High	4
>400mm	>175mm	Very High	5





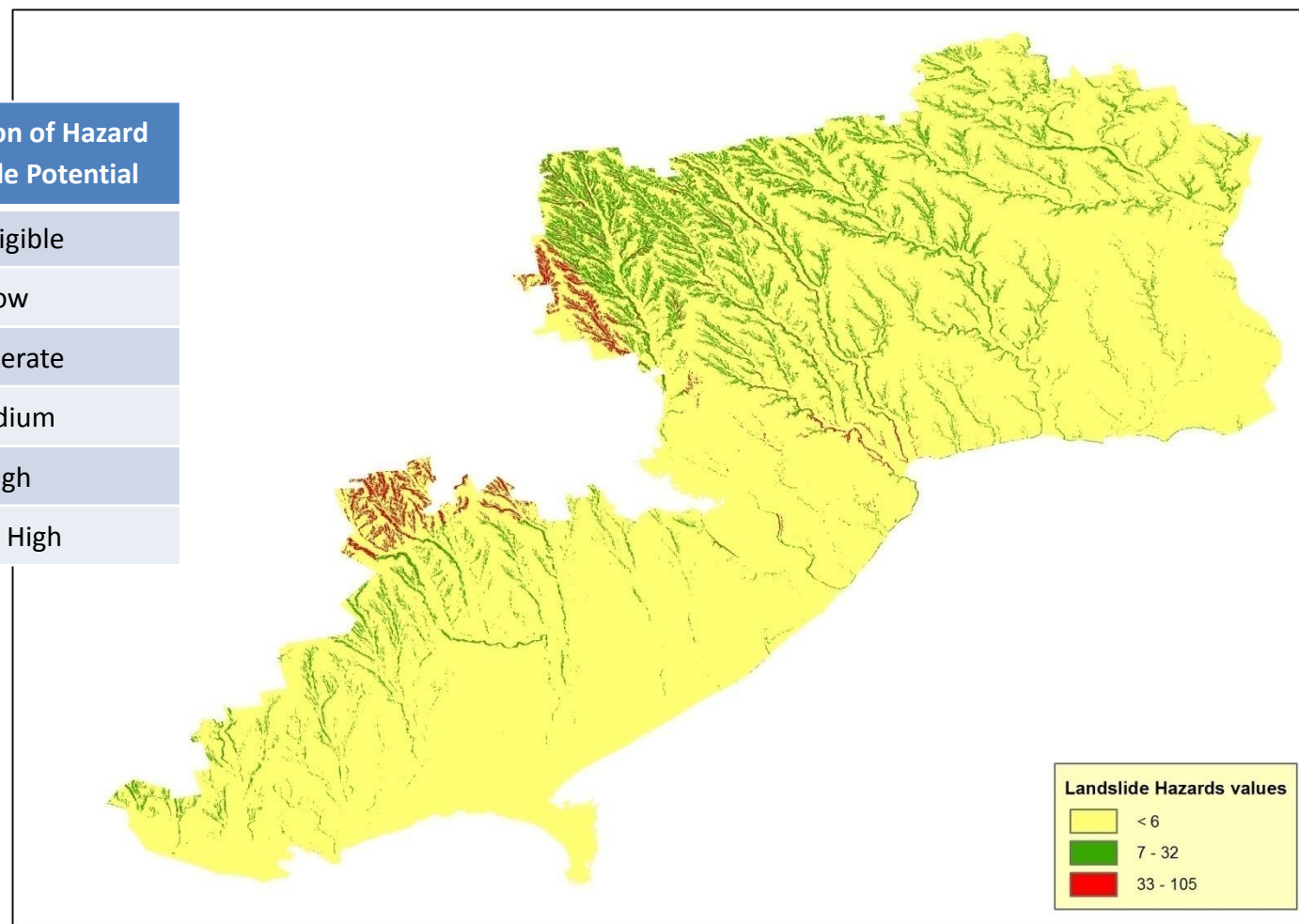
Project funded by the
EUROPEAN UNION



Методика Мора-Варсона

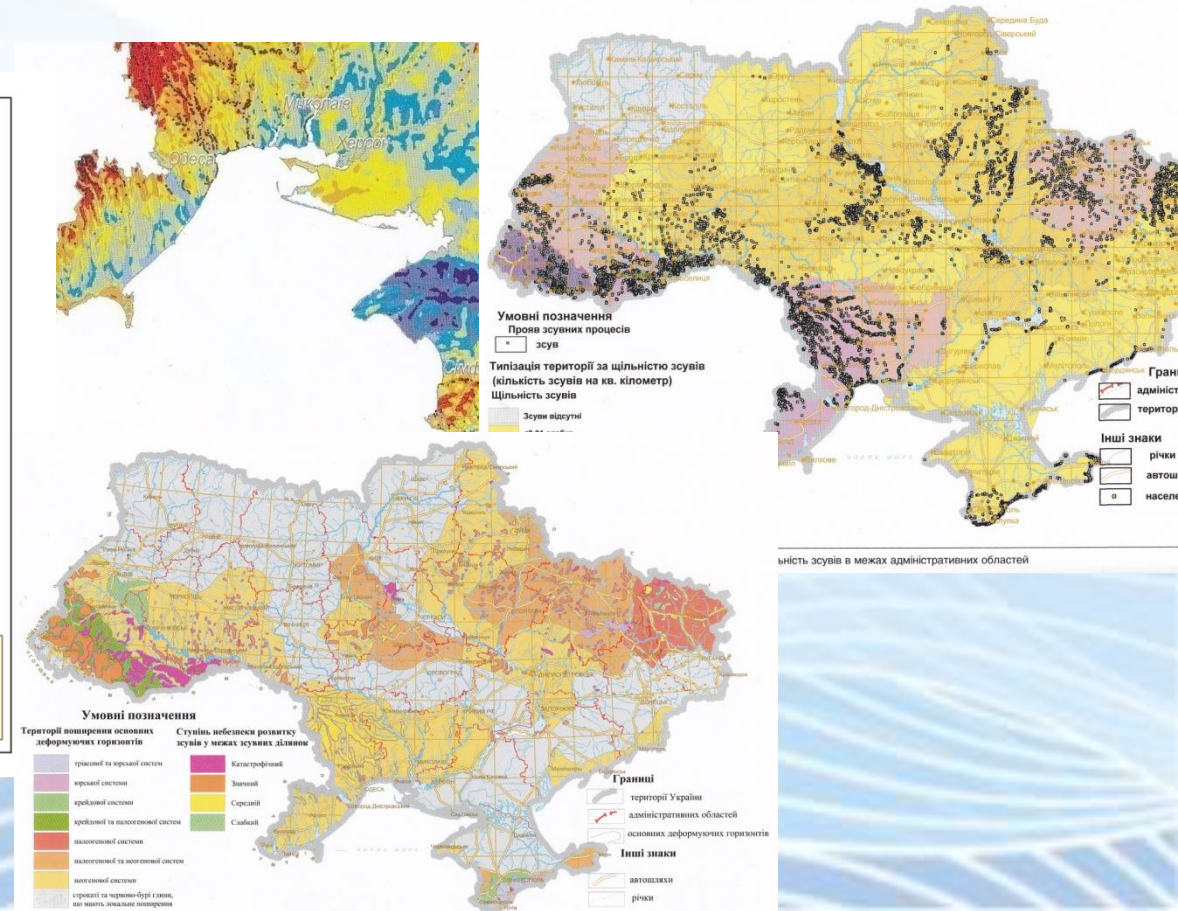
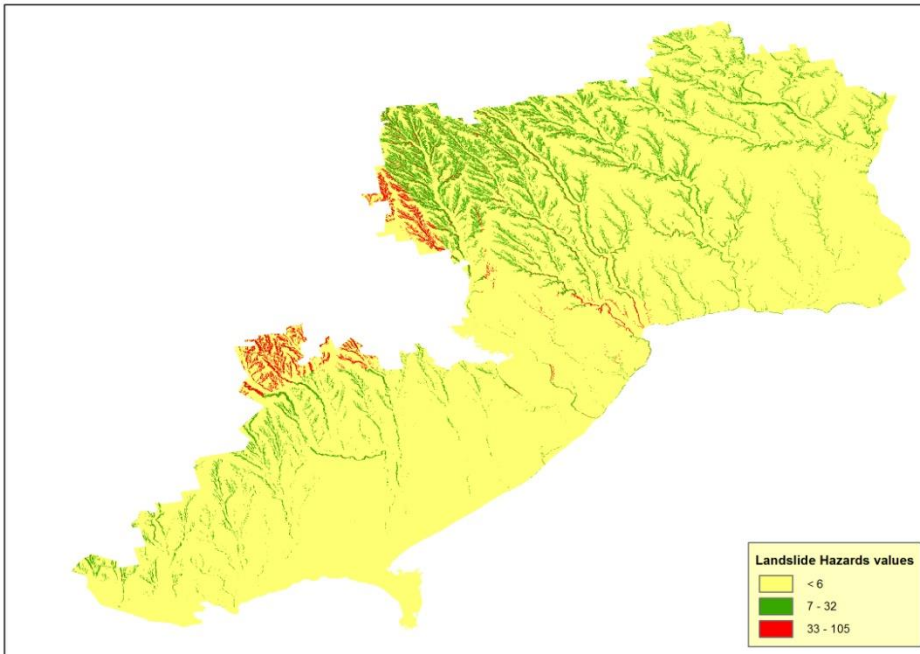
Результат оценки оползневой опасности юга Украинского Причерноморья представлен на Карте оползневой опасности:

Value of HI	Class	Classification of Hazard of Landslide Potential
<6	I	Negligible
7-32	II	Low
33-162	III	Moderate
163-512	IV	Medium
513-1250	V	High
>1250	VI	Very High



Методика Мора-Варсона

Результаты нашей оценки опасности оползней хорошо сочетаются с ранее проводимыми оценками территории Украины. Наиболее опасными участками являются северная и северо-западная часть Одесской области, участки побережья с высокой расчлененностью рельефа и участки с активной абразией



Проблемы оползневой опасности:

Основные проблемы, связанные с повышением оползневой опасности, имеют глобальный, региональный и местный характер.

глобальные :

изменения климата,
общее увеличение количества атмосферных осадков.

региональные :

увеличение уровня грунтовых вод в оползнеопасных районах,
возрастание сейсмичности в Украинском Причерноморье,
увеличение техногенной нагрузки;

местные :

изнашивание построенных противооползневых сооружений,
недостаток строительства новых противооползневых сооружений,
подтопления от частного строительства;
несанкционированные локальные вмешательства в геологическую среду,
приводящие к изменению инженерно-геологических параметров и, как
следствие, активизации оползней.

Благодарим за внимание!



Контакты:

fedoronch@gmail.com

rubeloleg@gmail.com