

ется тем, что указанные представления основаны на теоретических предположениях распределения радиоактивных элементов в земной коре под влиянием метаморфических и магматических процессов. В истории геологического развития УЩ сформировавшиеся породы в ослабленных тектонических зонах под влиянием гидротермальных растворов в исходном виде, возможно, и были более радиоактивными по сравнению с таковыми соседних площадей. Однако в последующем по мере развития зоны активной трещиноватости общая радиоактивность пород уменьшалась под действием различных физико-химических и фильтрационных процессов. Причем, чем более трещиноватыми и проницаемыми оказывались породы, тем интенсивнее был вынос из них радиоактивных элементов. В результате в существующей обстановке при прочих равных условиях более водообильными оказываются менее радиоактивные породы, что и подтверждается результатами выполненных нами исследований.

2. Наряду с радиоактивностью косвенными показателями водообильности могут также служить такие характеристики химического состава пород, как K_2O , K_2O/Na_2O и SiO_2 . При прочих равных условиях чем выше содержание этих компонентов, тем меньше водообильность.

3. Более древние породы водообильнее, чем относительно молодые. Как правило, с увеличением возраста пород уменьшается их радиоактивность, возрастает содержание натрия и падает — калия.

Киев. ун-т, Киев
ПГО «Севукргеология», Киев

Статья поступила
18.12.85

Summary

A correlation between the Ukrainian Shield crystalline rocks' water abundance and total radioactivity is confirmed through the example of granites and migmatites of the Kirovograd-Zhitomir and Berdichev complexes. Other things being equal, the less radioactive the rocks, the more water-abundant they are. Such characteristics of the chemical composition of rocks, as K_2O , K_2O/Na_2O and SiO_2 may serve as indirect water abundance indices parallel with radioactivity.

УДК 624.131.543.551.1

Динамика склонов территорий, прилегающих к сейсмогенным зонам

М. Г. Демчишин, В. Ф. Краев

Введение

Макросейсмический эффект землетрясений часто проявляется в различных сейсмических деформациях и дислокациях склонов равнинных и горных областей, прилегающих к сейсмогенным зонам. Реакции склонов как естественных сооружений на сейсмические воздействия, весьма разнообразные по характеру и масштабам проявления, изучены недостаточно; не разработаны также надежные методы оценки устойчивости склонов различных типов и контроля их поведения в условиях повышенной сейсмичности.

Динамика склонов долин равнинных и горных рек, а также берегов морей в большой мере определяется сейсмическими воздействиями со стороны сейсмогенных зон, прилегающих к этим территориям. Территории Украины и Молдавии, на примере которых рассматривается динамика склонов, находятся в сфере воздействия Карпатских, Крым-

ских и, частично, Кавказских сейсмогенных зон. Весьма ощутимый макросейсмический эффект на сооружения, грунты и элементы рельефа территории Молдавии и значительной части Украины оказывают подкоровые ($h=100 \dots 180$ км) очаги землетрясений, находящиеся в юго-восточной части Карпатской дуги (сочленение Восточных и Южных Карпат, так называемый массив Вранча в Румынии).

Для установления характера сейсмических воздействий на склоны долин рек, берегов морей, озер и лиманов, расположенных в зонах, прилегающих к очагам сильных землетрясений, рассматривались изменения состояния склонов и присклоновых грунтовых массивов после прохождения сейсмических импульсов. Изучались склоны долин рек бассейнов Дуная и Днестра, берега придунайских озер (Ялпуг, Кагул), побережье Черного моря на участке оз. Бурнас — Одесский залив, а также участок правобережного склона Днепра на участке Киев — Канев.

Оценка состояния склонов выполнена на основании инструментальных и визуальных наблюдений, свидетельств местных жителей и очевидцев. Используются опубликованные материалы, в которых отражен макросейсмический эффект землетрясения 4 марта 1977 г. [4].

Макросейсмический эффект Карпатского землетрясения в указанных районах отчетливо отразился на элементах рельефа и режиме грунтовых вод. Отмечены подвиги оползней, обвалы на крутых лессовых уступах, наступившие непосредственно после прохождения сейсмических волн, подъемы и опускания уровня грунтовых вод до 1,0—1,5 м, исчезновение и появление новых источников. Зафиксированы случаи проявления обвалов и оползней спустя некоторое время после землетрясения (несколько недель и месяцев), которые прямым образом не связывались с сейсмическими воздействиями. В этих случаях выяснилась роль землетрясения как дополнительного фактора, влияющего на устойчивость склонов. Возможность косвенных влияний землетрясения 4 марта 1977 г. рассматривалась во всех случаях при выяснении причин разрушений склонов и откосов в Молдавии и на Украине, проявившихся в 1977—1984 гг.

Определенный макросейсмический эффект на склонах территории Молдавии и Украины отмечен также после относительно слабых землетрясений 13 ноября 1981 г. (10 ч 07 мин по Гринвичу), 1 августа 1985 г. (12 ч 18 мин по Гринвичу).

Сейсмичность, геологическое строение, геоморфология территории

Согласно действующим строительным нормам (СНиП 11-7-81), территория Молдавии и значительная часть территории Украины, с учетом влияния сейсмогенных очагов Карпат и Крыма, характеризуется сейсмичностью, превышающей 5 баллов (шкала MSK-64, ГОСТ 6249-52). Как видно из рис. 1, макросейсмический эффект землетрясения 4 марта 1977 г., эпицентр которого находился в 120 км от юго-западной границы СССР, на территории Румынии (зона Вранча), отмечался на большой площади Молдавии и Украины. Изосейста 5 баллов этого землетрясения заходит на северо-восток на расстояние от очага, превышающее 500 км (г. Белая церковь, Киевской области, УССР). В то же время в сейсмической тени остались значительно ближе расположенные горные области Восточных Карпат, где макросейсмический эффект не превысил 3—4 балла.

Изосейсты на рис. 1 не отражают полностью картины проявления макросейсмического эффекта. В некоторых местах, в зависимости от конкретных условий, отмечались отклонения как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения сотрясаемости. Сотрясаемость территорий интенсивностью выше 7 баллов является фактором, обуславливающим значительные изменения поверхности земли, приводящим к возникновению склоновых гравитационных процессов в результате силового воздействия сейсмических волн. Однако сейсмические воздействия на

склоны отмечаются и при более низких (6—5 баллов) значениях интенсивности и выражаются в уменьшении их устойчивости вследствие снижения сопротивления сдвигу песчано-глинистых пород, слагающих склоны, а также нарушения условий их дренирования.

Макросейсмический эффект интенсивностью 5—7 баллов проявился на территории Украины и Молдавии в различных геоструктурных зонах. В табл. 1 приведены основные характеристики геоструктурных зон, в пределах которых макросейсмический эффект превысил 5 баллов и нашел отражение на склонах.

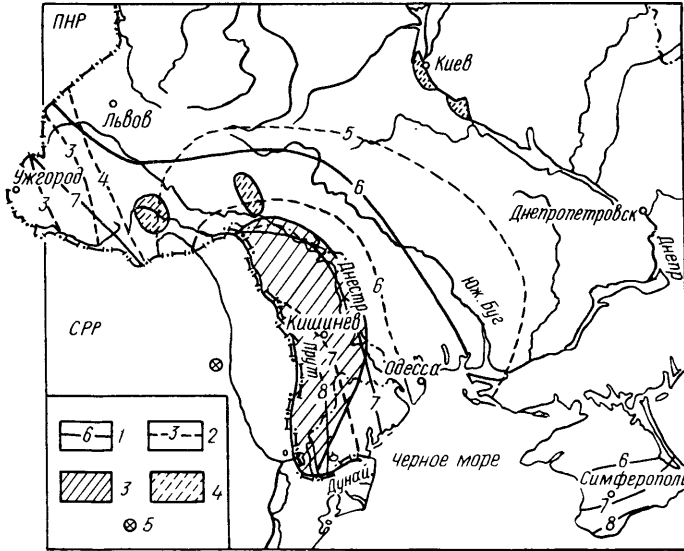


Рис. 1. Схема сейсмичности территории Украины и Молдавии
 1 — изосейсы (по СНиП 11-7-81); 2 — изосейсы землетрясения 4 марта 1977 г.; 3 — районы проявления сейсмодислокаций склонов; 4 — районы проявления оползней и обвалов, вызванных косвенным воздействием землетрясения; 5 — эпицентр землетрясения 4 марта 1977 г.

Рельеф рассматриваемой территории в большой степени отражает особенности ее геологического строения и характеризуется значительным разнообразием морфоструктур. Границы основных морфоструктур совпадают с разломами, которые также предопределяют положение речных долин. Выделяется Днестровский разлом, который образует в теле платформы ступень с амплитудой до 150 м [1] и отделяет Украинский щит (УЩ) от Молдавской плиты (часть Вольно-Подольской плиты, Бельцкий и другие блоки).

Направление речных долин в пределах УЩ в Приднестровье и в пределах Причерноморской низменности северо-западное, субмеридиональное. На междуречье Днестра — Прута направление долин северо-западное (Приднестровская возвышенность), меридиональное (Ялпуг, притоки Прута), северо-восточное (притоки Прута).

Характерным для рассматриваемой территории, за исключением структуры УЩ, является широкое развитие четвертичных и палеоген-неогеновых рыхлых песчано-глинистых отложений, значительная горизонтальная и вертикальная расчлененность поверхности.

В целом на территории Молдавии и юго-западной части Украины геологическое строение, рельеф, гидрогеология, покровные отложения обуславливают высокую динамичность поверхности, ее чувствительность к различного рода изменениям сложившихся условий, дополнительным нагрузкам и внешним воздействиям, что проявляется в движениях склонов, чаще всего приобретающих формы оползней и сплывов.

Эрозионная проработка рельефа (в частности, развитие долин основных рек — Днестра, Прута и их притоков) на всех этапах сопровождалась проявлением гравитационных процессов, масштабность которых возрастала с увеличением глубин эрозионного вреза. Оползни

начали проявляться после вскрытия долинами рек неоген-палеогеновых и меловых отложений.

Тектоническая обстановка в районе Карпат в конце неогена и в четвертичное время, протекание там горообразовательного процесса характеризуются постоянным проявлением сильных землетрясений, что способствовало развитию ослаблений склонов долины Прута и Днестра и возникновению оползневых деформаций.

Крупные блоковые оползни произошли в долине Днестра на участке между устьями его притоков Мурафа — Марковка после вскрытия рекой протерозойских отложений, в толщах которых содержатся слои аргиллитов и алевролитов. Древние блоковые оползни выявлены при изысканиях для гидротехнического строительства на левом и правом береговых склонах долин Днестра, выше г. Могилев-Подольский. Сместившиеся крупные оползневые блоки коренных пород объемами от 0,2 до 10 млн. м³ были перекрыты делювиально-осыпными отложениями. Древние оползни, перекрытые рыхлыми склоновыми осадками, образуют подвижный материал, который выходит из равновесного состояния на склонах при различных изменениях условий гидрогеологического и гидрологического режимов, аномальном ходе гидрометеорологических процессов, при сейсмических воздействиях. Мощность склоновых отложений достигает иногда 50 м. Они, как правило, сильно обводнены, что само по себе резко увеличивает чувствительность склонов к сейсмическим воздействиям.

1. Основные характеристики геоструктурных зон при интенсивности землетрясения 4.03.1977 г. более 5 баллов

Структура	Площадь в пределах изосейст 5—8 баллов, км ²	Удаление от эпицентра, км	Глубина расчленений, м	Мощность четвертичных отложений, м	Деформации склонов	
					во время землетрясения	после землетрясения
Предкарпатский прогиб	1 360	252—308	30—100	15—50	—	+
Вольно-Подольская плита	12 320	260—420	50—250	10—40	+	+
Украинский щит	54 160	300—504	20—80	2—20	—	—
Юго-западный склон УЩ	47 520	142—480	50—180	10—30	+	—
Причерноморская впадина	30 400	132—480	20—120	10—30	+	+
Добруджинский прогиб	8 496	102—248	30—150	10—20	+	+
Склон Добруджи	4 496	100—240	10—60	5—20	+	+
Складчатая область Карпат	410	260—288	200—400	5—20	—	+

В настоящее время на территории Молдавии насчитывается около 10 тысяч различных по форме и механизму развития оползней [5]. Значительное количество оползнепроявлений отмечается на территории юго-западных областей Украины. В сейсмоопасной 5—7-балльной зоне имеется также целый ряд обвально-эрозионных форм рельефа (стенки срыва оползней, лессовые уступы) на берегах озер, лиманов, на северо-западном побережье Черного моря.

За пределами 5-балльной зоны, на северо-восточном склоне УЩ, расположена неустойчивая зона правого берега Среднего Днепра. Береговой склон высотой 100—150 м сложен песчано-глинистыми породами палеогена, неогена и четвертичными отложениями (участок Вышгород — Ходоров), а также дислоцированными породами юры, мела, палеогена и неогена на участке Великий Букрин — Канев (Каневские гляциодислокации). На этих участках отмечается развитие склоновых гравитационных процессов в связи с эрозией и переработкой берегов Каневского водохранилища.

На оползневых склонах здесь во время землетрясения 4 марта 1977 г. отмечалось увеличение сейсмической интенсивности до 5—6 баллов.

Условия и характер проявления сейсмодифormаций и сейсмодислокаций склонов

Анализ макросейсмических явлений в грунтах, изучение механизма воздействия землетрясений на рельеф позволили установить характерные особенности развития сейсмодифormаций и сейсмодислокаций склонов [2—4, 6, 7].

Выход сейсмических волн из очага и переход их через различные слои пород приводит к явлениям дифракции, интерференции, к изменениям скорости, возрастанию амплитуд колебаний. Так, скорость сейсми-

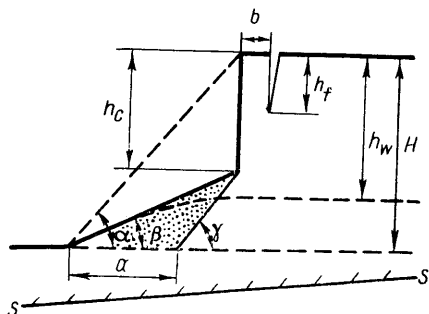


Рис. 2. Схема положения элементов склона, определяющих его сейсмоустойчивость

$S-S$ — граница резких изменений скорости продольных волн; H — высота склона; h_c — высота клифа (стенки срыва); h_f — глубина трещин (заколов); h_w — уровень грунтовых вод; b — ширина наклонной призмы у основания склона; a — общий угол наклона склона; β — угол наклона делювиальной призмы; γ — угол наклона коренного склона

ческих волн при переходе из скальных пород в рыхлые покровные отложения уменьшается: продольных — с 7,0—8,0 до 0,1—1,5 км/с; поперечных — с 2,0—4,8 до 0,01—0,7 км/с. Скорости продольных и поперечных волн, амплитуды колебаний в рыхлых песчано-глинистых породах в значительной мере определяются их влажностью. Для района исследований установлено [6], что увеличение влажности лессовидной супеси междуречья Дунай — Днестр с 5 до 20 % вызывает снижение скорости прохождения продольных сейсмических волн с 600 до 400 м/с. Связанные с этим эффекты в рыхлых обводненных грунтах выражаются в явлениях резонанса, гидравлического удара, разжижения песков, образования трещин и заколов в грунтах, глубина которых может быть определена из выражения

$$H = 2\pi f A v_p / g, \quad (1)$$

где f — частота колебаний, c^{-1} ; A — амплитуда колебаний, м; v_p — скорость прохождения продольных волн, м/с; g — ускорение силы тяжести, m/c^2 .

Прохождение сейсмических волн вызывает также значительные изменения свойств песчано-глинистых грунтов, прежде всего, уменьшение сопротивления сдвигу в результате разрушения структурных связей, переориентации частиц грунта, развития порового давления и виброползучести глин.

Эффект воздействия сотрясений на грунты присклоновых массивов усиливается влиянием напряженного состояния, обусловленного высокими градиентами склонов, наличием ослабленных зон и трещин.

Принимая во внимание периодичность сотрясений в результате воздействия Карпатских очагов землетрясений (табл. 2), а также техногенные сотрясения, при оценке устойчивости склонов должны учитываться и отмеченные выше явления в грунтах.

Неровности рельефа, склоны и перепады высот по-разному влияют на амплитудный и спектральный состав колебаний грунтов и различно реагируют на сотрясения. Здесь имеют значение геометрические параметры склонов, ориентация их по отношению к направлениям распространения волн, наличие на склонах выступов, трещин, откосов. Расче-

ты показывают [2], что при боковом подходе импульса результирующее волновое поле на противоположных склонах долин (бортах каньонов) не симметрично. При глубине долины порядка одной длины волн с сейсмически освещенной стороны амплитуда увеличивается почти в 2 раза, а в зоне сейсмической тени уменьшается в 5 и более раз. При глубине долины, намного меньшей длины волны, ее влияние на результирующее волновое поле незначительно. При простирании долины, согласном с направлением распространения волн, интенсивность сотрясений уменьшается с увеличением угла раскрытия долины. При боковом подходе сейсмической волны разрушительный эффект сейсмически освещенного склона будет проявляться только при определенном сочетании его геометрических параметров и свойств пород. Параметры склона, которые должны учитываться, приводятся на рис. 2.

2. Периоды (в годах) повторения сотрясений в Карпатском регионе [4]

Пункт	Для сотрясений интенсивностью			
	5 баллов	6 баллов	7 баллов	8 баллов
Рени	4	10	39	125
Унгены	9	28	118	625
Кишинев	10	34	141	658
Могилев-Подольский	34	167	625	∞
Одесса	38	192	909	∞

Из приведенной на рис. 2 схемы видно, что наиболее чувствительными к сотрясениям являются верхние части склона при наличии заколов и делювиально-оползневые отложения в основании склона. Коэффициенты устойчивости склона должны определяться с учетом приведенных параметров:

$$K_{уст} = f(\alpha, \beta, \gamma, H, a, b, h_c, h_f, h_w). \quad (2)$$

Рассматривая с изложенных позиций макросейсмический эффект землетрясения 4.03.1977 г., отмечаем, что наибольшее количество смещений пород на склонах проявилось непосредственно в период прохождения сейсмических волн и наблюдалось в зонах с интенсивностью 8 баллов (склоны долины Прута и Днестра, район Кодр в Молдавии). Произошли обвалы крутых лессовых уступов, значительные смещения действующих оползней. Для обвалов уступов характерно увеличение объемов сместившихся пород с повышением интенсивности сотрясений. Как правило, обвалы произошли в местах, где имелись откальвающие трещины. Обвалы с опрокидыванием были крайне редки. Объемы сместившихся лессовых блоков в 7-балльной зоне достигли 5000—7000 м³ (западный берег оз. Ялпуг, севернее с. Плавни Одесской области). В тех же местах при землетрясении интенсивностью 4—5 баллов (1 августа 1985 г.) отмечались обвалы объемом до 1500 м³.

В пределах Вольно-Подольской возвышенности (в 6-ти и 5-балльной зоне) в результате прямого воздействия землетрясения проявились обвалы только на склонах северо-западного и меридионального простирания, при боковом подходе сейсмической волны. Объемы обвалов не превысили 3000—3500 м³. Характерно, что абразионные уступы на Черноморском побережье, будучи в сейсмической тени, не отреагировали на сотрясения. Прямое силовое воздействие землетрясений никак не проявилось на склонах и уступах террас за пределами 5-балльной зоны.

Значительно больше отмечалось деформаций и дислокаций склонов, последовавших в результате не прямых воздействий землетрясения. Такие смещения отмечались в зонах 5—6 баллов (левый берег Прута в районе Снятина, левый берег р. Смотрич в районе г. Каменец-Подольский, отдельные участки склонов берега Днестра в районе Киева).

В этих случаях воздействие землетрясения сказалось на прочности пород и нарушении условий дренирования склонов, что привело к повышению уровня грунтовых вод, зафиксированному в скважинах и колодцах.

Заклучение

Сейсмодетормации и сейсмодислокации склонов, сложенных рыхлыми песчано-глинистыми грунтами, часто проявляются на территориях, прилегающих к очагам сильных землетрясений, в зонах сейсмической интенсивности 5—7 баллов. Оползни и обвалы возникают непосредственно в период землетрясений как результат прямого силового воздействия сотрясений на неустойчивые участки склонов, а также спустя некоторое время (от нескольких дней до нескольких месяцев) после прохождения сейсмических волн как результат снижения прочности массивов и перестройки путей фильтрации подземных вод.

В каждом случае развитие деформаций и дислокаций определяется конкретным сочетанием геологических, геоморфологических, гидрогеологических условий, гидрометеорологических воздействий, направлением прохождения сейсмических импульсов. Сейсмический фактор иногда является решающим при развитии гравитационных склоновых процессов и необратимом снижении устойчивости склонов.

Summary

Geological, geomorphological, hydrogeological conditions when the macroseismic effect is expressed on the slopes of different types are determined as based on the analysis of seismodeformations and seismodislocations of slopes in the territories of the Ukrainian and Moldavian SSR. The seismic centre position, slopes' orientation with respect to the seismic wave propagation direction, the amplitude composition of oscillations are taken into account. The «triggering» effect of seismic actions when slopes are ready to get deformations and seismicity as a resistance-affecting factor are considered.

1. Билинкис Г. М., Друмя А. В., Дубиновский В. Л., Покатилов В. П. Геоморфология Молдавии.— Кишинев: Штиинца, 1978.—187 с.
2. Бугаев Е. Г. Особенности колебания бортов каньонов при землетрясениях: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— М., 1976.—29 с.
3. Василенко Е. М. Сейсмическое микрорайонирование территории городов Берегово, Ужгорода и Черновцов по геологическим данным // Сейсмичность Украины.— Киев: Наук. думка, 1969.— С. 107—115.
4. Карпатское землетрясение 4 марта 1977 года и его последствия / Отв. ред. А. В. Друмя.— М.: Наука, 1980.—271 с.
5. Левадюк А. Т., Орлов С. С., Ткач В. Н. Проблема оползней в Молдавии, ее содержание и пути решения // Оползни Молдавии и охрана окружающей среды: Тез. докл. (Кишинев, 27—28 июня 1983 г.).— Кишинев, 1983.— С. 3—6.
6. Сейсмическое микрорайонирование / Отв. ред. О. В. Павлов, В. А. Рогожина.— М.: Наука, 1984.—236 с.
7. Симицын А. П. Оценка устойчивости склонов и откосов при сильных землетрясениях // Вопросы инженерной сейсмологии.— М.: Наука, 1982.— Вып. 22.— С. 111—120.

Ин-т геол. наук АН УССР,
Киев

Статья поступила
01.11.85 г.