

УДК 624.131

**Е. Э. Чуйко, ст. преподаватель**

кафедра инженерной геологии и гидрогеологии,  
Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,  
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина

## **ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СКЛОНОВ ОДЕССКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ И ЛИМАНА МАЛЫЙ АДЖАЛЫК**

По результатам анализа инструментальных наблюдений за деформациями пород склонов Одесского побережья и побережья Малого Аджалыкского лимана (территории порта Южный) выявлены общие региональные закономерности формирования и развития оползневых деформационных процессов.

**Ключевые слова:** Одесское побережье, Малый Аджалыкский лиман, деформации пород склонов.

### **Введение**

Интенсивная эксплуатация и строительное освоение оползневой зоны Одесского побережья на участках осуществления комплекса противооползневых и берегозащитных мероприятий, расширение и интенсификация эксплуатации портовых сооружений в пределах акватории и оползневых склонов Малого Аджалыкского лимана обуславливают необходимость изучения и анализа развития склоновых деформационных процессов.

Основными факторами формирования и развития оползней являются:

- структурно-геологические особенности массивов пород (прочный слой известняка, литогенетические зоны ослабления в меотических глинах, тектонически ослабленные блокоформирующие зоны);
- абразия, приводящая к постоянному увеличению крутизны склона и перераспределению напряжений в массиве пород;
- подземные воды (наличие в толще пород трех водоносных горизонтов), оказывающие влияние на напряженное состояние массивов пород и их физико-механические свойства;
- строительная деятельность.

Согласно региональной классификации, на побережье развиты четыре типа оползней: — оползни-потоки в лессовых породах четвертичного возраста, вызванные их переувлажнением; — блоковые смещения лессовых пород по верхнеплиоценовым глинам, переходящие в оползни-потоки; — блоковые оползни в неоген-четвертичной толще, с неглубокой деформацией меотического горизонта; — блоковые оползни, глубоко деформирующие меотические породы, с поверхностью смещения ниже современного уровня моря (оползни выдавливания) [2].

Зона формирования поверхности смещения глубоких оползней выдавливания чаще

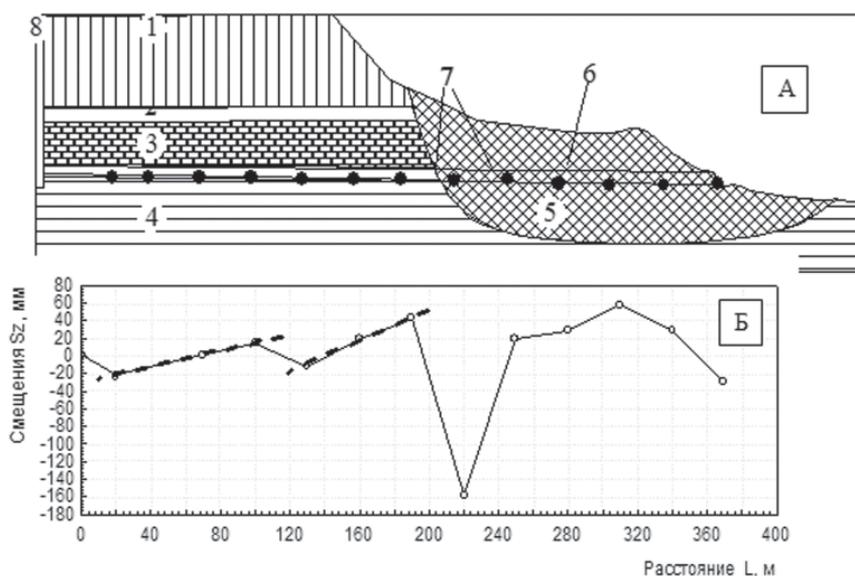


Рис. 1. Накопленные вертикальные смещения реперов ( $S_z$ , мм) в водоотводящей штольне № 3 Одесского побережья за период IX/1965 – II/1992 гг.

#### Условные обозначения

А – схематизированный геологический разрез по штольне №3: 1 – четвертичные лессовидные суглинки; 2 – плиоценовые красно-бурые глины; 3 – понтические известняки; 4 – меоитические глины; 5 – оползневые накопления; 6 – водоотводящая штольня; 7 – реперная сеть; 8 – технологический ствол. Б – график вертикальных смещений реперов; жирный пунктир – наклон блоков в коренной части массива пород

всего приурочена к линзам водонасыщенных глинистых песков и лигнитизированным прослоям в толще меоитических отложений, по глубине распределенным неравномерно и расположенным, в основном, в интервале глубин от 8 до 18 м ниже уровня моря.

Исходя из природных условий Одесского побережья, был выполнен комплекс берегозащитных и противооползневых мероприятий, направленных на уменьшение и ликвидацию влияния основных оползнеобразующих факторов. Однако, несмотря на проведенные работы, оползневые склоны продолжают испытывать длительно протекающие деформации и смещения.

Нами выполнен анализ развития современных деформационных процессов склонов Одесского побережья и Малого Аджалыкского лимана после выполнения комплекса противооползневых и берегоукрепительных мероприятий соответственно в 1968 и 1978 годах. В качестве примеров выбраны участки Ланжерон — мыс Большой Фонтан и комплекса сооружений порта Южный. Цель работы — выявление общих региональных закономерностей формирования и развития оползневых процессов по результатам геодезических и экспериментальных наблюдений.

### Методы исследования

Наиболее объективная оценка современного инженерно-геодинамического состояния массивов пород, формирующегося в результате действия широкого спектра

природно-техногенных факторов, может быть получена только на основе комплексных исследований. Среди них ведущая роль отводится полевым геодезическим инструментальным наблюдениям за деформационными процессами, происходящими в массиве пород. В состав геодезических наблюдений входят: наблюдения поверхностной реперной сети на плато и склонах, наблюдения в подземных сооружениях, наблюдения за гидротехническими и наземными сооружениями при помощи геодезических грунтовых и настенных марок и скважинные наблюдения за глубинными деформациями пород склона [5, 7, 8, 9].

Анализ данных геодезических наблюдений позволяет оценить инженерно-геологическую эффективность комплекса противооползневых мероприятий и его отдельных сооружений, получить представления о инженерно-геодинамических условиях участка, особенностях развития деформационных процессов, определить их характеристики (скорости и направления смещений), понять структурно-тектонические особенности строения массивов пород.

### **Анализ результатов геодезических наблюдений**

При выполнении противооползневых мероприятий, в элементы крепления водоотводящих штолен, протяженностью 350–400 м, была заложена подземная реперная геодезическая сеть (рис. 1 А). Пройдены штольни в толще оползневых накоплений и заканчиваются в породах, не затронутых оползневыми подвижками, на расстоянии 150–250 м от бровки плато вглубь массива. В коренном массиве штольни соединяются дренажной галереей, пройденной на контакте меотических глин и понтических известняков.

Опыт геодезических наблюдений показывает, что все репера, даже наиболее удаленные вглубь массива от оползневого склона, испытывают вертикальные и горизонтальные смещения [6, 8]. В качестве примера рассмотрим смещения реперов в штольне 3 (институт Филатова), расположенной в центральной части рассматриваемого участка побережья (рис. 1 Б). Из графика видно, что часть реперов испытывает преимущественно подъем, а часть — опускания. Соответственно, массив пород, на всем протяжении штольни, можно разделить на отдельные участки (блоки массива пород) с характерным размером порядка 60–100 м, которые испытывают подъемы, наклоны и дифференцированные движения. Учитывая запрокинутый характер смежных блоков, границы между ними в пределах коренной части массива пород можно интерпретировать как секущие пласт известняка потенциальные поверхности оползневого смещения. Проекция границ на дневную поверхность плато определяет наиболее вероятное местоположение трещин оползневого закола.

Можно предположить, что, благодаря дифференцированным перемещениям мелких блоков, в массиве пород происходит формирование зон локальных пластических деформаций, которые поддерживают в активном состоянии структурно-геологическую основу оползневых процессов. Это проявляется в незатухающих оползневых смещениях и медленных деформациях ползучести меотических глин в пределах коренного массива и оползневого склона.

Анализ распределения горизонтальных деформаций вдоль штолен показывает, что происходит увеличение расстояний между реперами и сами штольни испытывают удлинение. Наиболее значительное удлинение штолен происходит в пределах оползневых накоплений. Стабильные во времени зоны растяжений выявлены на участках штолен, где вертикальные движения реперов, в зависимости от их удаленности вглубь массива, характеризуются отрицательным знаком. Это участки формирования потенциальных поверхностей оползневых смещений [6, 8].

Средние за многолетний период скорости продольных смещений реперов в коренной части массива пород составляют 5–10 мм/год. Приведенные данные указывают на то, что смещения реперов и удлинение участков штолен, пройденных в коренных породах, обусловлены

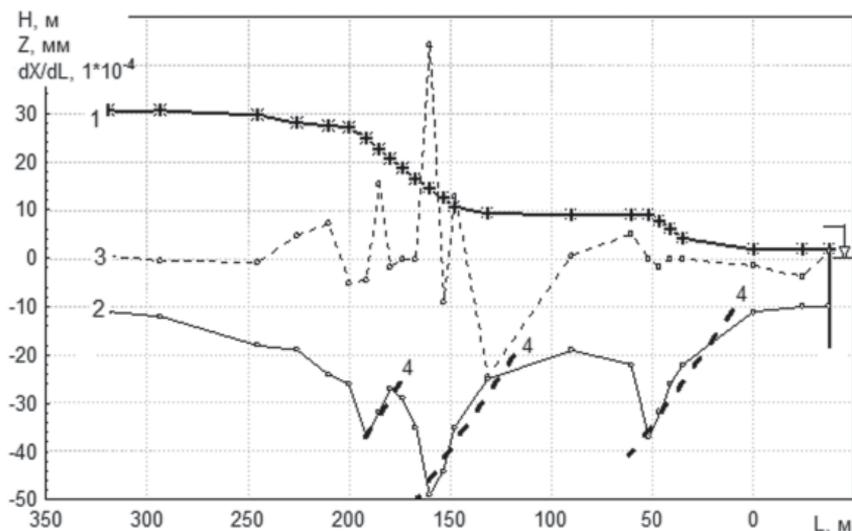


Рис. 2. Распределение накопленных (1996–2010 гг.) величин относительных горизонтальных деформаций и накопленных вертикальных смещений геодезических марок и реперов по данным инструментальных наблюдений по геодезическому поперечнику 3

**Условные обозначения**

1 – профиль склона (H, м) и расположение геодезических марок; 2 – вертикальная составляющая смещений (Z, мм); 3 – относительные горизонтальные деформации ( $dX/dL, 1 \cdot 10^{-4}$ ); 4 – наклон блоков в коренной части массива пород

реологическими свойствами основного деформируемого горизонта — меотических глин.

Геологическое строение оползневых склонов Одесского побережья аналогично строению склонов побережья Малого Аджалыкского лимана, на территории которого расположены сооружения морского торгового порта Южный. В процессе строительства гидротехнических сооружений здесь были выполнены планировка и террасирование склонов, в их основании оборудованы глубоководные причалы. Дноуглубительные работы увеличили максимальную глубину лимана от 2–4 м до 14–18 м от уровня воды.

Для наблюдений за деформационными процессами пород склонов и сооружений, на территории с 1981 г. оборудована геодезическая сеть поверхностных грунтовых и настенных марок (реперов). С 2000 года на западном, правом, берегу лимана проводятся скважинные наблюдения за глубинными деформациями пород склона. [3, 4, 5, 7].

Диапазон изменения накопленных вертикальных смещений геодезических марок за период 2000–2010 гг. составляет от  $-0,5$  мм до  $-53,0$  мм при среднегодовой скорости смещений  $-3,4$  мм/год. Их максимальные величины приурочены к средней, верхней частям склона и прибрежной части плато. Большинство марок испытывает тенденцию к опусканию.

В пределах геодезических профилей, например, приведенного на рисунке 2 профиля №3, выделяются сопоставимые по размерам участки с различным характером опускания марок. Характерные расстояния между блоками, испытывающими относительно меньшие по величине опускания марок, колеблются в пределах 60, 80...100 метров [9].

Диапазон изменения накопленных за тот же период горизонтальных смещений марок в сторону лимана варьирует от  $-5,0$  до  $+85,0$  мм. Максимальные величины приурочены к верхней и средней частям склона и пространственно совпадают с участками, где отмечены наибольшие величины вертикальных смещений марок отрицательного знака.

Диапазон изменения величин относительных горизонтальных деформаций колеблется от минус  $4,5 \cdot 10^{-4}$  (сжатие) до плюс  $163,0 \cdot 10^{-4}$  (растяжение). Условный шаг между зонами растяжения составляет 50–100 м, что отмечено и на территории Одесского побережья [9].

Сочетание на локальных участках склона максимальных величин осадок марок и зон растягивающих деформаций указывает на обособление в пределах массива пород нескольких отдельных блоков. Так же, как и на Одесском побережье, кинематика блоков имеет общую, с нашей точки зрения, оползневую природу формирования. В пределах каждого из выделенных блоков величины вертикальных смещений отрицательного знака уменьшаются от его тыловой границы в сторону лимана, что является признаком запрокидывания блоков, характерным для оползневого процесса. Т. е. зоны растяжений могут интерпретироваться как зоны потенциального оползневого закола.

Характер и скорости смещения марок свидетельствуют о незатухающем процессе глубинной ползучести пород меотических отложений, выступающих в качестве основного деформируемого горизонта.

Анализ данных инструментальных наблюдений за глубинными деформациями пород в скважинах [4, 5, 7] показывает, что наиболее значительные смещения наблюдаются в разрезе меотических отложений на нескольких уровнях. На абсолютных отметках  $-1$ – $-13$  м смещения происходят со скоростью 8–10 мм/год и на отметках  $-21$ – $-25$  м — со скоростью 2–3 мм/год. Можно предположить наличие в разрезе меотических отложений двух структурных этажей, границей между которыми служит зона сдвиговых деформаций, приуроченная к ослабленному прослою литогенетической природы. Кинематические характеристики процесса смещения пород этажей (направление смещения, скорости сдвиговых деформаций и ползучести) обусловлены структурно-геологическими особенностями массива пород и реологическими свойствами основного деформируемого горизонта [5, 7, 9].

Природный рельеф долины лимана Малый Аджалык характеризуется хорошо выраженной сетью эрозионных врезов (овраги, балки), которые формировались по трещинно-ослабленным зонам пород и тектонических нарушений. Основные направления тополинеаментов, рисунок разломно-блоковой сети территории указывают на роль структурно-тектонического фактора в процессе деформирования массива пород.

На левобережье лимана, в зоне береговых сооружений порта Южный, нами выявлены те же закономерности формирования линейно локализованных зон деформаций сооружений, обусловленных структурно-тектонической составляющей на микроблоковом уровне [1, 7, 9].

Скорости смещений пород склонов территории Малого Аджалыкского лимана близки по величинам к средним многолетним скоростям смещений коренных меотических отложений Одесского побережья [2, 6, 9].

## **Результаты моделирования**

Результаты натурных исследований подтверждаются данными моделирования методом эквивалентных материалов [6]. Независимо от стадии формирования и развития оползня (подготовки или основного смещения), породы склона и отдельные блоки приобретают наклон в сторону, противоположную смещению (рис. 3). В створе сечения 1 — максимум смещений приурочен к ослабленному прослою, но верхняя ветвь эпюры смещений

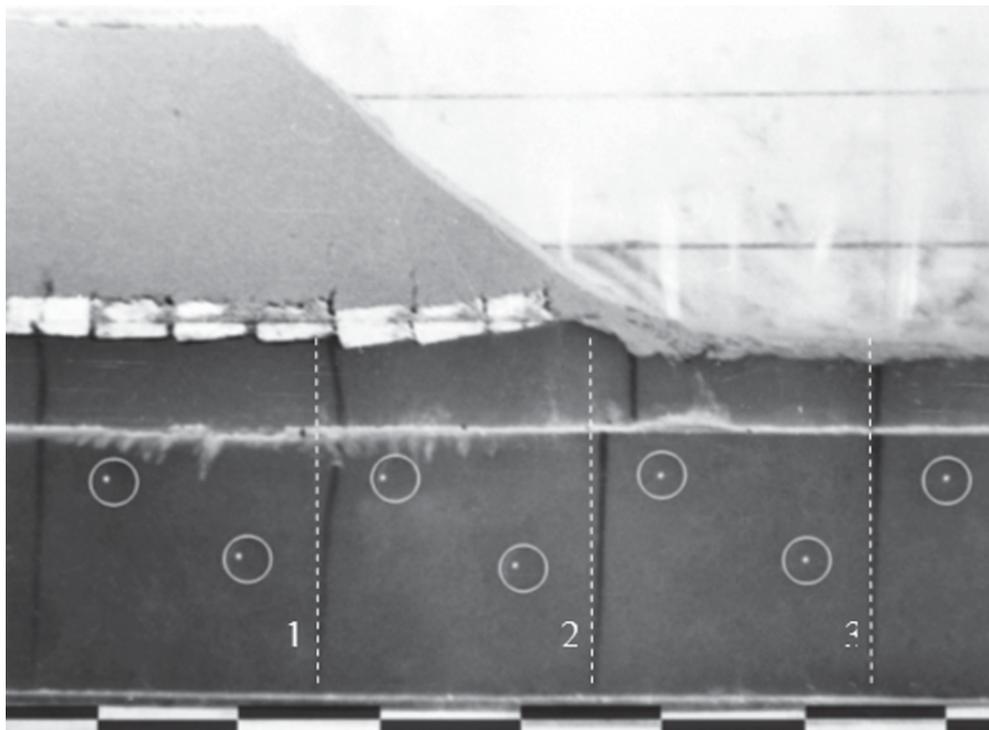


Рис. 3. Смещение по слабому прослою, расположенному в основном деформируемом горизонте на глубине 0,2 высоты откоса

*Условные обозначения*

1, 2, 3 – вертикальные контрольные сечения; пунктир – первоначальное положение индикаторного элемента в материале модели; окружность – контрольная марка.

индикаторного элемента приобрела обратный уклон. В створе сечения 2 – произошли поступательные смещения по ослабленному прослою, эпюра смещений индикаторного элемента приобрела ступенчатый характер, но ее верхняя часть сохранила вертикальное направление.

Смещения распространяются до глубин 0,5 высоты откоса. В процессе смещений произошло увеличение расстояний между блоками известняка и угла их запрокидывания, что характерно для оползневого процесса [6].

Результаты моделирования сопоставимы с данными многолетних геодезических наблюдений по Одесскому побережью и за глубинными деформациями пород склона территории Одесского припортового завода.

## **Выводы**

1. Общие региональные закономерности формирования глубоких оползней выдавливания и динамика деформационных процессов пород склонов Одесского побережья и лимана Малый Аджалык (порт Южный) после их хозяйственно-строительного освоения определяются сочетанием и взаимосвязью следующих факторов:

— существованием в массивах пород микроблоков структурно-тектонической природы с шагом от первых сотен до двух-трех десятков метров;

— вертикальными дифференцированными перемещениями и наклонами микроблоков, происходящими с различной периодичностью во времени и с различными амплитудами по величине;

— реологическими свойствами пород основного деформируемого горизонта и структурно-геологическими особенностями массива, обуславливающими кинематические характеристики процесса оползневого смещения.

2. Направление сдвиговых деформаций и смещений подчинены основным направлениям систем ослабленных зон тектонической природы.

3. Пространственный характер расположения литогенетических ослабленных зон и нарушений различной природы в массиве пород и кинематические особенности склоновых геодеформационных процессов обуславливают необходимость их учета при проектировании и строительстве сооружений, организации и постановке инженерно-геодинамического мониторинга.

## Литература

1. Будкин Б. В. Микроблоковое строение геосреды и деформационные процессы в береговой зоне (на примере припортового участка г. Одессы) / Б. В. Будкин, Е. А. Черкез, Т. В. Козлова, В. И. Шмуратко // Вісник Укр. буд. екон. та наук.-техн. знань. — К. : ТОВ "Знання". — 1998. — № 2. — С. 25–27.
2. Зелинский И. П. Оползни северо-западного побережья Черного моря, их изучение и прогноз / И. П. Зелинский, Б. А. Корженевский, Е. А. Черкез и др. — К. : Наукова думка, 1993. — 228 с.
3. Freiberg E. Long-term deformations of soil mass and slope stability predictions of Odessa Port Plant / E. Freiberg, E. Bellendir, V. Golitsyn & I. Grigoriev et al. // Proc. of the 15<sup>th</sup> South East Geotechnical Scientific Conference from 22 to 26 November. 2004. — Bangkok, Thailand. — P.379–382.
4. Freiberg E. Assessment of soil mass deformation and slope stability predictions of Odessa Port Plant / E. Freiberg & E. Bellendir, G. Bich, E. Cherkez // Proc. of the 11<sup>th</sup> congress of the international society for rock mechanics. — Lisbon, Portugal, 9–13 July 2007. — P.268–271.
5. Freiberg E. The Impact of Structural-tectonic and Lithogenous Peculiarities of the Rock Mass on the Formation and Development of Geo-deformation Processes. / E. Freiberg, E. Bellendir, V. Golitsyn, N. Aplyamitov, E. Cherkez, E. Tchujko, G. Bich // Harmonising Rock Engineering and the Environment –12<sup>th</sup> ISRM International congress on rock mechanics. Beijing, China, 18–21 Oktober 2011. — CRC PRESS / BALKEMA — P. 2047–2051.
6. Черкез Е. А. Оползни северо-западного побережья Черного моря (моделирование, прогноз устойчивости склонов и оценка эффективности противооползневых мероприятий) / Е. А. Черкез // Автореф. дисс. докт. геол.-мин. наук. — Одесса, 1994. — 36 с.
7. Черкез Е. А. Кінематичні особливості геодеформаційних процесів території порту Южний / Е. А. Черкез, О. Е. Чуйко, В. Ф. Орлов // Вісн. Одес. нац. ун-ту. Сер. географ. та геол. наук. — 2006. — Т. 11. — Вип. 3. — С. 240–250.
8. Черкез Е. А. Инженерная геодинамика оползневых склонов и вопросы берегозащиты Одесского побережья / Е. А. Черкез, Г. Л. Кофф, В. А. Соколов // Материалы международной конференции г. Одесса, 7–11 сентября 2008 г./ ИПРЭИ НАН Украины. — Одесса : ИПРЭИ НАН Украины, 2008. — С. 19–31.
9. Чуйко О. Е. Современная инженерная геодинамика оползневых склонов правобережья долины лимана М. Аджалык / О. Е. Чуйко // Вісн. Одес. нац. ун-ту. Сер. географ. та геол. наук. — 2010. — Т. 15. — Вип. 5. — С. 105–112.

**О. Е. Чуйко**

кафедра інженерної геології і гідрогеології,  
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,  
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна

**ЗАГАЛЬНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ І РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ  
ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ СХИЛІВ ОДЕСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖЯ І ЛИМАНУ  
М. АДЖАЛИК**

**Резюме**

За результатами аналізу інструментальних спостережень за деформаціями порід схилів Одеського узбережжя і узбережжя М.Аджаликського лиману (території порту Южний) виявлені загальні регіональні закономірності формування і розвитку зсувних деформаційних процесів.

**Ключові слова:** Одеське узбережжя, Малий Аджаликський лиман, деформації порід схилів.

**Е.Е. Tchujko**

Department Engineering Geology & Hydrogeology,  
Odessa Mechnikov National University,  
Dvorianskaya St., 2, Odessa, 65082, Ukraine

**GENERAL REGULARITIES OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF  
CONTEMPORARY DEFORMATION PROCESSES AT ODESSA COAST AND MALIY  
ADZHALIK ESTUARY SLOPES.**

**Summary**

According to the analysis of instrumental observations over rock slopes deformations of Odessa coast and Maliy Adzhalik estuary coast (Port Youzhny territory), there were general regional regularities of formation and development of landslip deformation processes identified.

**Key words:** Odessa coast, Maliy Adzhalik estuary, deformations of rock slopes.