

ТИПЫ СОСТАВНЫХ И СЛОЖНЫХ ОПОЛЗНЕЙ НА ПРИРОДНЫХ СКЛОНАХ¹

Член-корр. АН АрмССР, проф., докт. техн. наук Г. И. ТЕР-СТЕПАНИАН²

Реферат. Запутанные случаи оползней на склонах часто возникают в результате наложения простых оползней или их изменения в процессе смещения. Описано два типа составных (четкообразные и многоярусные) и два типа сложных (ступенчатые и преобразующиеся) оползней. Показано взаимоотношение между составляющими элементами земляных масс в этих типах оползней.

Помимо единичных простых оползней на многих склонах встречаются также и оползневые образования более высоких порядков. Связь между элементами оползневых образований высоких порядков бывает различной, начиная от общности, вызванной близким расположением, и до прямой генетической связи между ними. Классификация составных и сложных оползней пока преждевременна, так как механизм многих из них еще не описан достаточно обстоятельно, чтобы можно было делать обобщения. Поэтому на данном этапе правильнее будет ограничиться описанием особенностей выявленных типов и указанием их отличительных черт. Изученные объекты подразделяются на две группы—составные и сложные оползни.

СОСТАВНЫЕ ОПОЛЗНИ

Составными называются оползни, образованные несколькими единичными оползнями; их общность определяется лишь топографически близким расположением. К составным оползням относятся четкообразные и многоярусные оползни.

Четкообразные оползни

В равнинных странах, при горизонтальном положении осадочной толщи, на крутых подмываемых берегах крупных рек часто можно наблюдать многочисленные оползни, вытянутые подобно цепочке или четок вдоль реки. Оползающие массы в большинстве случаев относятся к земляным потокам, реже встречаются вращательные оползни. Между отдельными оползнями в верхних их отделах располагаются выступающие части берегового склона, представляющие собой межоползневые гребни (рис. 1,а). Характерной чертой четкообразных оползней является приуроченность верхней границы к определенной линии, являющейся линией выхода водоносного пласта. В более редких случаях верхние границы земляных потоков примыкают к двум горизонтам—водоносным пластам. Вследствие приуроченности земля-

¹ Переработанный доклад, представленный Международному симпозиуму по оползням и другим движениям масс Международной ассоциации по инженерной геологии в Праге в сентябре 1977 г. (G. Ter-Stepanian, 1977).

² Зав. Лабораторией геомеханики Института геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР.

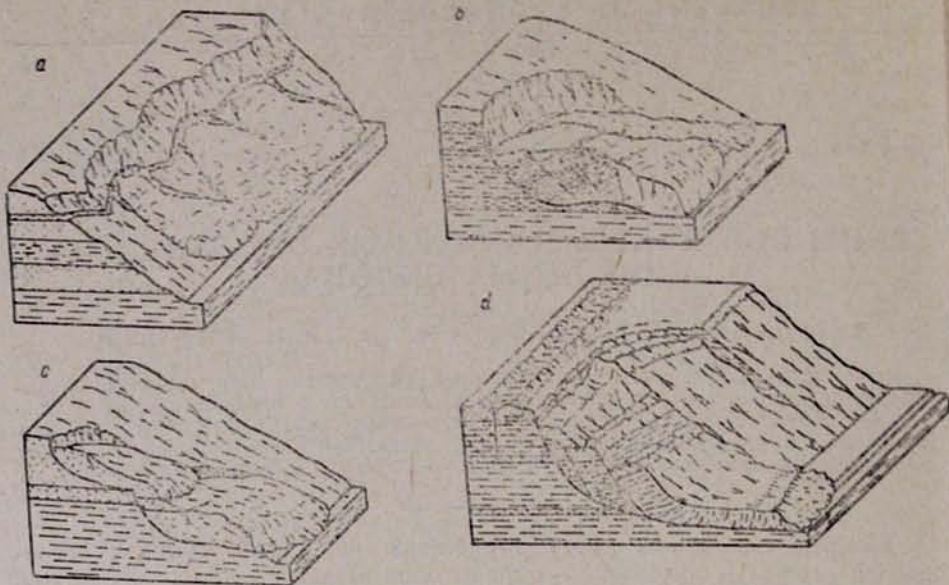


Рис. 1. Типы составных и сложных оползней. а) Составной четкообразный оползень; три земляных потока получают питание из общего водоносного пласта; места выхода грунтовых вод показаны стрелками; земляные потоки разделяются межоползневыми гребнями б.) Составной многоярусный оползень; по линии контакта вращательного оползня (I ярус) с коренными породами усиленный выход вод из водоносного пласта и образование застоя воды в мульде (показано стрелкой); стекающие вдоль левой бортовой трещины воды насыщают рыхлые отложения и образуют земляной поток (II ярус), который отклоняется в сторону от языковой части вращательного оползня. в) Сложный ступенчатый оползень; двухступенчатый оползень наступательного типа образуется при вращательном оползании верхней ступени, имеющем базис оползания у выхода жестких пород; нижняя ступень сползает вследствие дополнительного нагружения земляными массами, оползающими с верхней ступени. д) Сложный преобразующийся оползень; вращательный оползень в верхней части склона по мере увлажнения земляных масс переходит внизу в земляной поток.

նկ. 1. Բազադրյալ և բարդ սողանքների տիպեր: ա) Բազադրյալ ուրվմանև սողանք. երեք հողահոսերի սնվում են ընդհանուր ջրատար շերտից. գետնաջրերի կրի սեղերը ցույց են տրված սլաքներով. հողահոսերը բաժանվում են միջոտղանքային կատարներով: Բ) Բազադրյալ բազմահարկ սողանք. արմատական ապարների հետ պտտական սողանքի (I հարկ) կոնտակտի դեմ ջրի ուժեղ կլթը ջրատար շերտից և մուլդայում ջրի ճահճացումը ցույց է տրված սլաքով. ձախ կողմնային ճեղքվածքով իջնող ջրերը հագեցնում են փխրուն նստվածքները և կազմում հողահոսը (II հարկ), որը շնչվում է պտտական սողանքի լեզվից: Գ) Բարդ աստիճանական սողանք. առաջինից կրկհարկանի սողանքն առաջանում է վերին աստիճանի պտտական սողանքի զեպրում, կրը նրա սողունության բազիսը գտնվում է կոշտ ապարների կրի մոտ. ներքին աստիճանը սողում է վերին աստիճանից իջնող հողային գանգվածների կշիռը ստաչացած լրացուցիչ բեռնավորման հետևանքով: Դ) Բարդ ձևափոխվող սողանք. լանջի վերին մասում պտտական սողանքը խոնավացման հետևանքով ներքեում վերածվում է հողահոսերի:

Fig. 1. Types of compound and complex landslides. a) Compound beads-like landslide; three earthflows obtain water from a common water-bearing stratum; arrows show spots of the ground water discharge; the earthflows are divided by inter-landslide ridges. b) Compound multi-storeyed landslide; along the lateral contact line of a rotational landslide (I storey) with bedrocks a heavy ground water discharge occurs and the water is accumulated in a through (shown by arrow); the water flowing along the left lateral fissure saturates the loose deposits and an earthflow (II storey) is formed; it deviates aside from the toe of the rotational landslide. c) Complex stepped landslide; at first the rotational landslide in the upper part of the slope occurs having the outcrop of the rigid rocks at the lower level of sliding (upper step); due to the additional load exerted on the earth masses the rigid rocks break at the edge

ных потоков этого рода к выходам водоносных пластов в четкообразных земляных потоках никогда не наблюдается случая, когда земляные потоки начинаются от бровки склона,—они всегда расположены ниже него.

Межоползневые гребни хорошо выделяются как в рельефе, так и сложением из коренных пород лишь в верхней части склона. В большинстве случаев покровная толща на межоползневых гребнях очень тонка и представлена только элювием. С этой положительной формой рельефа по простирацию склона контрастируют прилегающие участки, занятые верхними частями земляных потоков и характеризующиеся отрицательной формой рельефа. В нижних частях склона земляные потоки обычно расширяются и сливаются с соседними, а межоползневые гребни погружаются и прикрываются оползневыми массами. Если у подножья склона с четкообразными оползнями протекает большая река или находится море, то размывающая деятельность воды оказывает стимулирующее действие на развитие оползней. Более существенно, что при этом образуются *земляные потоки с расходуемым нижним отделом*. Если же река или море отсутствуют и подножие склона не размывается, то возникают *земляные потоки с накапливающимся нижним отделом*. В таких случаях в нижних частях склона в накопленных земляных массах развиваются вращательные оползни. Оползни этого типа относятся к сложным; их описание дается ниже.

Четкообразное расположение выходов подземных вод из водоносных пластов и, соответственно, возникновение рассматриваемого типа составных оползней объясняется небольшими отклонениями подошвы водоносного пласта от горизонтали; в понижениях подземного рельефа, пересекаемых поверхностью склона, сосредоточивается выход подземных вод из водоносного пласта и возникают земляные потоки. Многочисленные примеры четкообразных оползней можно видеть на крутых берегах рек Русской платформы, в частности Волги. В районе Ульяновска и южнее четкообразные оползни приурочены к выходам вод водоносных альбского и аптского горизонтов.

Многоярусные оползни

В отличие от четкообразных оползней, где отдельные составляющие расположены по горизонтали, многоярусные оползни характеризуются вертикальным расположением составляющих частей (рис. 1, б). Другое отличие заключается в том, что каждая из составных частей четкообразных оползней относится к одному и тому же типу (например земляные потоки), тогда как составные элементы многоярусных оползней представляют собой движения различного типа, соответственно глубине захвата и механизму смещения. В зависимости от числа расположенных друг под другом оползней различаются двухъярусные, трехъярусные и другие оползни.

Впервые многоярусные оползни были изучены нами на Черноморском побережье Кавказа в Сочи. Здесь на склоне развивается крупный трехъярусный оползень; границы оползней показаны на карте цифрами от 1 до 3 (рис. 2). Первый ярус представляет собой вращательный оползень, захватывающий блоки аргиллитов и песчаников 4, глубиной до 60 м. Второй ярус является плоскостным оползнем; в дви-

and the rotational landslide in the downhill part of the slope takes place (lower step); thus the two-stepped landslide of the advancing type is formed. *d) Complex transforming landslide*; the rotational landslide in the upper part of the slope transforms into the earthflow in the lower part of the slope as the earth masses are saturated.

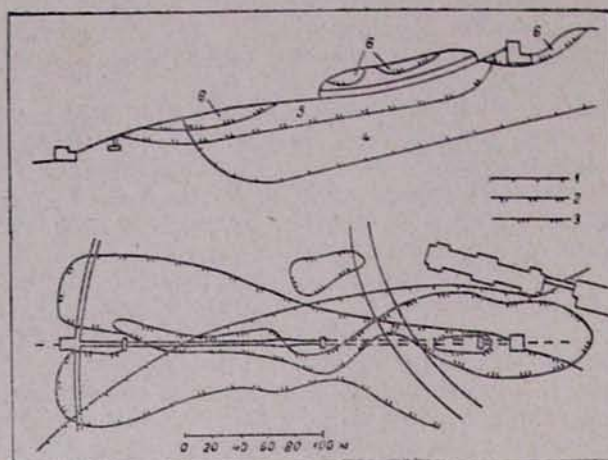


Рис. 2. Крупный трехъярусный оползень горы Биткха в Сочи. 1, 2 и 3—границы оползней I, II и III ярусов; 4—блоки аргиллитов и песчанников; 5—раздробленные аргиллиты; 6—глины (продукты выветривания аргиллитов).

Նկ. 2. Սոչիում Բիտխա սարի խոշոր եռաբարձանի սոլիդներ, 1, 2, և 3— I, II և III հարկերի սահմանները. 4— արգիլիտների և ավազաքարերի բլոկներ. 5— ջարդված արգիլիտներ, 6— կավեր (արգիլիտների քայքայման արդյունքներ):

Fig. 2. Plan of the big three-storeyed landslide of the Bitkha mountain in Sochi. 1, 2 and 3—boundaries of the first, second and third storeys; 4—blocks of argillites and sandstones; 5—crushed argillites; 6—clays (product of weathering of argillites).

жение вовлечены раздробленные аргиллиты 5 глубиной до 20 м. Третий ярус—медленный земляной поток 6, который развивается в колювиальном пласе, глубиной до 6 м. Все эти оползни находятся в фазе глубинной ползучести (Тер-Степанян, 1967, 1969).

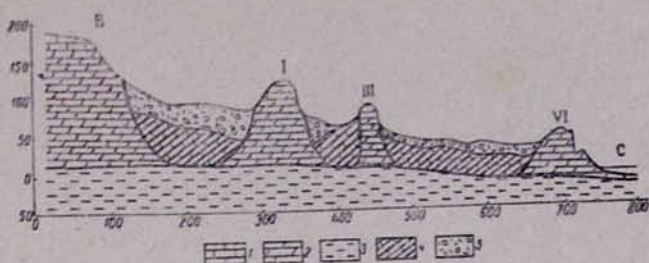
Другой, крупнейший трехъярусный оползень был изучен на Черноморском побережье Болгарии, в Балчике. Геологический разрез по оси оползня показан на рис. 3. Первый ярус состоит из гигантских блоков известковистых мергелей и глинистых известняков среднего сармата, высотой до 120 м, медленно сползающих к морю по слабонаклонной поверхности нижнесарматских глин; движение ускоряющееся и поэтому по мере перемещения к морю межблоковые пространства расширяются. Второй ярус представляют глинистые и известковистые мергели среднего сармата, которые сползают со склонов блоков первого яруса и заполняют межблоковые пространства по мере их расширения. Третий ярус—приповерхностные оползни разного типа (вращательные и плоскостные) с различным расположением оползневых очагов (Каменов и др., 1971).

Многоярусные оползни не представляют собой необычного явления, в особенности в молодых горных странах, на морских побережьях и по берегам омоложенных рек.

СЛОЖНЫЕ ОПОЛЗНИ

Сложными называются оползни, образованные несколькими простыми оползнями; их взаимодействие носит генетический характер. В принципе это простые оползни, один за другим последовательно расположенные на склоне по его падению. В силу геологической обстановки, гидрогеологических условий и геометрических характеристик земляные массы, приносимые оползнями одного типа, расположенными выше по склону, служат материалом для формирования нижележащих оползней того же или другого типа. К сложным оползням относятся ступенчатые и преобразующиеся оползни.

Рис. 3. Геологический разрез по оси крупного трехъярусного оползня в Балчике, Болгария. 1—верхнесарматские известняки; 2—среднесарматские глинистые известняки и известковые мергели; 3—нижнесарматские глины и известковые глины; 4—наклонные пласты глинистых известняков и известковых мергелей (второй ярус оползней); 5—нарушенные выветрелые породы (третий ярус); Добруджанского плато В и смещаются к Черному морю С (первый ярус оползней).



Նկ. 3. Բալչիկում (Բուլղարիա) խոշոր եռնահարկան սղանքի երկարաձևիկան կտրվածքն ըստ առանցքի. 1— վերինսարմատյան կրաքարեր. 2— միջինսարմատյան կավալին կրաքարեր և կրալին մերգելներ. 3— ներքինսարմատյան կավեր և կրալին կավեր. 4— կավալին կրաքարերի և կրալին մերգելների թերթած շերտեր (սղանքների երկրորդ հարկ). 5— խախտված հողմնահարված ապարներ (երրորդ հարկ). I, III և VI բլուկները պոկվում են B Դոբրուջանյան սարահարթից և տեղաշարժվում են դեպի C Աև ծովը (սղանքների առաջին հարկ):

Fig. 3. Geological cross-section along axis of the big three-storeyed landslide in Balchik, Bulgaria. Blocks I, III and VI lose touch with the Dobruja plateau B and move towards the Black Sea C (first storey of sliding). 1—Upper-Sarmatian limestones; 2—Middle-Sarmatian clay limestones and calcareous marls; 3—Lower-Sarmatian clays and calcareous clays; 4—Inclined strata of clay limestones and calcareous marls (displaced blocks, second storey of sliding); 5—disturbed weathered rocks (subsurface landslides, third storey of sliding).

Ступенчатые оползни

Оползни этого типа развиваются на склонах, сложенных горизонтальными пластами глинистых пород, чередующимися с жесткими породами, например песчаниками. Вследствие сопротивления, оказываемого жесткими породами, образование единого оползня, захватывающего породы на всю высоту склона, невозможно, и возникают два или более оползней меньшего размера (рис. 1,с).

Если жесткие пласты нетрещиноватые, а глины мощные, то в них развиваются вращательные оползни, с базисом оползания, определяемым положением кровли нижележащих жестких пластов. Сползающие массы переходят вниз по склону и, нагружая верхнюю часть нижерасположенных масс, вызывают их оползание; так возникают ступенчатые вращательные оползни наступательного типа. Если жесткие пласты трещиноватые, а глины маломощные, то процесс может начаться в нижней части склона; в этом случае вследствие вращательного оползня в нижней части склона устраняется упор для вышерасположенных земляных масс и они приходят в движение. Так возникают ступенчатые вращательные оползни отступательного типа. Крупный двухступенчатый вращательный оползень развивается на правом склоне р. Гохт недалеко от средневекового пещерного храма Ггард.

Если глинистые породы обладают сильными диагенетическими связями и оползание происходит только в выветрелой зоне, то на склоне развиваются ступенчатые земляные потоки. Двухступенчатый земляной поток наступательного типа имел место в 1970 г. на спуске Железной дивизии в Ульяновске.

Если склон пологий и выступы более прочных пород образованы останцами аллювиальных террас, то земляной поток может совершать сложные движения при переваливании через выступы аллювиальных террас, оставаясь непрерывным. Такой облик имел земляной поток в

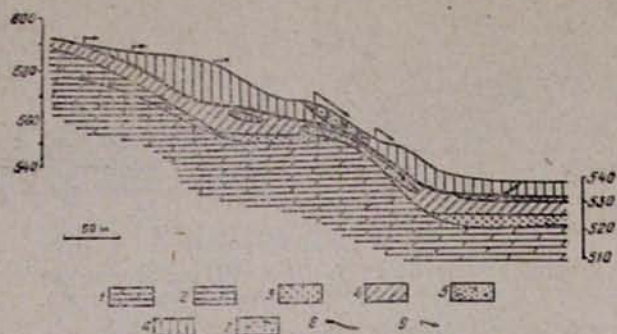


Рис. 4. Земляной поток в Лихи (Грузия), переползающий через три погрёбённые террасы. 1—глинистые мергели олигоцена; 2—элювиальные глинистые мергели; 3—древние элювиальные террасы; 4—делювиальные глины и суглинки; 5—пролювиальные отложения; 6—перемятые оползневые глины; 7—смещённый железнодорожный балласт; 8—поверхность скольжения; 9—репер и вектор смещения.

Նկ. 4. Հողահոսի Լիխիում (Վրաստան), որն անցնում է երեք բարձրագույն դարձրածիքի վայրով. 1—օլիգոցենյան կավային մերգելներ. 2—էյուսիայ կավային մերգելներ. 3—հնամենի ալյուվիալ դարձրածիքներ. 4—դելյուվիալ կավեր և մերձակավեր. 5—պրոլյուվիալ նստվածքներ. 6—արրոված սողանքային կավեր. 7—սեղաշարժված երկաթբլուրի բալաստ. 8—սահեցման մակերևույթ. 9—նկար և տեղաշարժի վեկտոր:

Fig. 4. The earthflow at Likhi, Georgia sliding over three burried terraces. 1—Oligocene clay marls; 2—elluvial clay marls; 3—old alluvial terraces; 4—talus clays and loams; 5—deposits of temporary torrents; 6—remoulded landslide clays; 7—displaced railway ballast; 8—sliding surface; 9—bench-mark and vector of displacement.

Лихи (Грузия), переползающий через две рисские и одну вюрмскую (рис. 4) террасы (Тер-Степанян, 1967; 1973).

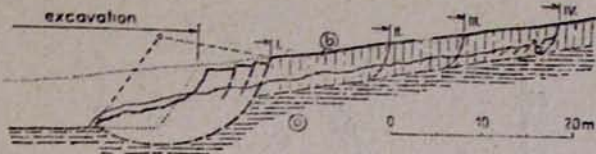
Оползни следующей ступени не должны обязательно принадлежать к тому же типу оползания. При отрывке глубокого котлована дробильного цеха обогатительной фабрики в Кафане (Армения), расположенной у языка земляного потока, в 1969 г. возник вращательный оползень; смещающиеся массы земляного потока стимулировали образование вращательного оползня в результате распорного действия, оказываемого на верховую стенку котлована (Тер-Степанян, 1973). К. Заруба описывает случай глубокой выемки в неогеновых глинах, в результате чего возник вращательный оползень на склоне водохранилища Усти в северо-западной Богемии (рис. 5). Этот оползень вызвал последовательное смещение земляных масс (I—IV) и образование земляного потока по поверхности неогеновых глин. Другой случай, описанный К. Заруба, относится к оползанию склона, вызванному вращательным оползнем, образованным при отрывке для основания резервуара в северо-западной Богемии (Záruba and Mencl, 1969).

Преобразующиеся оползни

Оползни этого типа возникают в тех случаях, когда по мере перемещения земляных масс вниз по склону изменяются геолого-гидрогеологические условия и, приспосабливаясь к новой обстановке, изменяется и облик оползней. Существует множество видов этих оползней, из которых остановимся на следующих.

Вращательные или плоскостные оползни, переходящие в земляные потоки, представляют собой один из распространенных типов смещения земляных масс в горных странах (рис. 1, d). Этот вид сложных оползней заслуживает особого внимания ввиду недостаточной изученности их механизма. Оползневые явления, происходившие в 1908—1911 гг. в мягких сланцах и глинах с примесью известняков и песчаников у Гро-Вентра в шт. Вайоминг, начались в верховьях ущелья с

Рис. 5. Вращательный оползень в неогеновых глинах в Усти, северовосточная Богемия, вызванный отрывкой котлована, и образовавшийся вслед за тем плоскостной оползень; последовательное отступление стенки отрыва (I—IV) привело к образованию земляного потока по поверхности неогеновых глин. а—неогеновые глины, б—лессовидные суглинки (по Záruba and Menci, 1969).



նկ. 5. Ուստիում (Հյուսիսարևելյան Բոհեմիա) նեոգենյան կավերում պտտական սողանք, որն առաջացել է սկզբին հանվածքի հետևանքով, և հետագայում առաջացած հարթային սողանք. հորման պատի (I—IV) հաջորդական նահանջումը հանգեցրեց նեոգենյան կավերի մակերևույթի վրայով հողահոսքի առաջացմանը. ա — նեոգենյան կավեր, б — լյուսանման մերձակավեր (սուս Záruba and Menci, 1969):

Fig. 5. The rotational landslide in Neogene clays, which was caused by excavation of a pit and the planar sliding which was formed thereafter near Usti in northwestern Bohemia; successive retreat of the main scarp (I—IV) brought to formation of an earthflow along the surface of Neogene clays. a—Neogene clays, b—loess-like loams (after Záruba and Menci, 1969).

мощного оползня глин, имевшего форму блока, а в нижней части склона приняли вид более или менее постоянного движения земляного потока (Blackwelder, 1912). Таким же механизмом обладал крупный Дзмуисский оползень пестроцветной свиты в кварцевых песчаниках нижнего неокома на левом берегу р. Лехидари в Окрибе, Западная Грузия (Джанелидзе, 1940); в верхней части, у подножья г. Велиети он представляет ряд глыб с ненарушенным напластованием, движущимся на запад по поверхности скольжения, а ниже по склону перематается порода образует бесформенную массу и скольжение заменяется истечением. Оползень в Зандлинг-Альме (Швейцария) в 1920 г. начался как блочный оползень, постепенно перешел в земляной поток и заполнил русло Цламбаха (Stiny, 1952). Ряд примеров этого рода, в том числе крупный оползень 1952 г. Рид Террас у водопадов Кеттль в шт. Вашингтон, приводит Варнес (1960). Оползни этого рода в Аппенинах оказались настолько распространенными, что итальянским ученым Альмаджиа были выделены в классификации как самостоятельный тип смешанных оползней (Almagia, 1910). Так же поступают Гейм (Heim, 1882) и Варнес (1960).

Обвалы, переходящие в оползни или земляные потоки, представляют собой видоизменение описанного типа движений земляных масс. Примером могут служить крымские оползни, начинающиеся с обвалов яйлинских верхнеюрских известняков и переходящие в оползневые смещения в нижней части склона (Борисяк, 1905; Погребов, 1948; Мушкетов и Погребов, 1924). Другой пример—крупный оползень, происшедший в 1890 г. у деревни Фицнау в Швейцарии, который начался как горный обвал, а затем перешел в земляной поток (Balzer, 1880).

Земляные потоки, переходящие во вращательные оползни, развиваются в нижних отделах земляных потоков накапливающего типа, когда в результате аккумуляции коллювиального материала в языке оползня нарушаются условия статического равновесия и образуется вращательный оползень; по мере накопления материала оползни повторяются. Впервые оползни этого вида были описаны в Сочи; характерной особенностью последовательных вращательных оползней в нижних отделах земляных потоков является увеличение радиуса

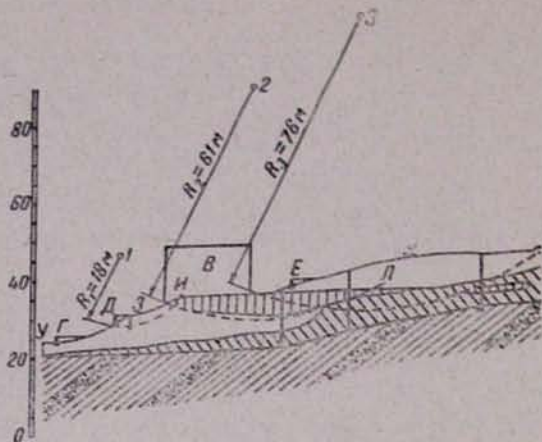


Fig. 6. Rotational landslides formed in the lower part of the earthflow "Strela" in Khosta near Sochi. 1, 2 and 3—centres of the probable successive sliding circles.

дуги вращения. На рис. 6 представлен разрез оползня «Стрела» в Хосте, где радиусы кругов скольжения последовательных вращательных оползней составляли 18, 61 и 76 м (Тер-Степанян и др., 1968).

Проседания, переходящие в грязевые потоки, имеют распространение в Средней Азии. Оползни лессовых пород начинаются с местного или линейного выхода подземных вод на контакт лессовых отложений с подстилающими породами; от склона последовательно отделяются блоки породы, и при дальнейшем развитии процесса образуется разжиженная масса, которая с большой скоростью стекает со склона (Ниязов, 1968; Круковский и Ходжаев, 1968).

Заключение

Анализ условий образования и механизма составных и сложных оползней заслуживает особого внимания исследователей, так как понимание их особенностей, умение выделить слагающие их части и установление взаимоотношений между ними может оказать неоценимую помощь при распутывании сложных случаев оползневой обстановки и разумном направлении противооползневой деятельности.

ԲՆԱԿԱՆ ԼԱՆՁՆԵՐԻ ՎՐԱ ԲԱՂԱԳԻՐՅԱԼ ԵՎ ԲԱՐԳԻ ՍՈՂԱՆՔՆԵՐԻ ՏԻՊԵՐԸ¹

ՀՍՍՀ ԳԱ քրդակից-անդամ, պրոֆեսոր, ակադ. դիտ. դոկտոր Գեորգ Տեր-Ստեփանյան²

Ռ և Ֆ Ն Ե ա տ: Լանջերի վրա սողանքների խճճված դեղրերը հաճախ են պատահում պարզ սողանքների վրադրման կամ տեղաշարժի ժամանակ նրանց փոփոխման հետևանքով: Նկարագրված են բաղադրյալ սողանքների երկու տիպեր՝ ուլունքաձև ու բաղմահարի, և բարդ սողանքների երկու տիպեր՝ աստիճանական ու ձևափոխվող: Նկարագրված սողանքները յուսարանվում են օրինակներով: Յույց է արված այդ տիպի սողանքներում հաղային դանդաղվածքների բաղադրիչ տարրերի միջև եղած հարաբերակցությունը:

¹ Պրագայում 1977 թ. սեպտեմբերին կայացած Ինժեներական երկրաբանության միջազգային ասոցիացիայի Լանջերի վրա սողանքների և այլ դանդաղվածքների շարժումների միջազգային սիմպոզիումին ներկայացված վերամշակված զեկուցում (Ter-Stepanian, 1977):

² ՀՍՍՀ ԳԱ ԳԻՍԻ գեոմեխանիկայի լաբորատորիայի վարիչ:

Լանջերի վրա բացի պարզ սողանքներից հաճախ հանդիպում են ավելի բարձր կարգի սողանքային երևույթներ: Այդ սողանքներում բաղադրիչ տարրերի միջև կապը կարող է լինել տարրեր, սկսած մոտիկ տեղադրումից մինչև ուղիղ գեներտիկ կապը: Դրանց դասակարգումը վաղաժամ է, քանի որ մեխանիզմը շատ դժգոյություն պարզ չէ. սովյալ փուլում նպատակահարմար է դրաղվել ուսումնասիրված ախտերի առանձնահատկությունների նկարագրությունը:

Ուղղադրյալ սողանքներ

Բաղադրյալ սողանքները կաղմված են մի քանի եղակի սողանքներից. դրանց կապը որոշվում է միայն մոտիկ տեղադրումով: Այստեղ տարրերվում են ուլունքածե և բաղմահարկ սողանքները:

Ուլունքածե սողանքներ առաջանում են հարթավայրերում նստվածքաշերտի հորիզոնական դասավորման դեպքում խոշոր գետերի կողմից վլացիոզ դառնիմափ ափերի վրա: Սողանքները ձգված են ափերի երկարությամբ շղթայածե կամ ուլունքածե. դրանք մեծ մասամբ հողահոսքեր են: Առանձին սողանքների միջև դասավորվում են միջսողանքային կատարները (նկ. 1 ա): Բնորոշ է, որ այդ ափի սողանքների գլխամասերը դասավորվում են մի գծի երկարությամբ, որը ներկայացնում է ջրատար շերտի ելուստը: Ավելի հազվագյուտ դեպքերում դիտարկվող կարող են հարել երկու ջրատար շերտերին: Ջրատար շերտից գետնաջրերի ուլունքածե ելուստների տեղերը բացատրվում են այդ շերտերի հորիզոնականից փոքր շեղումներով. ստորերկրյա ուլունքի ցածրացումներում կենտրոնանում են գետնաջրերը և լանջի մակերևույթի հետ կտրման տեղերում հնարավորություն է ստեղծվում այդ ջրերի ելուստներին, հետևաբար այդտեղ առաջանում են հողահոսքեր:

Միջսողանքային կատարները սովորաբար լավ են արտահայտված ուլունքում միայն լանջերի վերին մասերում, որտեղ նրանք ճածկված են էլյուվիումի բարակ շերտով: Լանջի ներքևի մասում այդ կատարները ծածկված են լինում սողանքային զանգվածների հաստ շերտով. այստեղ հաճախ համաձուլվում են հարևան հողահոսքերի լեզուները: Եթե լանջի ստորոտում գտնվում է մեծ դետր կամ ծովը, հողահոսքի կողմից բերված գրունտը վլացվում է և առաջանում են հողահոսքեր՝ ծվխավող երբեքի բաժնով: Եթե գետը կամ ծովը բացակայում են, առաջանում են հողահոսքեր՝ կոտակվող երբեքի բաժնով: Կոտակված զանգվածներում կարող են առաջանալ պտտական սողանքներ, որոնք վերաբերվում են արդեն բարդ սողանքներին. դրանց նկարագրությունը տրվում է ներքևում:

Բաղմահարկ սողանքները տարրերվում են ուլունքածե սողանքներից նրանց բաղադրիչ մասերի ուղղածից դասավորությամբ (նկ. 1 Ե): Պարտադիր չէ, որ բաղադրիչ մասերը պտտական են նույն տիպի սողանքներին: Գոյություն ունեն երկհարկանի, եռհարկանի և այլ սողանքներ: Նկ. 2 ներկայացնում է Սև ծովի ափին Սոչիում զարգացող եռհարկանի սողանք: Առաջին հարկը պտտական սողանք է, երկրորդը՝ հարթային և երրորդը՝ հողահոսք (Տեր-Ստեփանյան, 1967): Մի ուրիշ եռհարկանի սողանք զարգանում է Բալչիկում (Բուլգարիա)՝ Սև ծովի ափին (նկ. 3): Այստեղ առաջին հարկը հակայական մերգենների բլոկներն են, որոնք կալվային շերտի մակերեսով դանդաղ շարժվում են դեպի ծովը, երկրորդ հարկը՝ այդ բլոկներից իջնող և միջրլակային տարածությունը զբաղեցնող ժայռապարներն են, իսկ երրորդ հարկը՝ ենթամակերեսային սողանքներն են (Կամենով և ուրիշ., 1971):

Բարդ սողանքներ

Բարդ սողանքները կաղմված են մի քանի պարզ սողանքներից, հաջորդաբար տեղադրված լանջի վրա ըստ թեթևության: Հողային զանգվածները, որոնք բերվում են մի սողանքից, նյութ են ծառայում մի ուրիշ սողանքի առաջացման համար: Գոյություն ունեն աստիճանական և ձևափոխվող բարդ սողանքներ:

Աստիճանական սողանքներն առաջանում են հորիզոնական կոշտ և փափուկ շերտերից բաղկացած լանջերի վրա, որտեղ կոշտ շերտերի կողմից ստեղծված դիմադրությունն անհնարին է դարձնում մի ամբողջ սողանքի գոյանալը և առաջանում են երկու կամ ավելի սողանքներ (նկ. 1 Շ): Եթե կոշտ ապարները ճաքավոր չեն, իսկ կավերը հաստ են, վերջինների մեջ դարձանում են պտտական սողանքներ. լանջի վրա իջնող զանգվածները բեռնավորում են ներքևում գտնվող գրունտը և պտտաճառ են դառնում նրանց հաջորդաբար սողալուն: Այդպես առաջանում են առաջընթաց ափի աստիճանական պտտական սողանքներ: Եթե կոշտ շեր-

¹ Նկարները տե՛ս էջ 10—16:

տերը ճարավոր են, իսկ կավերը ոչ հաստ, սողանքը կարող է սկսվել լանջի ներքին մասում, պտտական սողանքի հետևանքով վերնում գտնվող ապարները զրկվում են հեռակից և անզաշարժվում: Այդպես առաջանում են եւրեքաց տիպի աստիճանական պտտական սողանքներ: Մի խոշոր երկաստիճանական պտտական սողանք զարգանում է Գոգթ գետի աջ ափին Գեղարգի միջնազարչան տաճարից ոչ հեռու:

Ի՞նչ կավային ապարներն ունեն ումեղ գիտնենտիչ կապեր և սողունափյունը տեղի է ունենում միայն հողմնահարված զոտում, լանջի վրա զարգանում են աստիճանական հողահոսքեր:

Պարտադիր չէ, որ աստիճանական սողանքներ կազմող պարզ սողանքները լինեն նույն տիպի: Ղափանում հողահոսքի լեզվային մասում հարստացման գործարանի համար խոր պեղան փորելու հետևանքով առաջացավ պտտական սողանք, որին աջակցում էր հողահոսքի տարահոսմը: Ուստի ջրամբարի լանջում (Զեխտելովակիա) խոր հանվածքի հետևանքով առաջացած պտտական սողանքները վերածվեցին հողահոսքի (նկ. 5):

Ձևափոխվող սողանքներն ևս առաջանում են, երբ հողային զանդվածների լանջավար իջնելու ընթացքում փոխվում են նրիդրաչանական ու գեանաչարանական պայմանները և, հետևաբար, փոխվում է սողանքի բնույթը: Այդ կարգի բառը սողանքներին պատկանում են շատ ենթատիպեր, որոնցից կնշենք հետևյալները. 1) Պտտական կամ հարթային սողանքներ, որոնք վերածվում են հողահոսքերի (նկ. 1d): Փլվածքներ, որոնք վերածվում են սողանքների կամ հողահոսքերի: 2) ներքին մասում կռակվող հողահոսքեր, որոնք վերածվում են պտտական սողանքների (նկ. 6): 4) Նսեմցումներ, որոնք վերածվում են ցլխաճուճների:

TYPES OF COMPOUND AND COMPLEX LANDSLIDES ON NATURAL SLOPES¹

GEORGE TER-STERANIAN, Prof., Dr. Sc.(Eng).. Corr.Mem. Armen. Ac. Sc.²

Synopsis. Involved landslides on slopes result frequently from combination or superposition of simple landslides or their alteration during the process of displacement. Two types of compound landslides (beads-like and multi-storeyed) and two types of complex landslides (stepped and transforming) are described and examples are given. The relation between constituent elements of earth masses in these types of landslides is shown.

Apart of isolated simple landslides, formations of higher order are met with on many slopes. The interconnection between the components of such formations may be of various types, ranging from their close location to a direct genetic relation. A classification of the compound and complex landslides is premature at present since the mechanism of these types of landslides in many cases needs a more detailed study to make any generalization with confidence. Therefore it is more expedient for the present to confine oneself by description of the ascertained types and determination of their distinguishing features.

Compound landslides

The compound landslides are those which are composed of several simple landslides; the connection consists in close situation only. To the compound landslides belong the beads-like and multi-storeyed landslides.

Beads-like landslides. Numerous landslides stretched like a chain or beads along steep undermined banks of big rivers are observed in horizontally bedded sedimentary

¹ Revised paper, presented to the International Symposium on Landslides and other Mass Movements on Slopes of the International Association on Engineering Geology held in Prague in September 1977 (Ter-Stepanian, 1977).

² Head, Laboratory of Geomechanics, IGES Armen. Ac. Sc.

series. The sliding masses are mostly earthflows; rotational landslides are encountered rarely. Protruding strips of stable rock are situated between separate landslides in their uphill parts; they compose the inter-landslide ridges (Fig. 1a)¹. The characteristic property of the beads-like earthflows is the arrangement of their uphill boundaries to a certain line which corresponds to the water discharge along a bedding plane. Two series of the beads-like earthflows may occur in the case of two water-bearing horizons. For the same reason the beads-like earthflows never begin at the crown of the slope.

The inter-landslide ridges are composed of bedrocks; they are distinguished well in relief in the uphill parts of the slope only, being covered here by thin layers of eluvium. In downhill parts of the slope the earthflows usually mix together while the inter-landslide ridges are submerged and covered by sliding masses.

If the toe of the slope is eroded by a river or a sea, the sliding masses are washed away and the earthflows have no tongue; they are termed *earthflows with eroding lower parts*. If there is no river or sea the sliding masses are not eroded and *earthflows with accumulated lower parts* are formed. In such cases rotational landslides originate in the downhill parts of slopes. Landslides of this type belong to the complex ones; they will be described below.

The initiation of the beads-like landslides due to the water discharge along bedding planes is explained by small deviations from the horizontality of the bottom of the water-bearing stratum; the water discharge is concentrated in lows of the underground relief cut by the slope. Numerous beads-like landslides are observed on the steep right banks of rivers in the Russian platform, particularly of the Volga river. In Oulianovsk and further south the beads-like landslides are associated with the water-discharge from the Albian and Aptian horizons.

Multi-storeyed landslides. Unlike the beads-like landslides where separate constituents are situated in the horizontal direction, the multi-storeyed landslides are characterized by a vertical disposition of their components (Fig. 1b). Another difference is that the components of the beads-like landslides represent the same type of sliding (e. g. earthflows) while the components of the multi-storeyed landslides belong usually to the diverse types of sliding, distinguishing by their depth and mechanism.

The multi-storeyed landslides were studied for the first time on the Caucasian coast of the Black Sea in Sochi. Here a big three-storeyed landslide has been developed; the boundaries of the three storeys of landslides are shown in Fig. 2 by figures 1 to 3. The first storey is a 60 m deep rotational landslide involving blocks of argillites and sandstones, the second storey is a 20 m deep planar sliding in crushed argillites 5 and the third storey is a 6 m deep earthflow in products 6 of weathering of the same argillites. All these landslides are in the phase of depth creep of slopes (Ter-Stepanian, 1967; Ter-Stepanian and Goldstein, 1969). Another big three-storeyed landslide was studied on the Bulgarian coast of the Black Sea in Balchik (Fig. 3). The first storey is the creep of giant blocks of marl with a height up to 120 m, which separate from the plateau and move towards the sea along the inclined surface of clays; the motion of blocks is accelerating and therefore the spaces between blocks increase. The second storey is the creep of rocks composing the walls of the first storey blocks; the moving masses are filling the spaces between blocks. The third storey is formed by different types of subsurface landslides (Kamenov et al., 1971). The multi-storeyed landslides are not unusual phenomena, especially in young highlands, on coasts and on banks of rejuvenated rivers.

Complex landslides

The complex landslides consist of two or more simple landslides; their interaction is of genetic nature. In principle the complex landslides consist of simple ones located on slopes successively along the dip. The earth masses brought down by the uphill

¹ Figures see pp. 10-16.

located landslides serve as material for formation of the next landslides located downhill; the latter may be the same or the other type of sliding. To the complex landslides belong the stepped and transforming landslides.

Stepped landslides. The stepped landslides are developed on slopes consisting of horizontal strata of the clayey rocks alternating with the rigid rocks, e. g. sandstones or limestones. The formation of a single high and big landslide is hindered due to resistance exerted by the rigid rocks; therefore two or more small landslides come into being (Fig. 1c). The rotational landslides develop in the thick clay strata, the base of sliding being at the top of the underlying rigid rocks. The sliding masses move downhill and load the upper part of the earth masses located downhill; thus landslides of the lower step are provoked. This case is observed commonly when the rigid strata are not fissured, as in massive sandstones. Thus *the stepped rotational landslides of the advancing type* are originated. The process may begin also in the downhill part of the slope; owing to the rotational sliding of this part of the slope the earth masses located uphill deprive their support and slide downwards forming thus the upper step of the landslide. This case is common when the rigid strata are fissured as in limestones. Thus *the stepped rotational landslides of the retreating type* originate.

If the clays have strong diagenetic bonds the sliding may take place in the weathered zone only and the stepped earthflows will develop on the slope. A two-stepped earthflow of advancing type has been developed on the Iron Division's slope in Oultanovsk in 1970. If the slope is gentle and more resistant rocks are projecting in the landslide track, being formed by remnants of the alluvial terraces, the earthflows will make complex movement by creeping over the terraces. In the case of slow sliding the earthflow may remain continuous. A three-stepped earthflow of this type (Fig. 4) has been observed at Likhi, Georgia in 1941; it resulted in creeping of weathered earth masses over two Russian and one Würmian terraces (Ter-Stepanian, 1967).

Landslides of the next step do not belong necessarily to the same type of sliding. A rotational landslide was formed when a deep pit was excavated at the foot of an earthflow in Ghaphan, Armenia in 1969; the moving masses of the earthflow assisted in formation of the rotational landslide as a result of the thrust action exerted on the uphill wall of the pit. Q. Záruba described a case when a deep cut in Neogene clays gave rise to a rotational landslide on the water reservoir near Usti in north-western Bohemia; this landslide provoked a planar sliding in products of weathering located uphill (Fig. 5). Another case described by Q. Záruba refers to slumping of a slope provoked by a rotational landslide formed by an excavation for a foundation of a reservoir in north-western Bohemia (Záruba and Mencl, 1969).

Transforming landslides. This is a large group of landslides which change their nature when the geological and/or hydrogeological conditions alter as the landslide moves on. There are many kinds of such landslides; they will be illustrated by examples.

Rotational or planar landslides transforming into earthflows is a widespread type of displacement of earth masses (Fig. 1d). This type of complex landslides deserves a special attention since their mechanism is imperfectly understood for the present. A great landslide near Gros Ventre in Wyoming in 1908—1911 started as sliding of large blocks of crushed Jurassic clays and soft shales and ended as an earthflow with a very slow constant creep (Blackwelder, 1912). The same mechanism has the great Dzmuisi landslide in Okribi, Georgia; the uphill part of the landslide consists of blocks with undisturbed stratification which move westward along a surface of sliding while in the downhill one the remoulded rocks form a shapeless mass and the sliding is replaced by flow (Джанелидзе, 1940). The landslide at Sandling-Alm in Switzerland in 1920 started as a block sliding, turned gradually into an earthflow and filled up the bed of Zlambach (Stiny, 1952). A number of much the same examples are given by D. Varnes (1958), including the great landslide in Reed Terrace area near Kettle Falls, Wash. in 1952. Landslides of this type were so widespread in Apennines,

that they were assembled in a separate group by R. Aimagia (1910); the same has been done by Alb. Heim (1882) and D. Varnes (1958).

Rockfalls transforming into landslides or earthflows is another modification of the above-mentioned type of mass movement. As examples may serve the big Crimean landslides which start as rockfalls of the Upper-Jurassic limestones and transform downhill into landslides (Борисяк, 1905; Погребов, 1948; Мушкетов и Погребов, 1924). Another example is a big rockfall near Vitznau, Switzerland in 1880 which ended in an earthflow (Balzer, 1880).

Earthflows transforming into rotational landslides are developed in lower parts of the earthflows of the accumulating type. Due to the accumulation of the earth masses conditions of static equilibrium are disturbed and rotational landslides are formed. The characteristic for these landslides is the increasing of the radii of rotation of subsequent failures as a result of the increase of volume of the accumulated earth masses. Such phenomena were observed on a slope in Khosta near Sochi on the Black sea coast (Fig. 6), where the radii of rotation of the successive rotational landslides were 18, 61 and 76 m (Ter-Stepanian et al., 1968).

Subsidence transforming into mudflows are widespread in Middle Asia. The landslides in loessial soils begin as slope subsidence, caused by wetting in places of the groundwater discharge. The loessial soils separate from the massif as blocks and transform further into a liquefied mass which flows downhill with a great speed (Ниязов, 1968; Круковский и Ходжаев, 1968).

Concluston

The analysis of formation conditions of the compound and complex landslides deserves special attention of experts since the understanding of their features, the skill in separating the components and an establishment of their interrelationship may be of great value in unraveling the involved cases of the landslide mechanism and in rational planning the correction measures.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ—ЛИТЕРАТУРА—REFERENCES

- Կամենով Բ., Տեր-Ստեփանյան Գ., Իլիև Ի., Սիմեոնովա Գ. և Ավրամովա-Տաշևա, 1971. *Բաշլիկի (Բաղդարիա) եռհարկ բարդ սողանքի մեխանիզմը Գեոմեխանիկայի պրոբլեմներ, Երևան, 5: 6—29.*
- Տեր-Ստեփանյան Գ., 1967. *Լանդերի ձևափոխությունների դիտումների օգտագործումը սողանքի մեխանիզմի վերլուծման համար Գեոմեխանիկայի պրոբլեմներ, Երևան, 1: 16—51.*
- Борисяк А. А., 1905. О горных обвалах близ Алупки в Крыму. Сб. памяти И. В. Мушкетова. СПб., 197—221.
- Варнес Д., 1960. Типы оползней и оползневые процессы. В кн. «Оползни и инженерная практика», под ред. Э. Б. Эккеля. М., Трансжелдориздат, 23—62.
- Джанелидзе А., 1940. Геологические наблюдения в Окибе и смежных частях Рачи и Лечхума. Булл. Груз. фил. АН СССР, Тбилиси.
- Каменов Б., Тер-Степанян Г. И., Илиев И., Симеонова Г., Аврамова-Тачева Э., 1971. Механизм сложного трехъярусного оползня в Балчике, Болгария. Проблемы геомеханики, Ереван, 5: 6—29.
- Круковский Г. Л. и Ходжаев М. Г., 1968. Оползни Узбекистана, их типы, причины образования. Сб. «Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны», Душанбе, 12: 180—186.
- Мушкетов Д. И., Погребов Н. Ф., 1924. Оползни южного берега Крыма. Изв. геол. ком., 43(8): 169—177.
- Ниязов Р. А., 1968. О стадийности образования оползней в лессовых породах. Сб. «Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны», Душанбе, 12: 197—201.
- Погребов Н. Ф., 1948. Крымская оползневая станция и ее работы по изучению оползневых явлений и разработке мер борьбы с ними. Матер. ЦНИГРИ, гидрогеол. сб. 4 Крымской оползневой станции, ОНТИ, Л., 2—8.
- Тер-Степанян Г. И., 1967. Использование наблюдений за деформациями склона для анализа механизма оползня. Проблемы геомеханики, Ереван, 1: 16—51.

- Тер-Степанян Г. И., 1969. О механизме многоярусных оползней. Тр. к VII Междунар. конгр. по механике грунтов и фундаментостроению, М., Гостройиздат, 190—199. См. также Проблемы геомеханики, Ереван, 1970, 4: 16—48.
- Тер-Степанян Г. И., 1973. Некоторые особенности механизма земляных потоков. Сб. «Инженерно-геологические свойства глинистых пород и процессы в них». Тр. Междунар. симпозиума, М., III: 117—132.
- Тер-Степанян Г. И., Сергеев В. Н. и Авджян А. А., 1968. Опыт изучения медленных земляных потоков в Сочи. Проблемы геомеханики, Ереван, 2: 63—83.
- Almagia R., 1910. Studi geografici sulla frane in Italia., V. 2, L'Appennine centrale e meridionale. Conclusioni generale. Soc. Geogr. Ital., Memoire, v. 14.
- Balzer A., 1880. Ueber Bergstürze. Neues Jahrb. f. Miner., 2: 197—199
- Blackwelder E., 1912. The Gros Ventre slide, an active earthflow. Bull. Geol. Soc. Am., 23: 487—492.
- Helm Alb., 1882. Ueber Bergstürze. Naturforsch. Gesellsch. Zürich, Neujahrsblatt 84.
- Kamenov B., Ter-Stepanian G., Iliev I., Simeonova and G. Avramova-Tacheva E., 1971. Mechanism of the complex three-storeyed landslide in Balchik, Bulgaria. Problems of Geomechanics, Yerevan, 5: 6—29.
- Stiny J., 1952. Neues Ansichten über „Bodenbewegungen“ und ihre Beherrschung durch Ingenieur. Geol. u. Bauw., 19(2): 31—54.
- Ter-Stepanian G., 1967. The use of observations of slope deformation for analysis of mechanism of landslides. Problems of Geomechanics, Yerevan, 1: 16—51.
- Ter-Stepanian G., 1977. Types of compound and complex landslides. Bull., Intern. Assoc. Eng. Geology, Krefeld, 16: 72—74.
- Ter-Stepanian G. and Goldstein M., 1969. Multi-storeyed landslides and strength of soft clays. Proc., Seventh Intern. Conf. Soil Mech. Found. Engg., Mexico, 2: 693—700. See also Problems of Geomechanics, Yerevan 1970, 4: 16—48.
- Ter-Stepanian G., Sergeev V. and Avdjian A., 1968. Experience on the study of slow earthflows in Sochi. Problems of Geomechanics, Yerevan, 2: 63—83.
- Varnes D. J., 1958. Landslide types and processes. In: „Landslides and engineering practice“ by Committee on Landslide Investigations, ed. by E. B. Eckel, Highway Research Board, Sp. Rep. 29. Washington, D.C.
- Záruba Q. and Mencl V., 1969. Landslides and their control. Praha, Academia.