

## ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК: 551.3;624.13

# МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ БЛОКА-ПРОВАЛА ПРИ АКТИВИЗАЦИИ ГЛУБОКОГО ОПОЛЗНЯ С ПОЗИЦИЙ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР

© 2019 г. Г. П. Постоев

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН  
Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия  
E-mail: opolzen@geoenv.ru*

Поступила в редакцию 5.03.2019 г.

В статье рассмотрен механизм образования провала в тыловой части нового оползневого блока при его отделении от коренного массива. Показано, что при подготовке провала участвуют два блока – элемента диссипативных структур, возникающих в поле напряжений коренного оползнеопасного массива. Проанализированы условия образования провала, распределения напряжений (в соответствии с решениями Лапласа для осесимметричных тонкостенных оболочек) внутри блока и по его граничным поверхностям (оболочкам) при формировании предельного состояния массива, отделения блока по оболочке (разрыва сплошности массива) и особенностей деформирования грунтов. Нарушение равновесия массива надоползневого уступа обычно происходит из-за возникновения разрыва сплошности грунта по круглоцилиндрической оболочке первого блока, примыкающего к бровке склона. При этом имеет место детрузивный механизм перемещения нового оползневого блока. В дополнение к обычному процессу возможно проявление деляпсивного механизма движения, когда возникает активизация смещений массива снизу (размыв, оползание, подработка нижней части склона). Подобная активизация оползневого процесса способствует повышению интенсивности снижения напряжений в тыловой оболочке блока в массиве надоползневого уступа и соответственно раскрытию трещины закола. В этот момент проявляется влияние следующего блока диссипативных структур с возникновением смещений по фронтальной оболочке блока и образованием провала между указанными границами.

Приведены примеры образования блоков-провалов при активизации оползневого процесса на естественных склонах и откосах.

**Ключевые слова:** диссипативные структуры, оползневой блок, провал, детрузивный, деляпсивный, разрыв сплошности.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019430-39>

### ВВЕДЕНИЕ

При активизации оползневого процесса с развитием глубоких подвижек нередко в верхней части оползневого склона наблюдается образование относительно глубокого провала. В горном деле эти образования, отмечаемые на бортах карьеров и откосах отвалов, получили названия призмы (клина) активного давления (оседания) [2, 3]. Подобные явления встречаются и на естественных склонах. В работах зарубежных авторов [9] указанный морфологический элемент оползневого склона назван грабеном. Научный и практический интерес изучения процесса образования блока-провала включает несколько аспектов. В частности активизация оползневого процесса с образованием провала, как правило, носит катастрофический характер. Это касается внезапности

проявления данного события и больших величин фиксируемых деформаций. Кроме того, недостаточно изучены условия образования специфических форм морфологии склона, механизм и причины подобного развития оползневого процесса.

В статье рассматриваются указанные аспекты, а также оценивается возможная связь особенностей развития глубоких оползневых подвижек с формированием в коренном массиве вблизи оползневого очага соответствующих диссипативных структур.

### БЛОКОВОЕ РАЗВИТИЕ ОПОЛЗНЕВОГО ПРОЦЕССА

Естественные или техногенные процессы переработки нижней части склона способствуют изменению исходного напряженного состояния

в грунтовом массиве. Нередко эти процессы приводят к смещению пачки склоновых отложений в виде массивного блока с сохранением в значительной степени исходного естественного сложения грунтов. До последнего времени оставались дискуссионными вопросы о причинах блокового развития оползневых процессов, связи параметров блоков с особенностями геологического строения грунтового массива, обосновании базиса оползания, детрузивном механизме смещения блоков, механизме формирования новых оползневых блоков в коренном массиве.

Поле напряжений в грунтовом массиве представляет сравнительно динамичную систему, которая может перестраиваться при возникновении локального силового воздействия. При этом образуются линии и поверхности напряженности в виде виртуальных границ по контуру оползневых очагов, сводов над подземными полостями, ядер под фундаментами [5]. В работе [6] показано, что оползневые блоки могут быть следствием образования специфических диссипативных структур в поле напряжений прилегающего к склону коренного грунтового массива под влиянием оползневого очага (в соответствии с теорией диссипативных структур И.Р. Пригожина [10]). В частности, установлено, что диссипативные структуры располагаются между дневной поверхностью и горизонтом базиса оползания. Они имеют формы блоков-полуцилиндров, расположенных горизонтально, параллельно бровке склона. Диаметральная плоскость блока совпадает с дневной поверхностью массива, а центральная образующая (точка  $C_i$  в сечении) круглоцилиндрической поверхности находится на горизонте базиса оползания  $A_{sl}$ , на глубине  $Z_a$  (рис. 1).

На рис. 1 представлен схематический разрез по центральному створу оползневого очага, образованного в результате смещения глубоких оползневых блоков. В завершении оползневого цикла на склоне формируется оползневая терраса (на уровне  $A_{cr}$ ), а превышение надоползневого уступа

(точка  $O_2$ ) над ней достигает критического значения [6]. На основе решений Лапласа для симметричных тонкостенных оболочек получено, что основные напряжения от веса грунтов в пределах блока концентрируются по его граничной круглоцилиндрической поверхности (оболочке).

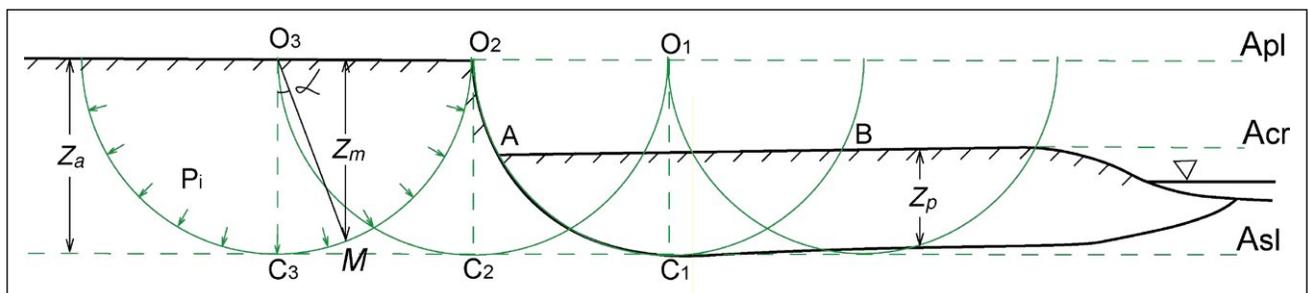
В оболочке образуются главные меридиональное и широтное напряжения. Третье главное напряжение, нормальное к поверхности оболочки, в данном случае – внутреннее распорное давление грунта. При этом на наружной стороне оболочки (границе блока) давление равно нулю.

В произвольной точке  $M$  меридиональные напряжения  $\sigma_m$  определяются по выражению:

$$\sigma_m = p_m \cdot Z_a = (\gamma Z_m - \sigma_{str,m}) \cdot Z_a \cdot \operatorname{tg}^2(45 - \varphi/2), \quad (1)$$

где  $p_m$  – распорное давление на оболочку от веса грунта на глубине  $Z_m$ , определяемое как наименьшее давление по критерию Кулона-Мора;  $Z_a$  – радиус круглоцилиндрической поверхности (глубина до базиса оползания, где происходит разгрузка горизонтальных напряжений распора-отпора);  $\gamma$  – среднее значение удельного веса грунтов, залегающих выше точки  $M$ ;  $\sigma_{str,m}$  и  $\varphi$  – соответственно структурная прочность и угол внутреннего трения грунтов на горизонте точки  $M$ .

Из (1) следует, что меридиональные напряжения в  $Z_a$  раз превышают значение распорного напряжения в точке внутри блока. Основные напряжения сосредоточиваются в нижней части блока (наибольшие – в точке  $C$ ), где горизонт  $A_{sl}$  (уровень базиса оползания) служит основным источником ослабления напряжений и формирования предельного состояния. Нарушение равновесия и разрушение массива, как правило, происходят по граничной поверхности блока, примыкающего к оползневому массиву (см. рис. 1, блок с центром  $O_2$ ) [6]. Однако возможно участие в подготовке активизации оползневого процесса и следующего за ним блока коренного массива с образованием характерного “провала”.



**Рис. 1.** Схематический разрез по центральному створу оползневого очага с обозначением блоков – диссипативных структур в коренном массиве. Тонкой сплошной линией показаны границы блоков и стрелками – давление  $P_1$  внутри блока на оболочку. АВ – дневная поверхность блока в оползневом массиве на уровне  $A_{cr}$ .

## УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ “ПРОВАЛА”

Особенность механизма развития блоковых оползней сжатия-выдавливания — проявление детрузивного эффекта — перемещение оползневой массы происходит под давлением отделившихся от массива плато оползневых блоков до тех пор, пока дневная поверхность активного оползневой блока не достигнет установившегося уровня  $A_{cr}$  оползневой террасы, соответствующего завершению оползневой цикла. В соответствии с указанным механизмом, как правило, происходят формирование и отделение одного блока возникающей диссипативной структуры в коренном массиве. Вместе с тем в определенных условиях может происходить активизация оползневых смещений снизу по деляпсивному механизму, который может вызывать соответствующие изменения в процессе формирования напряженного состояния в оползнеопасном массиве. В частности, более интенсивно происходит образование новой закорной трещины (рис. 2) в тыловой части нового формируемого оползневой блока (вследствие импульса ослабления напряжений, идущего снизу).

Предельное состояние надоползневой уступа блока I наступает, когда подошва откоса (площадка АВ) достигает критического уровня  $A_{cr}$  оползневой террасы (см. рис. 1, 2). Уравнение равновесия блока имеет вид:

$$\gamma_i Z_{ai} - \sigma_{str,i} = \frac{\pi}{2} \gamma_i Z_{p,cr}, \quad (2)$$

где  $\gamma_i$  — средний удельный вес грунтов, залегающих над  $i$ -м горизонтом (уровнем  $A_{sl}$ ) в оползнеопасном коренном массиве (см. рис. 1);  $Z_a$  — глубина до горизонта  $A_{sl}$  в коренном массиве;  $\sigma_{str}$  — структурная прочность грунта на горизонте  $A_{sl}^{str}$  коренного массива;  $Z_{p,cr}$  — критическая (расчетная) глубина до деформирующегося горизонта  $A_{sl}$

в массиве оползневых отложений, пригружающих откос коренного массива надоползневой уступа;  $a$  и  $p$  — индексы, характеризующие соответственно зоны формирования активного и относительно пассивного горизонтальных давлений на горизонте базиса оползания  $A_{sl}$ .

Возможная дополнительная активизация процесса ослабления напряжений в массиве надоползневой уступа, в связи с развитием смещений оползневой тела снизу вверх (деляпсивный фактор), способствует ослаблению напряжений по тыловой границе блока I более глубокому раскрытию трещины закола 3 (см. рис. 2). В результате формируется предельное состояние в массиве 4 по граничной оболочке блока II (по фронтальной поверхности  $O_1 C_2$ ). Объединенный массив указанного блока, отделяясь от блоков I и II, интенсивно смещается вниз с образованием относительно глубокого провала. При этом происходит раздавливание грунтов в основании массива 4, а оставшаяся часть облегченного массива надоползневой уступа (см. рис. 2, незаштрихованная часть блока I, с вершиной  $O_1$ ) смещается в основном горизонтально, нередко с образованием некоторого выпора под давлением массива 4 (или блока II) и характерной поднятой трещины сжатия по фронтальной границе провала. Возможно, в некоторых условиях провал может полностью захватить и блок II.

## ПРИМЕРЫ ОПОЛЗНЕЙ

**Активизация оползня на участке Рыбная Слобода.** Рассматриваемый участок находится на правом берегу р. Камы, недалеко от мостового перехода Сорочьи горы. Блоковое формирование и развитие оползневой процесса в породах пермской системы началось после заполнения Куйбышевского водохранилища и переработки нижней

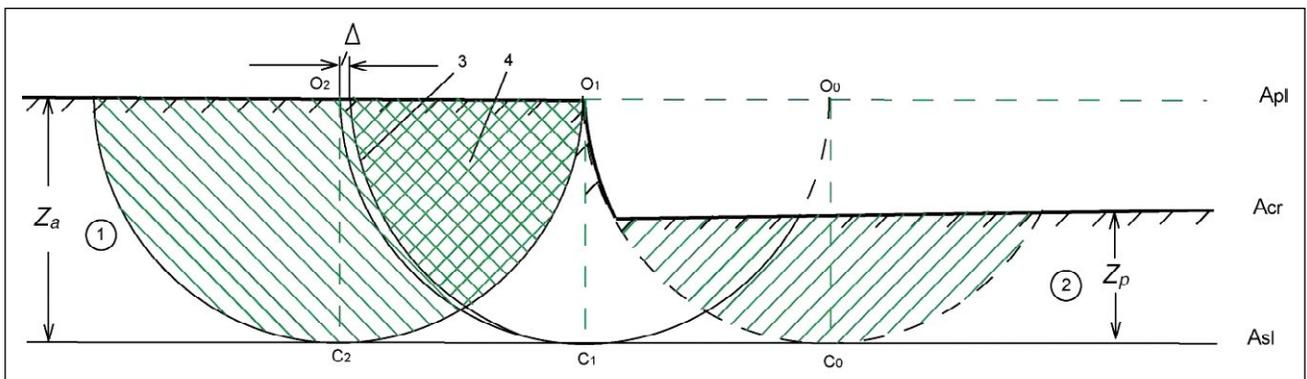


Рис. 2. Схема одновременного нарушения равновесия двух блоков-элементов диссипативных структур. 1, 2 — соответственно коренной и оползневой массивы; 3 — углубленная трещина закола со смещением  $\Delta$ ; 4 — часть формируемого нового оползневой блока I (с центром  $O_1$ ), объединившаяся с соседним блоком II (с центром  $O_2$ ).

части склона. Первый оползневой блок образовался в 1978 г. Следующая активизация оползневой процесса произошла в 1988 г. на участке склона выше по течению. В обоих случаях длина блока составляла 50-60 м, ширина площадки блока – до 15 м. В активизации 1990 г. (рис. 3) длина отделившегося оползневой блока достигала 135 м, ширина 40 м (из двух частей). **Тыловая часть блока просела на 2.5-3 м** (в виде характерного провала), при этом фронтальная часть переместилась в сторону реки с небольшим выпиранием и образованием вала сжатия в подводной части склона. В данном случае отделению двойного блока способствовал активный подмыв склона, в том числе вследствие техногенного фактора (дноуглубительные работы для подхода судов к причалу нефтебазы, расположенного у границы участка выше по течению).

**Оползень на Соколовой горе (г. Саратов).** Активизация блокового оползня произошла в июне 1968 г. у северной окраины г. Саратова на склоне Соколовой горы, образующем правый берег волжской протоки Тарханки [7].

Коренной массив нижней части склона Соколовой горы сложен горизонтально-слоистыми юрскими (оксфорд) и нижнемеловыми (баррем, апт) породами (рис. 4).

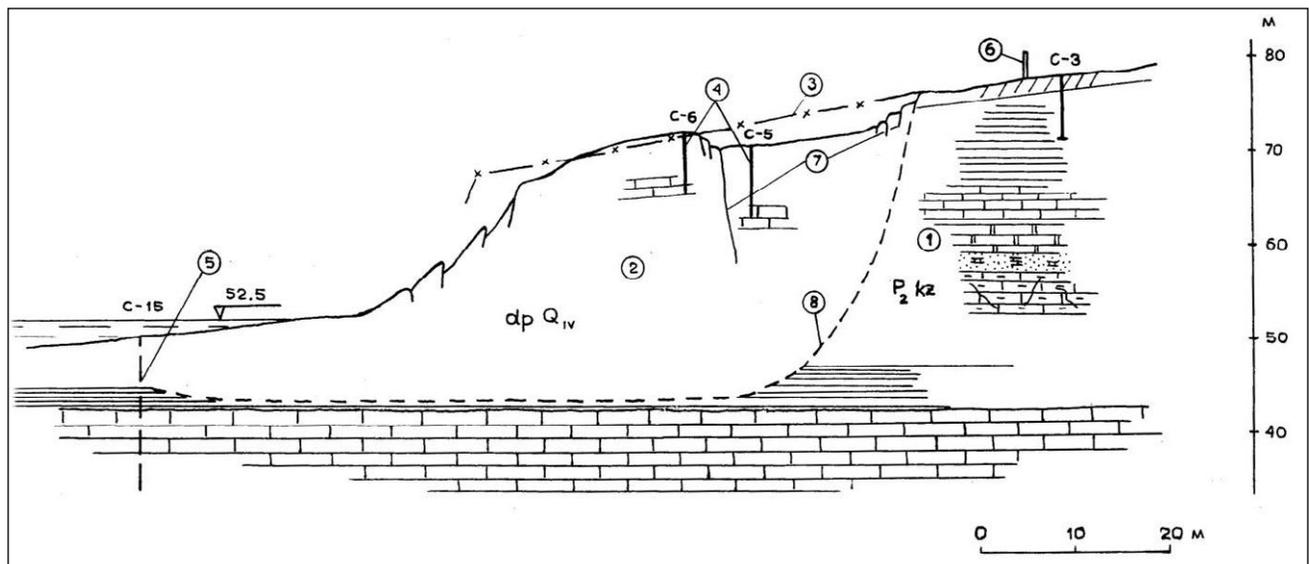
При активизации оползня образовавшийся новый блок разделился на две части: одна размером (по направлению смещения) примерно 60 м **просела по вертикали на 18-20 м**, другая – сместилась в горизонтальном направлении. Нижние ступе-

ни переместились к реке на 2-3 м, при мощности оползневых масс около 20 м. В русле Тарханки образовались валы выпирания. Активизации оползневой процесса способствовали активный подмыв склона водами Тарханки, резкая сработка уровня водохранилища накануне на 1.72 м и аномальные атмосферные осадки.

Подобное развитие оползневой процесса в Саратове отмечалось и на горе Увек в 1935 г. По данным Б.И. Нечаева [8, с. 16], отделившийся блок шириной 70-80 м и длиной 270 м, на волжском оползневом склоне высотой 80 м, *“просел за сутки на 19 м; образовался провал с почти вертикальными стенками”*.

**Оползень в карьере на Восточно-Марицком угольном месторождении в Болгарии [1].** Оползень с формированием характерного провала (клина оседания) возник в 1966 г., когда глубина карьера достигла 55 м (разность отметок земной поверхности и угольного забоя). Поверхность скольжения (практически горизонтальная) находилась в подугольных глинах (рис. 5), которые имели следующие значения характеристик прочности:  $\varphi = 5^\circ$ ;  $c = 80$  кПа и, соответственно,  $\sigma_{str} = 174.6$  кПа.

В свое время было высказано много суждений о причинах и механизме данного оползня [1]. Нижняя ступень представляет собой обнаженный угольный пласт. Согласно описанию технологии разработки угля, использовался роторный многочерпаковый экскаватор, высота рабочих уступов составляла 12-15 м и более. Анализ состояния



**Рис. 3.** Схематический инженерно-геологический разрез по оси очага активизации оползневой процесса в 1990 г. (участок Рыбная Слобода, Республика Татарстан): 1 – коренной массив; 2 – оползневой массив; 3 – профиль поверхности земли и бровка склона в 1975 г. (до возникновения оползневых деформаций); 4, 5 – геологоразведочные скважины; 6 – забор нефтебазы; 7 – оползневые трещины и секущие поверхности скольжения; 8 – основная поверхность скольжения оползня.

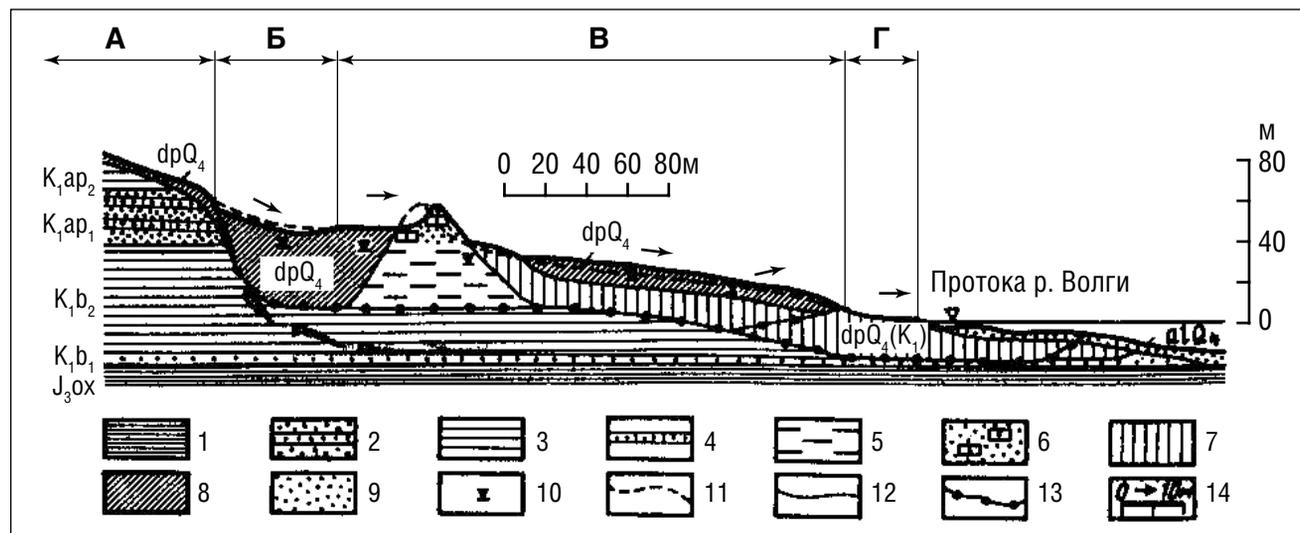
уступов и склона в целом [4] показал, что в соответствии с положением поверхности скольжения и прочностью подугольных глин нижняя ступень (угольный пласт) находилась в предельном равновесии (см. рис. 5). Если учесть, что производилась постоянная подработка пласта экскаватором, нарушение равновесия нижней ступени было неизбежно.

По данным расчетов состояния последующих ступеней оказалось, что они также находились в предельном равновесии. При этом производилась постоянная разработка угля, вызывающая опасное ослабление горизонтальных напряжений. Соответственно цепочка потери равновесия ступеней снизу вверх захватила и прирвовочную часть плато с образованием провала на 20-25 м (см. рис. 5).

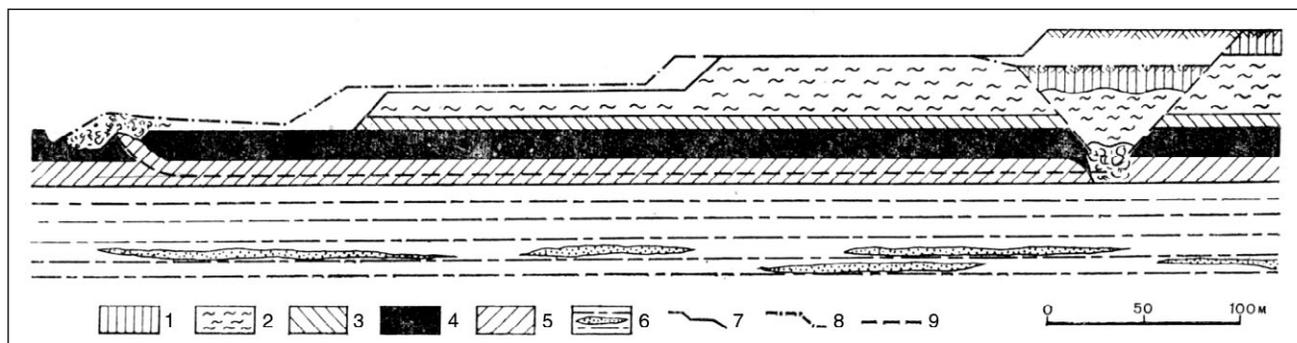
**Оползень на карьере Прикаспийского ГОКа.** 16 декабря 1987 г. произошло смещение нерабочего северо-западного борта карьера 3-го Прикаспийского ГОКа в объеме около  $25 \cdot 10^6 \text{ м}^3$  (по материалам, представленным проф. А.М. Деминым). До оползания борта карьер разрабатывался в течение 23 лет. В проектных контурах карьер характеризовался следующими параметрами: длина 2,35 км, ширина 2,5-3,4 км, глубина от 100 до 190 м (рис. 6). Рудовмещающие породы – палеогеновые глины мощностью 60-80 м. Отработка месторождения производилась комплексом оборудования цикличного и непре-

рывного действия. Глубина карьера в толще песчано-глинистых грунтов на момент образования оползня достигла 110 м. Деформация бортов карьера произошла при ведении горных работ в районе так называемого “кармана” – характерного изгиба длиной 800 м, образованного северным нерабочим бортом и северной частью западного рабочего борта. Трещин на бортах до ведения горных работ не было выявлено. В нижней части уступа непосредственно после прохода роторного экскаватора отмечалось появление горизонтальных трещин разгрузки, т.е. имело место ослабление напряжений в уступе и возникновение деформаций. Для повышения устойчивости бортов в районе “кармана” производилась отсыпка внутренних отвалов (см. рис. 6). До начала подвижек, по состоянию на 16.12.1987 г., “карман” был полностью заполнен 1-м ярусом отвалов высотой 10 м и на 85% 2-м ярусом отвалов, высотой также 10 м. Подвижки массива начались в 3.00 часа 16.12.1987 г.

Смещение борта вначале проявилось в форме резкого оседания прирвовочной части массива шириной до 100 м (от тыловой границы гор. +88 до трещины на гор. +110) и длиной (по бровке откоса) 220-250 м. Оседание массива произошло на глубину 40-50 м (рис. 7). Затем, по данным наблюдений, имела место более медленная подвижка откоса. В конечном итоге откос занял равновесное устойчивое положение под углом  $11^\circ$ . Считалось, что возможной



**Рис. 4.** Схематический геологический разрез по оси оползня 1968 г. на Соколовой горе в г. Саратове [7]. А – приподшенная полоса верхней части склона; Б – площадка просевшей поверхности земли в головной части оползня; В – основная часть массива оползня, надвинувшаяся на нижнюю оползневую ступень; Г – нижняя оползневая ступень. 1 – юрские (оксфордские) глины ( $J_{\text{соx}}$ ); 2 – барремские пески ( $K_{b1}$ ); 3 – барремские ( $K_{b2}$ ) и аптские ( $K_{\text{ап}2}$ ) глины; 4 – нижняя пачка апта: слабые песчаники и пески ( $K_{\text{ап}1}$ ); 5-6 – смещенный по горизонтали массив нижнемеловых пород: 5 – барремских глин, 6 – пород нижней пачки апта; 7 – смещенные оползнями блоки нижнемеловых глин; 8 – перемятые оползневые глины и суглинки; 9 – пески современного аллювия; 10 – уровень грунтовых вод; 11-12 – профиль склона: до (11) и после (12) подвижки оползня; 13 – подошва оползня (в том числе подошва массива, надвинувшегося на нижнюю оползневую ступень); 14 – векторы смещения при подвижке оползня и их масштаб.



**Рис. 5.** Схема оползня на Восточно-Марицком угольном месторождении: 1 – суглинки; плиоценовые глины: 2 – зеленовато-серые; 3 – черные; 4 – угольный пласт; подугольные глины: 5 – слоистые; 6 – с линзами песка, содержащими напорные воды (плиоцен); профили рабочего борта: 7 – до и 8 – после деформирования; 9 – поверхность скольжения.

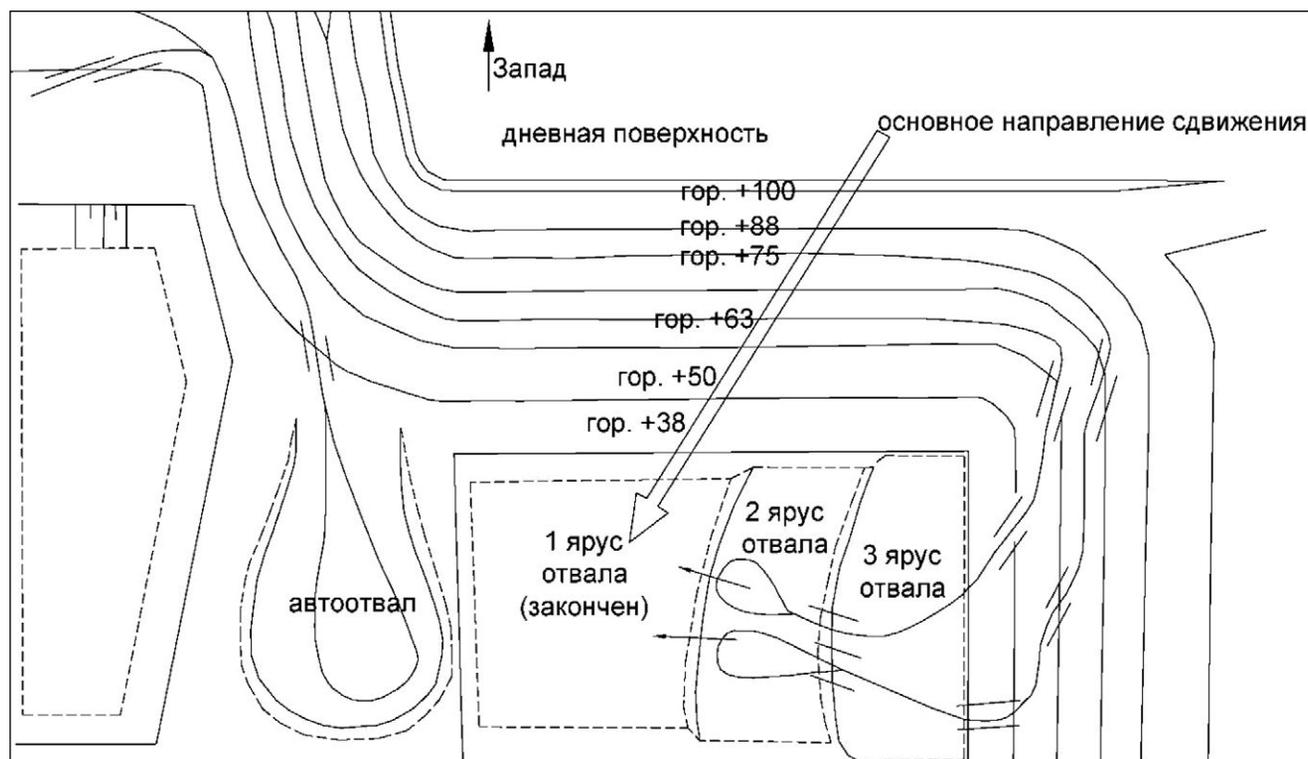
причиной образования оползня являлось гравитационно-тектоническое разрушение пород по системам трещин и плоскостей скольжения.

По технологии оценки состояния склона, разработанной в ИГЭ РАН [4, 11], было установлено, что нижний уступ борта находился в неустойчивом состоянии. При высоте уступа 38 м критическая (расчетная) высота упора (отвала), пригружающего уступ, составляет 16,8 м, а фактическая мощность отвала достигала всего 10 м – первый ярус отвала (см. рис. 6). Это послужило причиной нарушения равновесия, оседания уступа и про-

грессирующего оползания борта на всю его высоту с “провалом” в верхней части.

#### ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА И ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКА

**Трещина закола.** В начальный период катастрофической активизации блокового оползня с отделением от коренного массива нового блока по тыловой его границе на плато нередко образуется так называемая трещина закола. В трактовке механизма образования блокового оползня, как правило, указывается, что в период подготовки отделения блока при раздавливании



**Рис. 6.** Схема организации внутренних отвалов в районе “Северного кармана” (по материалам Демина А.М.).

грунтов деформирующегося горизонта происходит прогиб краевой части плато. В зоне изгиба концентрируются растягивающие напряжения, в последующем следуют деформации разрыва грунтов и развитие процесса отделения смещающегося блока.

Однако с позиций заблаговременного формирования диссипативных структур в поле напряжений грунтового массива известный механизм требует корректировки. Во-первых, нарушение равновесия блока начинается снизу, где происходит наибольшая концентрация напряжений в формируемой оболочке блока, и в то же время напряжения по нижней границе блоков снижаются. Во-вторых, напряжения концентрируются в узкой зоне, в грунтах приповерхностных слоев кольцевые (широтные) напряжения действуют практически в вертикальной плоскости (см. рис. 1, 2). Допредельные вертикальные деформации (осадка) грунтов в новой образованной структуре-блоке могут происходить вследствие изменения масштаба деформирования от точки (образца) к объему блока. При этом на усредненное значение структурной прочности грунтов влияют неоднородности, связанные с естественной трещиноватостью массива. Напряжения в оболочке значительно превышают давление распора (от веса пластов грунта в блоке). Соответственно предельное состояние и механизм отделения блока регламентируются напряжениями в оболочке блока и его взаимодействием с прилегающей частью оползневого массива, особенно на горизонте базиса оползания.

**Отделение блока.** Диссипативные структуры-блоки формируются в поле напряжений грунтового массива вследствие локального ослабления

напряжений в массиве вблизи оползневого очага на склоне. Два главных напряжения образуются в оболочке блока (меридиональное и широтное). Третьим главным напряжением является внутреннее распорное давление грунта на оболочку, нормальное к ее поверхности. Важно отметить, что с наружной стороны оболочки давление равно нулю. Действительно, при образовании и оседании блока обнажается ровная, подобная круглоцилиндрической, поверхность “стенки срыва”, которая может свидетельствовать о первоначальном проявлении данной границы в поле напряжений. Для понимания превращения виртуальных граничных поверхностей в массиве в разрыв сплошности грунтов можно представить блоки в виде плотно наполненных дисперсным грунтом мешков. При этом давление грунта в мешке полностью воспринимается мешковиной. Упомянем, что с наружной стороны напряжения отсутствуют. Блок, подобно мешку, выглядит как самостоятельная конструкция. Его состояние и равновесие определяются по границам его взаимодействия с другими блоками. В действительности граничные поверхности блоков (в напряжениях) в соответствии с представляемой схемой пересекаются, определяя более сложную структуру, и это требует более детального изучения механизма преобразования напряжений, взаимодействия блоков и формирования характерных ровных поверхностей разрыва сплошности грунта, несмотря на различие грунтов по прочности в толще массива.

**Деформирование грунтов в блоке.** Имеется некоторое сходство деформирования грунтов при лабораторном испытании в стабилометре (в точке) и при отделении блока (в массиве). Исходное напряженное состояние грунта – осесимметричное компрессионное сжатие. Как в “точке”, так

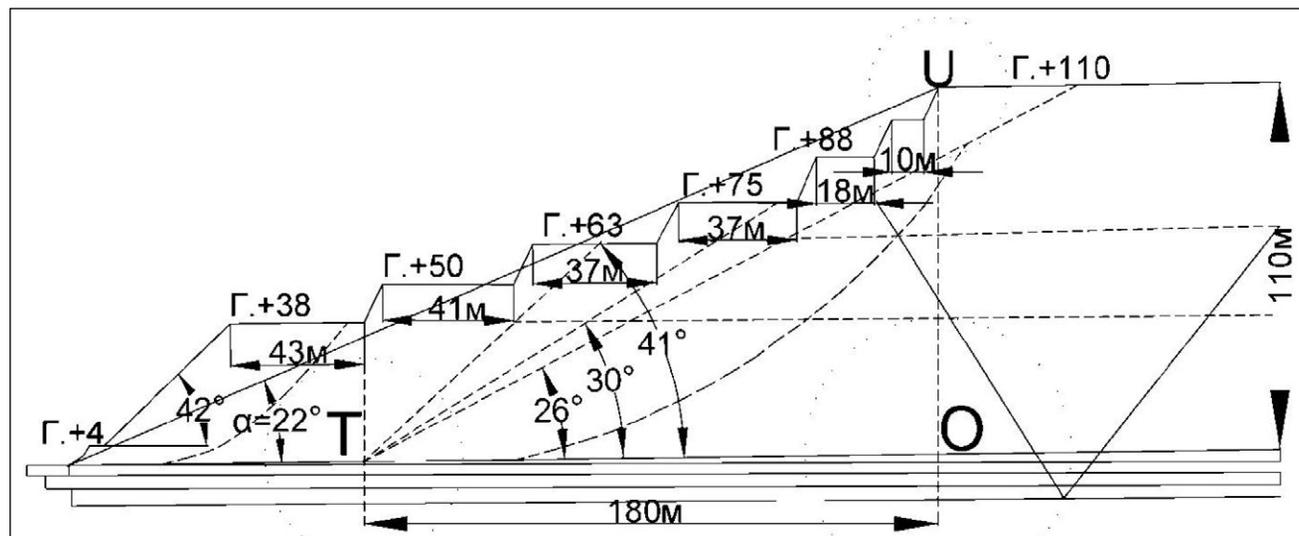


Рис. 7. Схематический разрез северо-западного борта с призмой активного давления (по материалам Демина А.М.).

и в “массиве” при превышении вертикальным давлением значения структурной прочности грунта возникают напряжения распора, которые передают нагрузку на окаймляющие стенки образца (в точке) или на граничную оболочку (в блоке). Указанные ограждающие границы создают отпор и тем самым обеспечивают исходную прочность грунта. Следует отметить, что и при одноосном сжатии грунта прочность сохраняется пока вертикальное (осевое) давление на образец грунта не превысит структурную прочность.

В точке массива (элементарном объеме грунта) необходимый отпор создается соседними точками (в условиях компрессионного сжатия). При образовании диссипативных структур в виде блоков грунт на каждом горизонте внутри блока создает распорное давление, как функцию веса вышележащей толщи и структурной прочности грунта на данной глубине (см. рис. 1), которое воспринимается отпором ограждающей виртуальной оболочки (в напряжениях). Ослабление напряжений в оболочке блока и, соответственно, снижение отпора вызывают оседание грунтовых масс блока при постоянной вертикальной нагрузке (давления от веса грунтов). В запредельном состоянии блока напряжение в оболочке падает, блок оседает по образовавшемуся разрыву сплошности (по боковой круглоцилиндрической поверхности блока), а деформирование грунтов происходит в режиме одноосного сжатия. При этом в верхних слоях толщи, где вертикальное давление не превышает (или соизмеримо) структурной прочности, практически сохраняется исходная структура массива.

Грунты нижних горизонтов раздавливаются с образованием характерных валов, которые обнаруживаются по данным бурения скважин на многих оползневых склонах. Формированию данных структурных элементов способствует форма диссипативных структур в виде указанных блоков. Между соседними блоками имеется пространство, в котором грунты сохраняют исходную структуру и прочность (например, треугольники на разрезе с основаниями  $C_1-C_2$  и  $C_2-C_3$ , см. рис. 1). Тыловая граница указанных “останцов” в определенной степени регламентирует деформирование грунтов у горизонта базиса оползания в виде характерных валов. Также “останцы” участвуют в создании подобной структуры с сохранением естественного сложения грунтов в I блоке (см. рис. 2, незаштрихованная часть с вершиной  $O_1$ ).

Вместе с тем эти образования (“останцы”), по-видимому, участвуют в смещении, проявляя сдвиговые подвижки по горизонтальной поверхности скольжения  $A_{sl}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Образование провала в тыловой части нового оползневого блока, отделяемого от коренного грунтового массива, обусловлено проявлением следующих процессов:

- подготовкой в поле напряжений коренного массива соответствующих диссипативных структур в виде блоков-полуцилиндров (потенциальных оползневых блоков);
- участием в образовании провала двух блоков-полуцилиндров, примыкающих к оползневому очагу;
- формированием предельного состояния в массиве надоползневого уступа, возникновением разрыва сплошности массива и развитием разрушительных деформаций по граничным поверхностям блоков;
- проявлением деляпсивного фактора (активизация разгрузки напряжений и деформаций грунтов в нижней части склона) на фоне детрузивного механизма смещения оползневых блоков;
- взаимодействием двух блоков диссипативных структур в массиве надоползневого уступа с разрывом сплошности по фронтальной оболочке второго блока (выпуклой стороной в сторону склона).

Анализ фактических случаев образования оползневых блоков показывает, что оседание поверхности массива в виде провала в тыловой части пришедшего в движение блока может составлять 18-50 м.

Применение теории диссипативных структур, теоретических решений при оценке предельного состояния массива надоползневого уступа и выявления базиса оползания, а также решений Лапласа для расчета напряжений в симметричных тонкостенных оболочках позволяет получить новые данные о механизмах образования “трещины закола” на дневной поверхности оползнеопасного коренного массива, деформирования грунтов внутри блока после его отделения от коренного массива, нарушения (разрыва) сплошности грунтового массива по граничной поверхности (оболочке) блока.

Результаты теоретических разработок и расчетов во многом подтверждаются данными инженерно-геологических исследований на конкретных оползневых участках. Вместе с тем остается много нерешенных вопросов, касающихся как приложения теории диссипативных структур применительно к изучению оползневого процесса, методики выявления и контроля динамики диссипативных структур-блоков, практических применений научно-методических разработок к оценке оползневой опасности (в том числе к расчетам устойчивости), прогнозированию разрушительных смещений массива, технологии мониторинга и защиты.

**Источник финансирования.** Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания и плана НИР по теме № г.р. АААА-А19-119021190077-6.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов И.П. Инженерно-геологические исследования в горном деле. Л.: Недра, 1987. 255 с.
2. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1971. 188 с.
3. Методы и средства решения задач горной геомеханики / Г.Н. Кузнецов, К.А. Ардашев, Н.А. Филатов и др. М.: Недра, 1987. 248 с.
4. Постоев Г.П. Закономерности гравитационного деформирования грунтовых массивов // Геоэкология. 2009. №6. С. 534-543.
5. Постоев Г.П. Предельное состояние и деформации грунтов в массиве (оползни, карстовые провалы, осадки грунтовых оснований). М.: СПб: Нестор-История, 2013. 100 с.
6. Постоев Г.П. Диссипативные структуры в грунтовом массиве на примере формирования глубоких оползней // Инженерная геология. 2018. Т. 3. №3. С. 54-61.
7. Тихвинский И.О. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов. М.: Стройиздат, ПНИИИС, 1984. 80 с.
8. Шахунянц Г.М., Нечаев Б.И., Клевцов И.А., Пашченко Б.В. Опыт борьбы с оползнями на железных дорогах СССР // Тр. ЦНИИ. М.: Трансжелдориздат, 1961. Вып. 211. С. 184.
9. Bromhead E.N., Ibsen M.L. An Overview of Landslide Problems in the British Isles, with Reference to Geology, Geography and Conservation // Progress in Landslide Science. Springer, 2007. P. 1. Ch. 2. P. 13-25.
10. Prigogine I., Nicolis G. Self-Organization in Non-Equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuations. New York: J. Wiley & Sons, 1977.
11. Postoev G.P., Kazeev A.I. Theoretical solutions for an effective pit edge stability management // Int. multidisciplinary scientific geoconference SGEM-2009. Conference proceeding. V. 1. P. 301-307.
2. Instruksiya po nablyudeniya za deformatsiyami bortov, otkosov ustupov i otvalov na kar'erakh i razrabotke meropriyatii po obespecheniyu ikh ustoichivosti [Instruction on monitoring of pit edges, bank slopes and dumps deformations at the quarries and working out measured on providing their stability]. Leningrad, VNIMI, 1971, 188 p. (in Russian)
3. Kuznetsov, G.N., Ardashev, K.A., Filatova, N.A., et al. *Metody i sredstva resheniya zadach gornoj geomekhaniki* [Methods and means of solving problems in rock geomechanics]. Moscow, Nedra, 1987, 248 pp. (in Russian)
4. Postoev, G.P. *Zakonomernosti gravitatsionnogo deformirovaniya gruntovykh massivov* [Regularities of gravitational deformation of soil massifs]. Geoekologiya, 2009, no. 6, pp. 534-543. (in Russian)
5. Postoev, G.P. *Predel'noe sostoyanie i deformatsii gruntov v massive (opolzni, karstovye provaly, osadki gruntovykh osnovanii)* [Limit state and deformation of soils in a massif (landslides, karst holes, settlements of ground foundations)]. Moscow, St. Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 2013, 100 p. (in Russian)
6. Postoev, G.P. *Dissipativnye struktury v gruntovom massive na primere formirovaniya glubokikh opolznei* [Dissipative structures in a soil massif by the example of deep landslides formation]. *Inzhenernaya geologiya*, 2018, vol. 3, no. 3, pp. 54-61. (in Russian)
7. Tikhvinskii, I.O. *Rekomendatsii po kolichestvennoi otsenke ustoichivosti opolznevyykh sklonov* [Recommendations for quantifying the landslide slopes stability]. Moscow, Stroyizdat, PNIIS, 1984, 80 p. (in Russian)
8. Shakhunyants, G.M., Nechaev, B.I., Klevtsov, I.A., Pashchenko, B.V. *Opyt bor'by s opolznyami na zheleznykh dorogakh SSSR* [Experience in landslide control on the railways of the USSR]. Proceedings of TsNII. Moscow, Transzheldorizdat, 1961, no. 211, 184 p. (in Russian)
9. Bromhead, E.N., Ibsen, M.L. An overview of landslide problems in the British Isles with reference to geology, geography and conservation. *Progress in Landslide Science*, Part 1, chapter 2, Springer, 2007, pp. 13-25.
10. Prigogine, I., Nicolis, G. Self-organization in non-equilibrium systems: from dissipative structures to order through fluctuations. New York, J. Wiley & Sons, 1977.
11. Postoev, G.P., Kazeev, A.I. Theoretical solutions for an effective pit edge stability management. Proc. Int. multidisciplinary scientific geoconference SGEM, 2009, vol. 1, pp. 301-307.

### REFERENCES

1. Ivanov, I.P. *Inzhenerno-geologicheskie issledovaniya v gornov dele* [Engineering and geological research in mining]. Leningrad, Nedra, 1987, 255 p. (in Russian)

# THE MECHANISM OF BLOCK COLLAPSE FORMATION UPON ACTIVIZING THE DEEP LANDSLIDE IN TERMS OF DISSIPATIVE STRUCTURES

© 2019 G. P. Postoev

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,  
Ulanskii per., 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia  
E-mail: opolzen@geoenv.ru*

The paper considers the collapse mechanism in the back part of a new landslide block upon its separation from the bedrock massif. It is shown that in the course of failure preparation, two blocks participate, i.e., the elements of dissipative structures that appear in the stress field of the bedrock landslide-prone massif. The study reviews the conditions of failure formation, stress distribution (in accordance with the Laplace solutions for axisymmetric thin-walled shells) inside the block and along its boundary surfaces (shells) when the massif limit state forms. The mechanism of block separation (discontinuity of the massif) along the shell and specifics of soil deformation are also analyzed. The equilibrium in the head scarp massif is usually disturbed due to soil discontinuity forming along the earlier virtual circular-cylindrical shell of the first block, adjacent to the slope edge. In this case, the landslide block moves according to the detrusive mechanism. In addition to the ordinary process, the delapsive movement is also possible, with activating massif displacements in the lower part (washing-out, sliding, underworking of the lower part of the slope). This landslide activation favors to more intensely decreasing stresses in the back block shell in the head scarp massif, and consequently, to widening of the separation crack. At that moment, the influence of the subsequent block becomes evident, as displacements take place along the frontal block shell and a failure massif forms between the specified boundaries. The examples of failure-blocks formation when the landslide process activates on the natural slopes and quarry slopes are given.

**Keywords:** *dissipative structures, landslide block, failure, detrusion, delapsing, discontinuity.*

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019430-39>