

# «ОПОЛЗНИ ВЫДАВЛИВАНИЯ» — КЛАССИФИЦИРОВАНИЕ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ

## «EXTRUSION LANDSLIDES» — CLASSIFICATION, PREDICTION AND OPPORTUNITIES OF THE ENGINEERING PROTECTION

**КРОПОТКИН М.П.**

Директор ООО НПП «Сингеос», г. Москва,  
singeos@narod.ru

**KROPOTKIN M.P.**

Director of the «Singeos» LLC research and production enterprise,  
Moscow, singeos@narod.ru

### Ключевые слова:

оползни выдавливания, классификация, прогнозирование, защитные мероприятия.

### Keywords:

extrusion landslides, classification, prediction, protective measures.

### Аннотация

Проанализированы используемые классификационные признаки выделения так называемых оползней выдавливания, установлена их малая объективность и информативность. Предложены критерии выделения и описаны основные особенности «оползней псевдовыдавливания» и «истинных оползней выдавливания». На основе уточненных представлений о механизме крупных блоковых «оползней псевдовыдавливания» выделена группа методов их прогнозирования и охарактеризованы возможные защитные мероприятия.

### Анализ представлений о природе оползней выдавливания и предложения по классификационным признакам их выделения

Несмотря на достаточно длительную историю изучения оползневых процессов, данная тематика продолжает оставаться весьма актуальной, более того, наблюдается тенденция смещения фокуса выполняемых инженерно-геологических исследований в сторону инженерной геодинамики. На основании анализа докладов, представленных на XII Международном конгрессе IAEG (Турин, 2014 г.), О.В. Зеркалом было определено, что до двух третей их относится к инженерной геодинамике, а среди последних около 50% посвящено изучению оползней [4].

Исследование оползней требует четкого и объективного распознавания их типов, так как без этого нельзя понять их физическую сущность и механизм, дать обоснованный прогноз дальнейшего развития и рекомендации по предотвращению деформаций и по инженерной защите.

В настоящее время разработано более 100 классификаций оползней по различным признакам: механизму, строению (структуре), типам движения масс горных пород и кинематике, возрасту смещающихся пород, составу, разрыву сплошности пород или его отсутствию, размеру в плане и глубине захвата массива оползанием, характеру деформаций в ходе основного смещения, направлению развития (прогрессивному или регрессивному), степени активности, скорости смещения и т.д. Правильное классифицирование конкретных оползневых явлений имеет большое значение не только для научно-методических задач и обучения специалистов, но и в первую очередь для правильного проведения расчетов устойчивости, организации мониторинга и проектирования защитных мероприятий, общей оценки безопасности территории.

Автор согласен с мнением Н.Ф. Петрова касательно того, что «оползневый механизм — это кинематическая модель реального оползня с познанной сущностью, и **только он** может претендовать на роль предмета классификации. Непризнание за моделями оползневых систем их сущностной роли лишает оползневые

### Abstract

The analysis of the classification criteria for the allocation of the so-called extrusion landslides showed their low objectivity and informational value. The selection criteria proposed and described the main features of «pseudo extrusion landslides» and «true extrusion landslides». Was shown the group of methods for their prediction based on the refined understanding of the large block «pseudo extrusion landslides» mechanisms and described the possible protective measures.

дение его предмета» [18]. Необходимо уточнить, что дополняющими могут быть и другие перечисленные выше классификационные признаки: размеры оползня, степень его активности и т.д. Надо также не забывать, что у одного и того же склона механизмы разрушения и дальнейшего смещения оползающих грунтов могут различаться. На практике наиболее часты случаи, когда сдвиг переходит в вязкое течение.

Наиболее распространенные классификации оползней по механизму приведены в табл. 1. Необходимо отметить позицию Е.П. Емельяновой [3], которая отказалась от разделения оползней по механизму, разделив их на две крупные группы: нормальные (истинные) и особенные (псевдооползни). Дальнейшее деление этих групп проведено на основе среды развития оползней.

Тип **оползней раздавливания (выдавливания)** введен в классификацию оползней по механизму в 1951 г. Н.Я. Денисовым, позднее использовался в классификациях М.К. Рзаевой (1969 г.), Г.С. Золотарева (1970 г.), В.В. Кюнтцеля (1970 г.) и др. [21]. Впоследствии об их природе и распространении высказывались разные мнения.

Н.Я. Денисов предполагал переход грунтов основного деформирующегося горизонта (ОДГ) в классическое вязкотекучее состояние в результате их раздавливания при снижении бокового давления. Он указывал на большую роль подготовительной фазы ползучести и на то, что у этих оползней сопротивление пород сдвигу преодолевается не одновременно по всей поверхности скольжения, а по частям [2]. Отметим, что второе явление в общем характерно для разных типов оползней и имеет свои границы вследствие перераспределения напряжений при деформировании массивов, сложенных грунтами с различной прочностью и жесткостью.

По формулировке Г.П. Постоева при формировании оползней выдавливания «под сжимающим вертикальным давлением от веса покрывающих пластов раздавливается горизонт, структурная прочность грунтов которого меньше бытового давления» [19]. Таким образом, разрушение первоначальной структуры грунтов ОДГ происходит в значительных объемах.

В.В. Кюнтцелем тип «оползни выдавливания» был удален из классификации еще 36 лет назад [12] с формулировкой «...название часто порождает неправильную трактовку... механизма и тем самым вносит большую путаницу...». Впоследствии [13] он частично дезавуировал собственное мнение, указав, тем не менее, что термин «оползни выдавливания» является неудачным, и предложил оставить это название «для оползней в горизонтально залегающих глинистых отложениях», по сути, как уже ставшее привычным.

В.Д. Ломтадзе к возможности выделения типа «оползней выдавливания» относился весьма скептически, указывая, что для их выделения «необходимо располагать вполне убедительными доказательствами» [14].

Тем не менее за последние 30–40 лет появилось множество статей, разделов в учебниках и монографиях, посвященных оползням выдавливания. Отдельными исследователями разработана целая теория их возникновения и развития, с особым механизмом, методами прогноза и противооползневой защиты [19].

Классическими регионами развития оползней выдавливания считаются: центральный регион европейской части России, Северо-Западное Причерноморье и некоторые районы Сибири (рис. 1). Многие исследователи относят к ним значительную часть крупных оползней Поволжья, некоторые трактуют развитие этого класса оползней еще шире, считая, что их развитие возможно повсюду, где в массиве соблюдается условие:

$$\gamma * h > \sigma_{str}$$

где  $\gamma$  — удельный вес пород вышележащих слоев;  $h$  — глубина заложения потенциально деформируемого слоя и  $\sigma_{str} = 2 * c * \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2)$  — структурная прочность пород этого слоя [19].

Объемы крупных блоковых оползней, относимых, как правило, к оползням выдавливания, нередко весьма велики; наиболее крупные из них превышают сотни тысяч, а иногда и миллионы кубических метров (оползни Одессы, Воробьевых гор в Москве, Соколова Гора и Увек в Саратове и др.). Скорости перемещения масс различны в разные стадии и фазы оползневого процесса. В стадии подготовки оползня или его затухания подвижность массива обычно не превышает 1–30 см/год, но в стадии основного смещения она нередко возрастает до нескольких метров в сутки или даже час. Общий относительно медленный характер перемещения данного типа оползней и большая длительность стадии их подготовки делают подобные оползни сравнительно менее опасными для жизни людей при строгом соблюдении правил техники безопасности и большой осмотрительности. Зато здания и сооружения, попадающие в зону действия этих оползней, часто подвергаются полному разрушению или оказываются в аварийном состоянии.

Известны исторические примеры уничтожения этими оползнями значительных площадей в городах и урбанизированных зонах. Например, почти полностью был уничтожен древний Васильсурск, а уже в наши дни оползень разрушил практически треть территории этого населенного пункта [17]. Неоднократно разрушению подвергались целые районы Нижнего Новгорода, Ульяновска, Саратова, Одессы, Киева, Ангрена и некоторых других городов. Выполненные на ряде участков противооползневые мероприятия являлись весьма дорогостоящими.

Для выделения оползней выдавливания, как правило, предлагается феноменологический принцип, то есть набор признаков. Но при этом данный набор в целом должен соответствовать признакам, наблюдаемым непосредственно у оползней выдавливания, а у каждого из них этот набор должен присутствовать полностью или почти полностью. Фактически же в качестве признаков проявления оползней выдавливания указываются либо признаки, *присущие самым разным* типам оползней, либо, напротив, *отсутствующие у многих оползней*, традиционно относимых к оползням выдавливания. К первым из них относятся (составлено по [13, 19]):

- блоковая структура оползневой зоны;
- наличие зоны отрыва и морфологически выраженной стенки срыва, в верхней части почти вертикальной;

- ступенчатый, террасовидный рельеф оползневого тела;
- наличие протяженных трещин;
- наличие отчетливых зон с различным характером деформаций (зона растяжения, перемещения и сжатия);
- наличие валов выпирания;
- определенный вид оползневой цикличности, включая длительную и медленную (скорость смещения 1–50 см/год) стадию подготовки и кратковременную, нередко катастрофическую (скорость до 1 м/ч и более), стадию основного смещения;
- определенное соотношение высоты и крутизны склона, ширины новой отчлняющейся ступени склона и высоты склона и т.д.

Ввиду явной несообразности использования для выделения **особого** типа оползней критериев 1, 3, 5, 7, подробнее остановимся на остальных.

Указываемая рядом авторов как отличительный признак и полученная при моделировании оползней выдавливания значительная крутизна стенки срыва, равная 50–80° [1, 19], является типичной для самых разных оползней. В качестве примера приведем определенные по результатам массовых замеров значения средней крутизны стенок срыва в абсолютно иных геолого-геоморфологических условиях (низкогорье и среднегорье юго-западного Гиссара — Узбекистан): поверхностные сплывы — 73°, оплывины — 71°, оползни-потоки — 75°, ступенчатые оползни — 66°, обвалы — 71° [15].

Не могут свидетельствовать об особом механизме «раздавливания» и протяженные трещины. Их условием является сравнительная однородность массива (и в первую очередь ОДГ) в направлении вдоль бровки. Отметим, что появление трещин закола не является признаком быстро ожидаемого после этого оползневого разруше-

Таблица 1

Сопоставление наиболее распространенных классификаций оползней по механизму смещения								
Авторы и год опубликования классификации								
Н.Н. Маслов, 1955	М.К. Рзаева, 1969	Г.С. Золотарев, 1970, 1983	К.А. Гулакян, В.В. Кюнтцель, 1970	Д. Дж. Варнс (Varnes), 1978	В.В. Кюнтцель, 1980	Н.Ф. Петров, 1987	И.О. Тихвинский, 1988	Г.П. Постоев, 2001, 2013
Обрушения со срезом и вращением	Блоковые, срезающие	Соскальзывания (консеквентные) по поверхностям и зонам ослабления	Скольжения	Скольжения	Скольжения	Скольжения	Сдвига (скольжения, блоковые, «собственно оползни»)	Сдвига-скольжения
Скола при просадке								
Скольжения по фиксированным плоскостям	Соскальзывания							
Сползания покровных пород	Сползания							
Оползень-сдвиг	Выдавливания (одесского типа)	Выдавливания (детрузивные) — блоковые оползни прочных пород с деформациями ползучести в глинистых и пльвунных песчаных грунтах и зонах тектонических нарушений	Выдавливания	Выдавливания	Сдвига (выдавливания)	Выдавливания	Выдавливания (раздавливания)	Сжатия-выдавливания
Сплывы	Суффозионные, выплывания	Вязкопластические — оползни-потоки и сплывы, оползни «внезапного» разжижения лесов и нелитифицированных (либо выветрелых) глин	Выплывания	—	Выплывания	Оползни оседания «особенные»	Гидродинамического разрушения (выплывания)	Разжижения-течения
	Просадочные		Проседания	—	Проседания	Выплывания (суффозионные)		
	Потоки (течения, оползания)		Течения	Течения (оползни-потоки)	Течения (потоки)	Течения	Вязкопластические (вязкопластического течения, консистентные, грязевые)	
	Сплывы, оплывины					Оползни оседания «особенные»		
—	Норвежского типа	Разжижения	—	Разжижения	Разжижения	Внезапного разжижения	—	

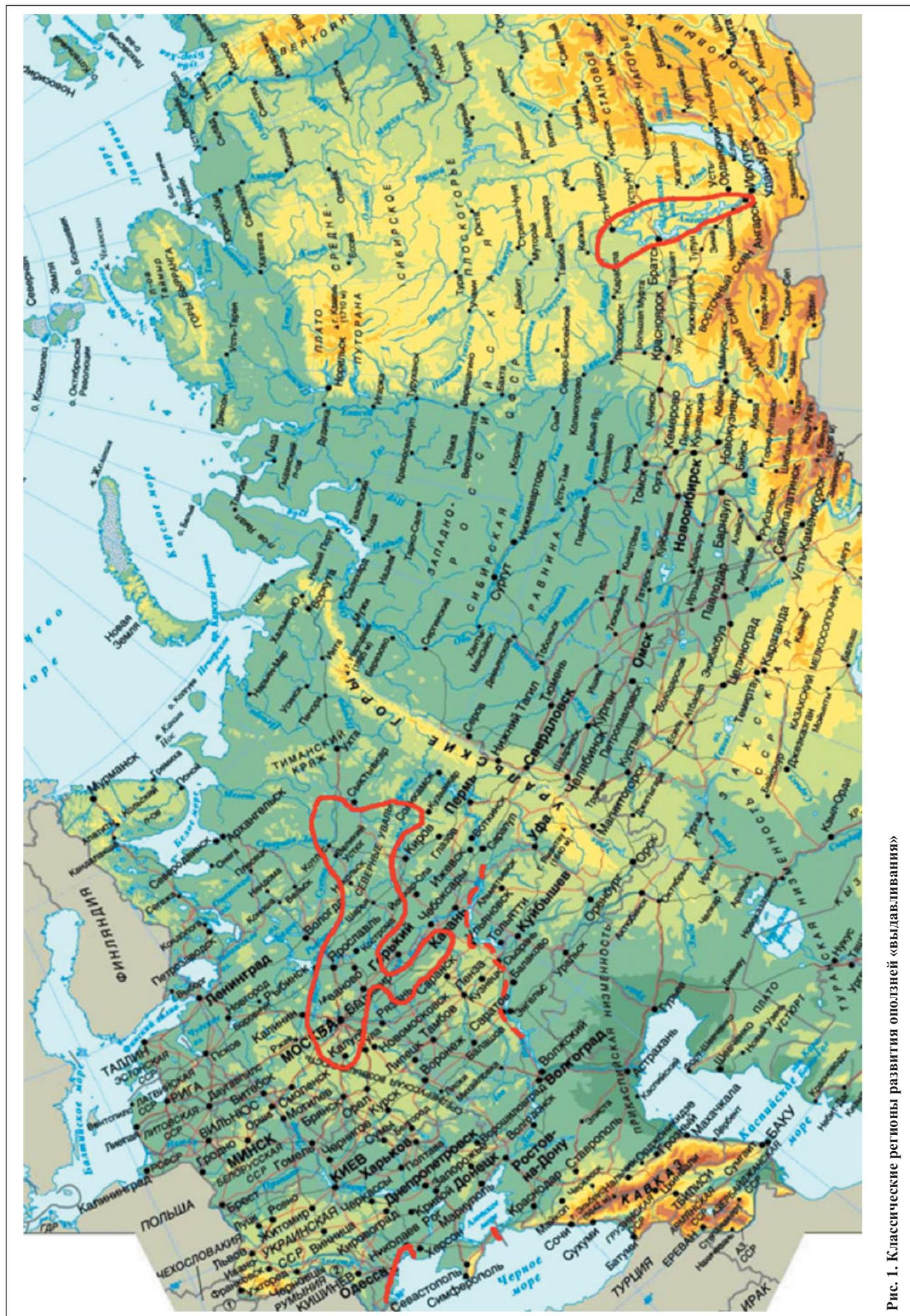


Рис. 1. Классические регионы развития оползней «выдавливания»

ния массива. Так, в Одессе эти трещины нередко возникли за 7–8 лет до обрушения, в ряде других районов этот период был еще на порядок большим [16]. Выполненное нами еще в 1999 г. сопоставление компьютерного моделирования с моделированием оползневых деформаций методом эквивалентных материалов [7] показало, что первые трещины закола могут появляться уже при  $K_y = 1,8–2,0$  и связаны не с началом основного смещения, а с деформациями массива под влиянием напряжений растяжения, возникших за бровкой склона.

Выпираание при оползании происходит очень часто. Даже в вязкопластичных оползнях, близких к оползням-потокам, мы встречаем многочисленные бугры и валы выпирания. Да, их высота 1–1,5 м, а не 5–15 м, но и мощность оползневого тела, как правило, 3–5 м, а не 30–50 м, то есть пропорция вполне идентична.

Определенные соотношения высоты и крутизны склона, ширины новой отчлняющейся ступени склона и высоты склона для оползней выдавливания существуют, но являются специфическими для каждого оползневого региона и, кроме того, оказываются весьма близкими к подобным соотношениям у оползней, не относимых к оползням выдавливания (рис. 2, 4). Лишь для классических оползней выдавливания московского и одесского регионов характерны в некоторой

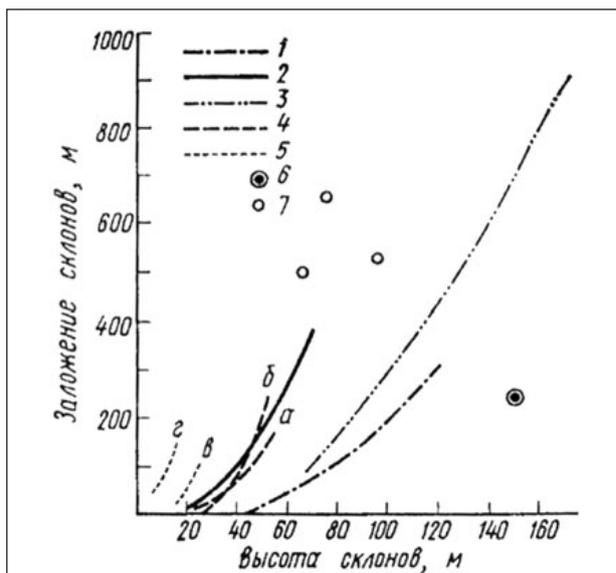


Рис. 2. Графики предельного соотношения высоты и заложения склонов на Русской платформе, сложенных глинистыми породами разного возраста (составила Е.П. Емельянова): 1 — пермских; 2 — юрских; 3 — меловых; 4 — неогеновых (а — пестрые глины Приднепровья, б — мзотические глины Черноморского побережья); 5 — четвертичных (в — хвалынские глины, г — ленточные глины); 6 — соотношение высоты и заложения оползневого склона, подстилаемого глинистыми породами докембрия (на Днестре); 7 — то же неогена (в разных районах и горизонтах) [5].

Видно, что как четвертичные, так и меловые глинистые грунты формируют склоны с соотношением высоты и заложения, принципиально отличающимся от склонов, в основании которых залегают юрские и неогеновые ( $N_2m$ ) глины, вне зависимости от отнесения их к тому или иному типу механизма (сдвига или выдавливания)

степени специфические, хотя и размытые (рис. 3) соотношения этих параметров.

К признакам второй группы относятся (составлено по [13, 19]):

- 1) наличие в пределах ОДГ области разрушающих деформаций или зоны сдвига, расположенной горизонтально;
- 2) фронтальная форма в плане.

Однако в оползнях на Каме и Волге зоны смещения преимущественно наклонные, а сами оползни в большинстве случаев не являются фронтальными. Как писал В.В. Кюнтцель, «хотя для многих оползней, которые мы по традиции называем оползнями выдавливания, характерна фронтальная форма в плане, не менее часто встречается циркообразная, а при определенных условиях и некоторые другие формы (например, ложкообразная или округлая с суженной горловиной)» [13].

Да и самую значительную степень «фронтальности» оползней также нельзя считать признаком механизма выдавливания. Переход от ложкообразного оползневого тела к фронтальному идет по мере увеличения однородности инженерно-геологических условий (литологического строения, свойств грунтов, высоты и рельефа склонов, уровня грунтовых вод (УГВ) и напоров, одновременной «разгрузки» языка ОДГ и т.д.) на значительном расстоянии в направлении, параллельном бровке склона. Оползень тем «фронтальнее», чем в первую очередь более выдержан конкретный ОДГ в основании склона, а также рельеф склона вдоль его фронта. Подобная выдержанность свойств и положения в разрезе грунтов ОДГ более характерна для глинистых отложений исходно морского генезиса. Кроме того, для глубоких оползней характерно сильное влияние сопротивления сдвигу по боковым сторонам оползневого тела. Со-

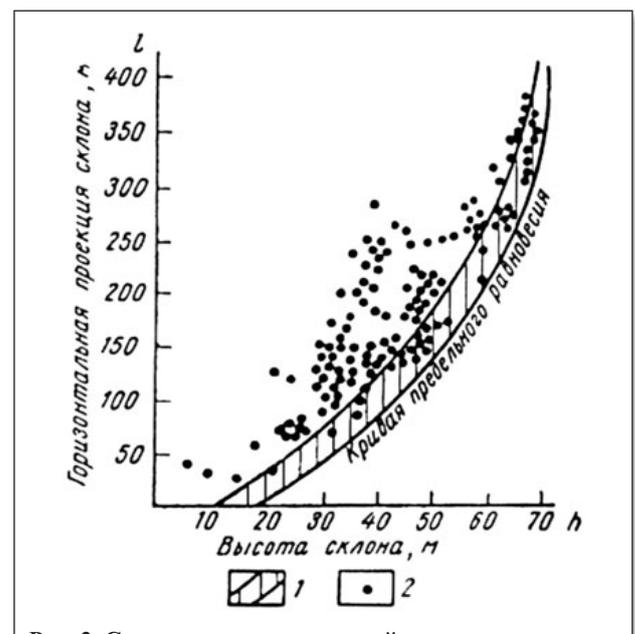


Рис. 3. Связь крутизны с высотой для оползневых участков Москвы: 1 — зона наиболее вероятного развития глубоких оползней; 2 — фактически измеренные величины горизонтальной проекции и высоты склонов [11].

Видно, что для одной и той же высоты склона длина его (по направлению движения) может различаться в 2–3,5 раза

ответственно, они не могут сформироваться при малой протяженности оползнеопасного массива вдоль склона.

Тип «оползни выдавливания» присутствует в некоторых основных нормативных документах, однако формулировка характера этих оползней в табл. 4.1 СП 11-105-97, часть 2 (табл. 2): «выдавливание грунта из-под подошвы прирвочного уступа склона и его смещение совместно с ранее образовавшимися на склоне оползневыми накоплениями» [20] — крайне неопределенна. Подробнее об этом автор писал ранее [9].

В стремлении сохранить класс оползней выдавливания предлагается признать условность и относительность разграничений различных признаков в пределах данного класса, выделяя «ряды признаков» [13]. Первый из рядов предлагается выделить по преобладанию хрупких или пластических деформаций пород ОДГ, при этом в одном конце данного ряда отмечаются только хрупкие деформации, а структура пород в блоках практически не меняется (оползни в пермских породах на Каме и Волге и оползни района Одессы). На другом конце данного ряда грунты ОДГ испытывают только пластические деформации, то есть проявляется классическое выдавливание. Как отмечает В.В. Кюнтцель, «теоретически такой механизм возможен, хотя конкретные примеры нам неизвестны».

Во втором ряду оползни выдавливания ранжируются по степени нарушенности первичной структуры глин. С одной стороны, существуют оползни, в которых первичная структура практически не изменена и сами блоки слабо разрушены. Противоположностью им служат оползни, в которых глинистые породы полностью теряют свою первичную структуру, переходя в текучее состояние. Предполагается, что переход этот возможен по мере смещения и выветривания (оползни в хвалынских глинах Волгограда и в сарматских глинах Молдавии) [там же], но мы ведь рассматриваем механизм в первую очередь основного смещения!

Третий ряд выделяется исходя из прочности пород перекрывающей толщи. Как видно из табл. 1, некоторые исследователи, в частности Г.С. Золотарев, к оползням выдавливания относят лишь оползни, перекрывающая толщина которых сложена грунтами, прочность которых существенно превосходит прочность грунтов ОДГ. В другой формулировке этого признака указывается, что «основным условием развития оползней выдавливания является присутствие в основании склона выдержанных горизонтов пород, обладающих очень низкой прочностью» [6]. Однако к оползням Поволжья и Нижней Камы в подавляющем большинстве случаев это явно неприменимо, а в центральном регионе европейской части России верхнеюрские глины, являющиеся основным деформируемым горизонтом всех оползней этого типа, по прочностным характеристикам не уступают вышележащим грунтам.

В целом при таком подходе этот таксон превращается в некую свалку самых разных оползневых явлений, лишенных общего признака, четко выделяющего их, то есть присутствующего у *всех* оползней выдавливания и *отсутствующего* у оползней иных типов.

На взгляд автора, единственным кандидатом на роль подобного признака может быть раздавливание грунтов ОДГ в больших объемах с разрушением их структуры и дальнейшим деформированием как вяз-

кого вещества. Этот признак характеризует механизм разрушения в стадии основного смещения и при этом является практически важным, так как *он определяет* методы расчетов устойчивости, организацию мониторинга и выбор защитных мероприятий.

Таким образом, целесообразно дать следующее определение оползней **выдавливания**: оползни выдавливания-сжатия-раздавливания образуются в результате раздавливания значительных объемов грунтов ОДГ с разрушением первоначальной структуры. Дальнейшие деформации происходят в форме вязкопластического выдавливания этих *разрушенных* грунтов в сторону базиса оползания.

В дальнейшем, говоря об «истинных оползнях выдавливания» и «оползнях псевдовыдавливания», автор намерен исходить из этого определения. Отметим, что данное определение по смыслу наиболее близко к представлениям Н.Я. Денисова (см. ранее), который первым и выделил тип «оползней выдавливания».

В противоположность этому оползни **сдвига-срезания** можно определить следующим образом: происходящий под действием касательных напряжений сдвиг массива по узкой зоне, где и происходит изменение структуры грунтов; в классических случаях эта зона смещения является криволинейной, основная ее часть имеет общий наклон в сторону базиса оползания.

Термины «оползни скольжения», как и «плоскость скольжения», для подобных оползней менее удачны, их лучше использовать для оползней, происходящих в форме соскальзывания части массива по предопределенной плоскости (напластования и т.д.), тем более, что термин «плоскость» не очень удачен для фактически криволинейных зон смещения.

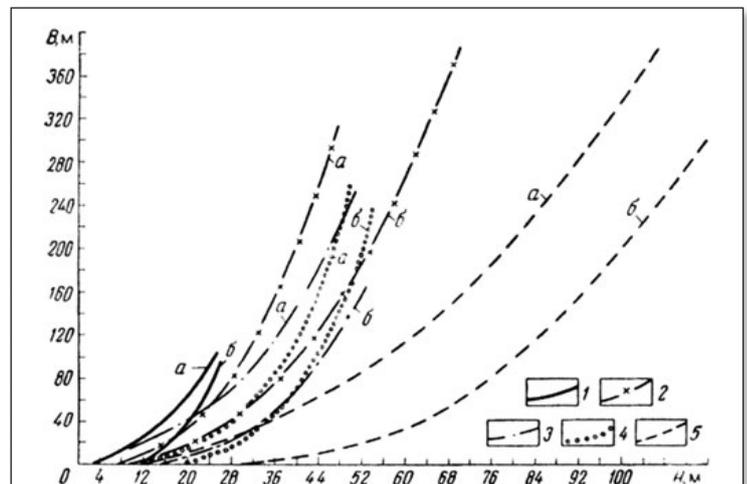


Рис. 4. Совмещенный график зависимости между высотой и заложением оползневых склонов различных районов Русской платформы: 1 — средняя (а) и предельная (б) кривые в районе Волгограда; 2 — то же в Москве и Подмосковье; 3 — то же в Киеве; 4 — то же в Одессе; 5 — то же в Горьковском Поволжье [12]. Классические районы развития так называемых оползней выдавливания характеризуются кривыми 2 и 4. Видно, что оползни района Киева (оползни сдвига) имеют весьма близкие к ним соотношения высоты и заложения склонов, оползни же Горьковского Поволжья, относимые рядом специалистов к оползням выдавливания, имеют, напротив, совершенно другие соотношения длины и высоты (что вообще-то вполне естественно, учитывая их развитие в пермских породах)

Из приведенных определений автор и исходит далее.

Внутри класса оползней сдвига-срезания целесообразно, по мнению автора, выделение подкласса *оползней псевдовыдавливания*. Реальными их отличительными признаками, то есть внешними проявлениями особенностей механизма, видимо, следует считать:

- довольно длинную «языковую» часть большой мощности;
- длинный субгоризонтальный участок зоны смещения;
- регрессионное развитие склонов с серией основных смещений по мере размыва «языковых» блоков.

В предыдущих публикациях автора с помощью геомеханических расчетов, а также анализа кинематики массивов по данным инклинометрических и геодезических наблюдений, истории развития склонов и характерных особенностей их морфологии, результатов физического моделирования с использованием эквивалентных материалов (как в статических условиях, так и с использованием центрифуги), методом электрогидродинамической аналогии (ЭГДА) и т.д., об-

основывается возможность формирования всех этих особенностей на основе механизма сдвига-срезания, а анализ строения оползающих массивов, структуры и свойств слагающих их грунтов и т.д. приводит к однозначному выводу именно о сдвиговом механизме процесса [8, 9].

У подобных оползней головная часть смещает перед собой весьма большой «язык» оползня, а не «выводит» зону смещения более или менее круто вверх в середине этого пологого массива. Такое может происходить, только если смещение по субгоризонтальной зоне сильно облегчено, причем сопротивление сдвигу там в первую очередь должно характеризоваться низкими значениями угла внутреннего трения. При значительном внутреннем трении даже нулевое сцепление не создаст условий для подобного характера смещений. Низкие же значения внутреннего трения возникают вследствие того, что основная часть зоны смещения у подобных оползней наследует уже «разработанную» зону предыдущих оползневых подвижек. Свою роль играет и наличие в зоне смещения

Таблица 2

Типы склоновых процессов по СП 11-105-97, часть 2 [20]			
Типы опасных склоновых процессов (по механизму смещения пород)	Подтипы	Характеристика пород основного деформируемого горизонта (ОДГ)	Характер проявления
Оползни сдвига (скольжения)	Инсеквентные (срезающие)	Глинистые (реже выветрелые полускальные и скальные) породы, массивные или слоистые, с пологим или обратным падению склона залеганием слоев	Отрыв и смещение блоков пород по вогнутой криволинейной поверхности с одновременным их запрокидыванием
	Консеквентные (соскальзывающие)	Прослой глинистых пластичных грунтов в толще более прочных грунтов и поверхности ослабления, наклоненные в сторону падения склона	Смещение массива или блоков пород по поверхностям ослабления
Оползни выдавливания	-	Глинистые, преимущественно пластичные	Выдавливание грунта из-под подошвы прирвовочного уступа склона и его смещение совместно с ранее образовавшимися на склоне оползневыми накоплениями
Оползни вязкопластические	Оползни-потоки	Глинистые, малоуплотненные и слаболитифицированные, пластичные	Вязкопластическое течение массы грунта: по ложбинам — оползни-потоки вытянутой по оси оползания формы в плане; на увлажненных крутых уступах — сплывы; в пределах зоны сезонного промерзания при оттаивании — оплывины
	Сплывы (оплывины)		
Оползни гидродинамического разрушения	Суффозионные	Водонасыщенные песчаные и глинистые пылеватые грунты	Отрыв оползневой тела или обрушение суффозионной ниши с последующим растеканием сместившейся водонасыщенной массы
	Гидродинамического выпора		
Оползни внезапного разжижения	Несейсмогенного разжижения	Слабоуплотненные глинистые и песчаные водонасыщенные грунты, подверженные быстрому разупрочнению при динамических воздействиях	Разжижение при динамическом воздействии (техногенном сотрясении или сейсмических толчках) и быстрое вязкое течение разжиженного грунта по уклону рельефа
	Сейсмогенного разжижения		
Обвалы и вывалы	-	Скальные, полускальные и глинистые твердые трещиноватые породы	Отрыв от крутых уступов (откосов) крупных блоков (обвалы) или отдельных глыб грунта (вывалы) с последующим быстрым смещением (свободным падением или качением)
Осыпи	-	Скальные и полускальные выветрелые, песчаные и твердые глинистые породы	Отрыв от обнаженной поверхности уступа (откоса) и скатывание к его основанию мелких обломков породы

значительных поровых давлений, а в ряде случаев — и напорных водоносных горизонтов (прослоев).

Кинематика этих оползней также имеет ряд специфических особенностей:

- большую длительность и значительную амплитуду «постосновного» смещения (зачастую составляет более 50% общего смещения), обеспечиваемую непрерывным размывом «языка» оползня (рекой, водохранилищем, морем) в сочетании с ползучестью грунтов ОДГ; этот период медленных смещений предшествует короткому периоду основного смещения с формированием следующего оползневого блока;
- цикличность, возобновляемость оползневых деформаций как внутри циклов, так и в целом для склонового массива за счет действия тех же факторов, а также колебаний обводненности массива и т.д.

В процессе «постосновного» смещения подобных склонов одновременно происходит три процесса:

- заполнение оползневых (тыловых) западин продуктами делювиального смыва и грунтами вторичных оползней и оплывин, последнее в большей степени характерно для наиболее молодой на данный момент западины;
- размыв рекой или морем «языка» оползневого тела, то есть наиболее древнего из сохранившихся блоков, при этом размывается часть «восходящего» отрезка ПС;
- постепенное опускание новейшей ступени (блока) в голове оползня.

Первые два процесса ведут к снижению устойчивости массива, последний — к повышению устойчивости. Соотношение динамики этих процессов оказывает влияние на изменение скорости «постосновного» смещения и общую продолжительность оползневого цикла.

Таким образом, эти оползни имеют определенные специфические черты морфологии, строения и процесса развития, что и дает, по мнению автора, основания для выделения их в подкласс оползней «псевдовыдавливания» — внутри класса оползней сдвига-срезания.

«Истинные оползни выдавливания», соответствующие данному ранее определению оползней выдавливания, по-видимому могут возникать в трех различных типах инженерно-геологической обстановки:

- 1) при исключительно высокой пластичности грунтов ОДГ и разрушении их структуры при глубокой, как правило искусственной, разгрузке напряжений;
- 2) при особо слабых структурных связях грунтов ОДГ, разрушение которых возможно в больших объемах даже при сравнительно незначительных изменениях напряжений в результате пригрузки или сейсмических воздействий;
- 3) при медленном пластическом деформировании грунтов ОДГ под влиянием больших напряжений, передаваемых мощным вышележащим слоем с большой жесткостью.

Пластические деформации ОДГ «истинных оползней выдавливания» могут быть как весьма длительными (глубинная ползучесть), так и кратковременными, а раздавливающая нагрузка создаваться как весом вышележащих природных грунтов, так и техногенными пригрузками. Таким образом, ныне выделяемые опол-

зни выдавливания следует разделить на «оползни псевдовыдавливания» (разновидность оползней сдвига-срезания), к которым относится большинство крупных оползней, и ограниченно развитые «истинные оползни выдавливания».

Уточненные представления о механизме обоих типов оползней существенно меняют подходы к прогнозированию и проектированию защитных мероприятий.

## Прогнозирование

Из вышесказанного следует, что оценка возможности активизации оползней «псевдовыдавливания» и проектирование защитных мероприятий наиболее успешны лишь при совместном использовании четырех групп методов:

- инженерно-геологических аналогий и региональных закономерностей для выявления потенциально оползнеопасных участков и зон на основе соотношения высоты и заложения склона, положения возможного ОДГ в разрезе, наличия или отсутствия характерного «оползневого» рельефа от предыдущих смещений, а также определенных элементов геологического разреза склонов (например, лигнитизированных прослоев и напорных водоносных прослоев в районе Одессы) и т.д.;
- режимных долгосрочных наблюдений за деформациями массивов (с обязательным использованием не только поверхностных, но и глубинных реперов) и изменениями уровней и напоров подземных вод;
- инженерно-геологического изучения оползнеопасных массивов, включающего бурение достаточной глубины и лабораторные испытания грунтов с фиксацией поровых давлений, на ползучесть, в диапазонах, реально действующих в зоне смещения нагрузок;
- компьютерного моделирования с помощью современных программ при задании характеристик грунтов, учитывающих поровые давления и процессы ползучести. Ввиду того что и у активизирующихся, и у стабилизировавшихся крупных блоковых оползней «псевдовыдавливания» коэффициент устойчивости близок к единице, для их прогнозирования и разработки защитных мероприятий могут быть использованы **лишь программы, реализующие функцию минимизации («оптимизации» в западной терминологии) коэффициента устойчивости, либо расчеты устойчивости до и после выполнения защитных мероприятий на основе метода конечных элементов (МКЭ).**

При расчетах устойчивости таких оползней необходимо использовать алгоритмы и вычислительные программы, позволяющие в автоматическом или полуавтоматическом режиме осуществлять поиск поверхностей (зон) смещения произвольной формы с минимальным коэффициентом устойчивости. При этом осуществляется значительно более точное, чем при интуитивном задании формы поверхности смещения, определение минимальных коэффициентов устойчивости, уточнение размеров, глубины подошвы и объемов потенциальных оползневых тел, границы «зоны безопасности», величины оползневого давления. Опыт многочисленных расчетов показал, что даже незначительные (на величину 1–4% от мощности оползневого тела) от-

клонения прохождения поверхности смещения от ее опаснейшего положения увеличивают коэффициент устойчивости на 5–20%.

Для получения достоверных результатов оценки устойчивости изученность инженерно-геологических условий подобных оползневых участков должна быть достаточно высокой, что подразумевает адекватные сроки выполнения изысканий и их финансирование. В противном случае весьма дорогостоящие защитные мероприятия могут оказаться просто бесполезными.

В отношении прогнозирования и мониторинга на участках возможного развития **«истинных оползней выдавливания»** возможны следующие предложения.

Для оползней первого типа (см. выше) ключевым является заблаговременное выявление в разрезе будущего борта карьера особо пластичных глинистых прослоев, определение возможности их набухания в ходе углубления карьера. Мониторинг, видимо, должен быть ориентирован на контроль влажности грунтов этих прослоев и их набухания, проявляющегося в изменении высотных отметок реперов на нижних ступенях карьера.

Для оползней второго типа наиболее важно выявление слоев и линз грунтов с особо слабыми структурными связями, установление их границ по глубине и в плане. На склонах, сложенных мощными лессовыми толщами, целесообразен контроль влажности.

Для оползней третьего («Ангарского») типа достаточно высокоточного геодезического мониторинга по грунтовым реперам.

### Защитные мероприятия

Принятие гипотезы о механизме сжатия-раздавливания грунтов ОДГ фактически лишает возможности выполнить на участках активизации оползней выдавливания сколько-нибудь эффективные противооползневые мероприятия, так как воздействие на факторы, входящие в основную формулу, определяющую устойчивость [19]:  $Z_a - \sigma_{sr} / \gamma = \pi / 2 (Z_a - H_{cr})$ , в большинстве случаев практически невозможно. Уменьшение  $H_{cr}$  означает пригрузку «головной» части оползня, величина  $Z_a$  задана геологическим строением и геометрией склона (рис. 5), структурную прочность грунтов ОДГ  $\sigma_{стр}$  также крайне сложно увеличить. При нарушенном (в ходе предполагаемого раздавливания) состоянии

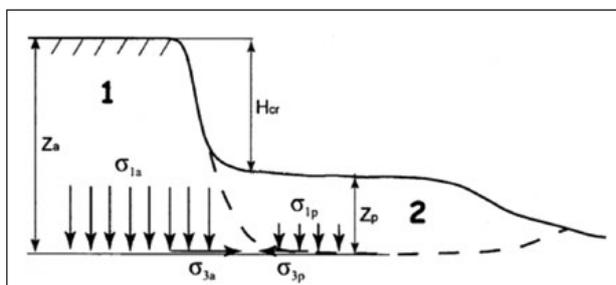


Рис. 5. Схема к анализу формирования предельного состояния в оползнеопасном коренном массиве вблизи контакта с оползневым склоном (по [19]): 1 — коренной массив; 2 — тело оползня;  $Z_a$ ,  $Z_p$  — глубины до поверхности скольжения соответственно в коренном массиве и на оползневом склоне;  $H_{cr}$  — предельная высота надоползневого уступа

грунтов ОДГ становятся неэффективными и возможные удерживающие мероприятия в языковой части оползня: свайные ряды и т.д. Единственными мероприятиями фактически остаются те, которые препятствуют размыву «языка» оползня, однако, как показывает практика, для массива, уже испытывающего глубинную ползучесть, этого зачастую недостаточно и деформации продолжаются.

В противоположность этому представлению о сдвиге механизма деформирования массива с узкой зоной разрушения грунтов, значительной ролью поровых давлений и т.д. открывают возможность разработки целого ряда эффективных защитных мероприятий.

Ключевыми моментами для разработки защитных мероприятий являются:

- длительный срок подготовки основного смещения, проходящий в фазе глубинной ползучести, обычно ускоряющейся перед основным смещением, и фиксируемой инклинометрическим методом и геодезическими наблюдениями за смещениями поверхностных реперов;
- крупноблоковый характер оползней в сочетании со значительной их мощностью делает сложной их стабилизацию продольными (субпараллельными бровке) рядами удерживающих свай, зато открывает возможность создания пространственной противооползневой защиты с использованием внутренней прочности блоков (в направлении смещения она довольно высокая);
- устойчивость массива постоянно близка к предельной, но свойства грунтов до основного смещения резко не изменяются, что дает возможность стабилизировать ситуацию, повысив коэффициент устойчивости лишь на 7–10%;
- в развитии и ускорении смещений значительна роль гидрогеологического фактора, в первую очередь напоров и поровых давлений, что делает эффективными дренажные мероприятия.

Защитные мероприятия могут быть разделены на 5 групп.

В первую группу входят общеизвестные мероприятия по предотвращению размыва языковой части оползня.

Во вторую — мероприятия, повышающие эффективный угол внутреннего трения грунтов в уже разработанной предыдущими подвижками зоне смещения. Теоретически этого можно достичь средствами технической мелиорации, в частности СВЧ-воздействием. Практически более разработанными являются дренажные мероприятия, частично осушающие массив и снижающие таким образом поровое давление в зоне смещения. В их числе лучевой дренаж с использованием восстающих скважин, работающих самоизливом. Площадки бурения во многих случаях можно разместить в оползневых западинах. При необходимости подобные сооружения могут быть достаточно незаметными.

К третьей группе следует отнести мероприятия, конструктивно увеличивающие сопротивление сдвигу. В их числе могут быть короткие сваи-шпонки, размещенные по глубине в районе зоны смещения. При небольшой длине свай-шпонок в пределах оползающего слоя плечо и, соответственно, момент вращения по-

добной сваи оказываются сравнительно малыми, основным оказывается сопротивление срезу. При устройстве подобных свай вышележащую часть выбуренного ствола следует заполнить грунтом. Таким образом, защитное сооружение оказывается полностью скрытым. Возможно также использовать свайные ряды обычного типа, в том числе подводные в языковой части. Как сваи-шпонки, так и обычные сваи могут размещаться группами, образуя своего рода «подземные контрфорсы». В некоторых случаях целесообразно устанавливать лишь блоки, непосредственно угрожающие ответственным сооружениям, допуская продолжение смещений в остальной части оползневого цирка. Возможно использовать принцип отсекания движущегося оползневого тела от сооружений с помощью свайных рядов или групп свай.

К четвертой группе относятся мероприятия, повышающие вертикальные напряжения в зоне смещения в языковой части оползня. Это в первую очередь различные традиционные контрбанкеты, в том числе контрфорсного типа, при необходимости декоративно оформленные в виде холмистых гряд. При этом необходимо детально изучить строение языковой части оползневого тела, чтобы избежать такого размещения контрфорсов и контрбанкетов, при котором они будут способствовать ускорению «проворота» и смещения нижних оползневых блоков.

Наконец, к пятой группе можно отнести мероприятия, уменьшающие сдвигающие усилия от формирующихся блоков в «голове» оползня. В этом качестве могут быть использованы мероприятия, предложенные Г.П. Постоевым и др. [19], разумеется, при ином их физическом смысле (не для воспрепятствования несуществующему «раздавливанию грунтов») и в далеко не столь гипертрофированных размерах (рис. 6, 7). Заглубление их во всех случаях необходимо ограничивать зоной аэрации, мощность которой в дренированной прибровочной части почти всегда вполне достаточна для этого. Поскольку, как было установлено ранее [8–10], коэффициенты устойчивости у оползней «псевдовыдавливания» в течение длительной фазы ползучести — подготовки основного смещения, незначительно отличаются от 1,0, для остановки процесса при параллель-



Рис. 6. Схема укрепления оползнеопасного коренного массива посредством образования выемки, по патенту № 2413056: 1 — оползнеопасный массив; 2 — потенциально деформирующийся горизонт; 3 — возможная поверхность скольжения в массиве; 4 — выемка [19]

ном выполнении некоторых мероприятий групп 1–4 достаточно снижения сдвигающих усилий в «голове» оползня лишь на несколько процентов.

Для сооружений 3-й и 4-й групп критичным моментом является их оптимальное размещение как по направлению смещения, с учетом оползневых давлений и возможного в некоторых случаях «выпора» в средней части оползневого тела, так и в направлении, параллельном бровке. На основе анализа режимных наблюдений за смещениями желательно установить примерные границы оползневых блоков, чтобы проектируемые удерживающие сооружения не попали в зону стыка этих блоков, где они будут малоэффективны.

Соображения по противооползневой защите на участках возможного развития «истинных оползней выдавливания» следующие.

Для оползней первого типа наиболее разумные защитные мероприятия, видимо, сводятся к дренированию подземных вод. При возможности, еще на стадии проектирования карьеров, целесообразно предусматривать сохранение над этими особо пластичными прослоями перекрывающей толщи такой мощности, которая исключит набухание грунтов.

Для предотвращения оползней второго типа с ОДГ, представленными глинистыми (не лессовыми) грунтами, необходимо не допускать даже небольших пригру-

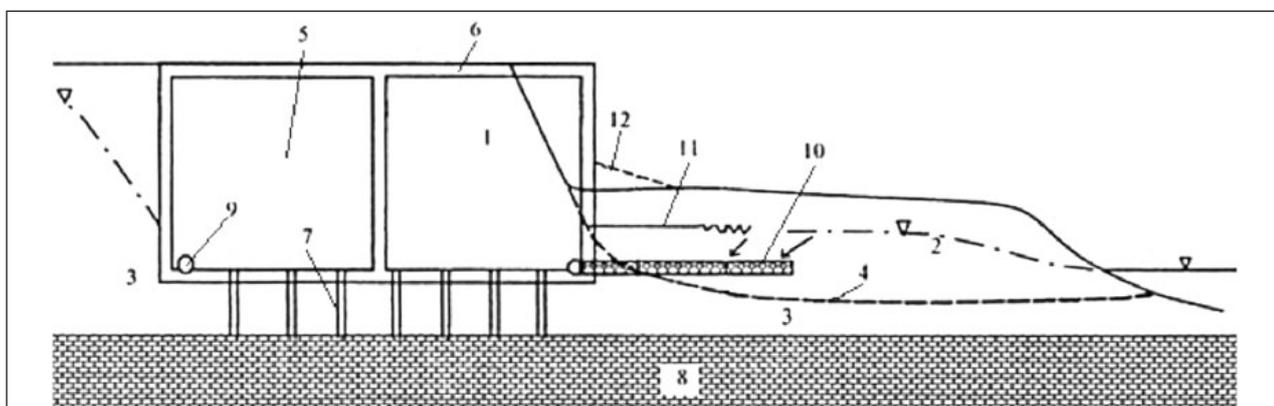


Рис. 7. Принципиальная схема укрепления оползневого участка (по патенту № 2340729): 1 — коренной грунтовой массив; 2 — тело оползня; 3 — слои, в которых формируется поверхность скольжения; 4 — поверхность скольжения; 5 — удаляемая часть массива; 6 — каркас подземного сооружения; 7 — устройства крепления подземного сооружения в прочных грунтах слоя; 8, 9, 10 — дренажные трубы; 11 — анкерная тяга; 12 — срезаемый при планировке склона грунт [19]

зок. В отдельных уникальных случаях возможно закрепление грунтов ОДГ средствами технической мелиорации или заключение их в жесткую «обойму» по типу «стены в грунте».

Разумная борьба с оползнями «Ангарского» типа невозможна, да и ней в общем и нет необходимости. На поверхности блоков, движущихся крайне медленно, можно строить сооружения. Проходящие по стыкам блоков коммуникации должны иметь компенсационные устройства, подобные компенсаторам температурных деформаций.

## Заключение

Анализ используемых классификационных признаков выделения так называемых оползней выдавливания показывает их малую объективность и информативность. Наиболее правильным является разделение этих оползней по механизму, при котором «истинные оползни выдавливания» характеризуются раздавливанием значительных объемов грунтов ОДГ с последующим выдавливанием разрушенных грунтов.

Большинство же оползней, относимых в настоящее время к оползням выдавливания, фактически яв-

ляются блоковыми оползнями сдвига (срезания). Разрушение массива при их возникновении непосредственно не связано с прочностью грунтов на сжатие, и использование критерия  $\gamma * h > \sigma_{str}$  в общем случае неправомерно.

Необходимо внесение изменений в табл. 4.1 СП 11-105-97, часть 2 «Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов» в соответствии с выявленными критериями «истинных» оползней выдавливания и удаление формулировок, не описывающих их признаки. Учитывая некоторые специфические черты, а также для сохранения психологической преемственности, целесообразно выделить внутри класса «оползней срезания» (сдвига-срезания) разновидность оползней «псевдовыдавливания», к которой следует отнести подавляющую часть оползневых явлений, относимых ныне к «оползням выдавливания».

Для оползней «псевдовыдавливания», развитых достаточно широко и наносящих значительный ущерб, может быть предложен эффективный, хотя и финансово сравнительно затратный комплекс мероприятий изучения, прогнозирования и инженерной защиты. 

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Новиков П.А. Моделирование оползней выдавливания (на примере района Фили-Кунцево, Москва) // Вопросы инженерной геологии: труды ВСЕГИНГЕО. М.: Недра, 1970. № 23. С. 109–125.
2. Денисов Н.Я. Природа прочности и деформаций грунтов. Избранные труды. М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1972. 280 с.
3. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972. 312 с.
4. Зеркаль О.В. Основные направления инженерно-геодинамических исследований на современном этапе и развитие метода изучения оползневых процессов (по материалам XII Международного конгресса IAEG) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2015. № 5. С. 441–449.
5. Инженерная геология СССР. Т. 1 / под ред. Е.М. Сергеева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 528 с.
6. Инженерная геология России. Т. 2. Инженерная геодинамика территории России: монография / под ред. В.Т. Трофимова и Э.В. Калинина. М.: КДУ, 2013. 816 с.
7. Кропоткин М.П. Сопоставление компьютерных расчетов устойчивости с моделированием оползневых деформаций методом эквивалентных материалов // Новые идеи в науках о Земле: тезисы докл. 5-й международной конференции. М.: МГГА, 2001. Т. 4. С. 73.
8. Кропоткин М.П. Природа крупных оползней Москвы и Подмосковья // Инженерная геология. 2016. № 1. С. 4–14.
9. Кропоткин М.П. Существуют ли оползни выдавливания? // Инженерная геология. 2016. № 2. С. 28–40.
10. Кропоткин М.П. Оценка оползневой угрозы для метрополитана Воробьевых гор в Москве // Инженерная геология. 2016. № 3. С. 6–15.
11. Кюнтцель В.В. О возрасте глубоких оползней Москвы и Подмосковья, связанных с юрскими глинистыми отложениями // Бюллетень Мос. об-ва исп. природы. Отделение геологии. 1965. Т. XL (3). С. 93–100.
12. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневого процесса на Европейской территории СССР и его региональный прогноз. М.: Недра, 1980. 213 с.
13. Кюнтцель В.В. Механизм формирования оползней выдавливания на Русской платформе // Инженерная геология. 1986. № 6. С. 60–64.
14. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология, инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.
15. Мамараимов З.У. Инженерно-геологические аспекты разведки и отработки месторождений в условиях высокогорья (на примере Хандзинского рудного поля, юго-западные отроги Гиссара) // Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты). Сергеевские чтения. Вып. 15. М.: РУДН, 2013. С. 270–274.
16. Маслов Н.Н., Караулова З.М. Роль и прогноз реологических явлений в развитии оползневых процессов // Вопросы инженерной геологии: доклады советских ученых к Международному конгрессу Международной ассоциации инженеров-геологов. М.: ВИНТИ, 1970. С. 169–176.
17. Оситов В.И., Кутепов В.М., Зверев В.П. и др. Опасные экзогенные процессы / под ред. В.И. Осипова. М.: ГЕОС, 1999. 290 с.
18. Петров Н.Ф. Теоретические основы классификации оползней // Вестник Чувашского университета. 2005. № 3. С. 267–284.
19. Постоев Г.П. Предельное состояние и деформации грунтов в массиве (оползни, карстовые провалы, осадки грунтовых оснований). М.; СПб.: Нестор-История, 2013. 100 с.
20. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов / Госстрой России. М.: ПНИИИС Госстроя России, 2000.
21. Тихонов А.В. Научно-методические основы изучения глубоких оползней г. Москвы с применением высокоточных методов: автореф. дис. ... к.г.-м.н. М., 2011.