

<https://doi.org/10.53278/2306-9139-2022-1-18-3-23>
УДК 624.131.543

ОПОЛЗНИ ТЕЧЕНИЯ: РОЛЬ СТРОЕНИЯ МАССИВОВ ГРУНТОВ В ИХ ФОРМИРОВАНИИ, ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И ТИПИЗАЦИЯ

FLOW SLIDES: THE ROLE OF THE COMPOSITION OF SOIL MASSIF IN THEIR FORMATION, DEVELOPMENT FEATURES AND TYPICAL TYPES

О. В. Зеркаль
Oleg V. Zerkal

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1,
г. Москва, 119991, Россия*

Lomonosov Moscow State University, Bld. 1, Leninsky Gory, Moscow, 119991, Russia

igzov@mail.ru

Аннотация: Течение («сухое», пластическое, вязкопластическое, вязкое) является одним из основных механизмов смещения оползней. В статье рассмотрены особенности формирования и развития оползней, смещение которых происходит в виде течения, обусловленного обводнением грунтов. Формирование оползней течения связано с превышением порога ползучести действующими в склоновом массиве сдвиговыми напряжениями с переходом деформаций из затухающих в необратимые, прогрессирующие. При классифицировании склоновых процессов большинство исследователей оползней течения (под различными наименованиями) выделяет в отдельный класс. К оползням течения обычно относят смещение (в субаэральных или субаквальных условиях) массы увлажненного или переувлажненного глинистого, песчано-глинистого или щебенисто-глинистого грунта, которая движется по наклонной поверхности. Показано, что формирование оползней течения может происходить либо длительно, с постепенным развитием пластических деформаций, либо очень быстро — с практически мгновенным переходом грунтов в текучее состояние (разжижением). Основными признаками, на основе которых проводится типизация оползней течения, являются: 1) глубина захвата массива оползневыми деформациями и местоположение зоны течения; 2) морфометрические характеристики, в т. ч. форма оползневого тела (в плане); 3) тип грунтов, вовлекаемых в смещение, и механизм перехода грунтов в «текучее» состояние; 4) особенности механизма смещения, в т. ч. в зависимости от консистенции оползневых масс, обусловленной соотношением в составе движущейся массы твердой (обломочной, глинистой) составляющей и водного компонента. Охарактеризованы особенности развития и отличия поверхностных и глубоких оползней течения, включая особенности их смещения, морфологии и строения. Описана последовательность развития оползневых деформаций. Рассмотрены существующие подходы к типизации оползней течения. Предложена сводная типизация оползней течения по механизму их формирования и развития. Сделан вывод о необходимости учета особенностей и различий оползней течения при их изучении.

Abstract: The flow («dry», plastic, viscoplastic, viscous) is one of the main mechanisms of landslide displacement. The paper discusses the features of the formation and development of landslides, the displacement of which occurs in the form of a flow caused by soils saturated. The flow slides formation is associated with the excess of the creep threshold by the shear stresses acting in the slope massif with the transition of deformations from decaying to irreversible, progressive ones. When classifying slope processes, most researchers classify flow slides (under various names) into a separate class. Flow slides usually refer to the displacement (in subaerial or subaqueous conditions) of the moist mass or saturated clay, sandy-clay or rubble-clay soil, which moves along an inclined surface. It is shown that the formation of flow slides can occur either for a long time, with the gradual development of plastic deformations, or very quickly, with an almost instantaneous transition of soils to a fluid state (liquefaction). The main features with reference to which typical types of the flow slides is carried out are: 1) the capture depth of the massif by landslide deformations and the location of the flow zone; 2) morphometric characteristics, including the shape of the landslide body (in plan); 3) the type of soils involved in displacement and the mechanism of the transition of soils into a «fluid» state; 4) features of the displacement mechanism, including depending on the

consistency of the landslide masses, due to the ratio in the composition of the moving mass of the solid (debris, clay) component and the water component. The features of the development and differences of surface landslides and «deep» flow slides, including the features of their displacement, morphology and structure, are characterized. The sequence of the landslide deformations development is described. The existing approaches to the typification of flow slides are considered. Summary typical types of flow slides of a current on the initiation and mechanism of displacement is prepared. It is concluded that it is necessary to take into account the features and differences of flow slides in the course of their study.

Ключевые слова: оползень течения, оплывина, спływ, оползень-поток, оползень внезапного разжижения, оползень выдавливания, механизм смещения, типизация

Keywords: flow slide; mudflow; earthflow; flow-like landslides; lateral spread; extrusion; displacement mechanism; typing

Введение

Классификация различных типов гравитационных смещений на склонах на основе механизма перемещения оползневых масс является наиболее распространенным подходом при рассмотрении оползней. Большинство специалистов, изучающих деформации склонов, течение грунтов («сухое», пластическое, вязкопластическое, вязкое) относит к одному из основных механизмов смещения оползней, выделяя гравитационные смещения на склонах в виде их течения в отдельный класс оползневых процессов. Особенностью такого рода деформаций (на макроуровне) является перемещение грунтов, ведущих себя подобно жидкости, что отмечалось уже на самых ранних этапах изучения оползней А. Бальтцером (1875), А. Геймом (1882), А. А. Иностранцевым (1885), А. П. Павловым (1903) и др. [16, 29, 49, 60]. При этом перемещение грунтов, вовлеченных в деформации под воздействием гравитационных сил, также как и для рассмотренных ранее оползней скольжения и сдвига [11], происходит в виде движения с сохранением непосредственного контакта с неподвижной частью склонового массива. Этот важнейший признак — гравитационное смещение на склоне с сохранением контакта с неподвижной частью подстилающих отложений — и позволяет столь разные по своему механизму развития процессы (с одной стороны — скольжение и сдвиг, с другой стороны — течение) относить к одной группе геологических процессов — оползням.

Оползневые процессы, развивающиеся в виде течения грунтов, являются одними из наиболее многочисленных проявлений склоновых деформаций. Они встречаются повсеместно — как на равнинных территориях (в платформенных условиях, в т. ч. в регионах развития многолетнемерзлых грунтов), так и в горно-складчатых областях, характеризующихся контрастным рельефом, а также в подводных (субаквальных) условиях. В ряде регионов, особенно в тех, где в верхней части геологического

разреза доминируют глинистые грунты, оползни течения являются преобладающим типом склоновых деформаций. Так, по данным Р. А. Ниязова, из 6632 оползней, зарегистрированных в Центральной Азии в области распространения лессовых толщ, на долю оползней течения (оплывин, сплывов, оползней-потоков) приходится 4648 случаев, т. е. более 70% [27]. Следует отметить, что в областях с широким развитием глинистых отложений в приповерхностной части геологического разреза интенсивное аномальное выпадение осадков, как правило, сопровождается массовой активизацией склоновых деформаций, среди которых преобладают именно смещения в виде течения переувлажненных грунтов (рис. 1).

Оползневые процессы, развивающиеся в виде течения грунтов, могут носить катастрофический характер (рис. 2) как по своему масштабу, так и скорости смещения. Одним из примеров катастрофического проявления оползней течения является формирование серии оползней внезапного разжижения (с последующим течением грунтов) при Гиссарском землетрясении (1989 г.) с общим объемом до 65 млн. м³ [10, 13, 76]. Скорость смещения оползня «Окули», образовавшегося в эпицентральной зоне Гиссарского землетрясения, составляла до 4 м/сек, а оползня «Шарора» достигала 6 м/с. Крупнейший в мире подводный оползень Стурегг (Норвежское море), протяженность которого по направлению смещения составляет до 800 км, а общий объем перемещенных масс оценивается в 5580 км³, также может быть отнесен к оползням, движение которых происходило в виде течения грунтов в субаквальных условиях [59].

В настоящей работе будут охарактеризованы особенности развития и отличия оползней, смещение которых происходит в результате течения увлажненных и водонасыщенных грунтов, а также рассмотрены существующие подходы к типизации таких оползневых процессов. За рамки настоящего обсуждения вынесены склоновые деформации,



Рис. 1. Общий вид многочисленных деформаций склонов (преимущественно в виде оползней течения) в покровных и делювиальных отложениях левобережья р. Баксан, активизация которых связана с интенсивными осадками в весенне-летний период 2005 г.

развивающиеся в виде «сухого» течения грунтов (каменные и сухие суглинистые лавины, сухие песчаные и обломочные потоки), которым присуща определенная специфика, что требует отдельного, самостоятельного анализа.

Начало смещений такого рода оползней обусловлено тем, что в грунтах склона создаются напряжения, в первую очередь сдвиговые (τ), величина которых больше, чем порог ползучести (τ_{lim}).

Оползни течения. Определение

Оползни течения представляют собой отдельный класс склоновых деформаций, развивающихся под действием гравитационных сил, выделение которого предопределяется особенностями механизма смещения. Ведущим (первичным) механизмом смещения рассматриваемого класса оползней является течение грунтов в зоне основных деформаций. Иные типы деформаций, фиксируемые при смещении оползней течения (на его поверхности, во фланговых частях и т. д.), в этом случае развиваются как вторичные, т. е. следующие за основными, без которых их образование было бы невозмож-

ным. В случае, если ведущим (первичным) механизмом смещения является не течение грунтов, то такой оползень следует относить к иному классу оползней, в соответствии с их классификацией.

Начало смещения оползней течения обусловлено тем, что в грунтах склона создаются напряжения, в первую очередь сдвиговые (τ), величина которых больше, чем порог ползучести (τ_{lim}), т. е. в условиях перехода деформаций из затухающих в необратимые, прогрессирующие, которые в дальнейшем могут протекать значительное время (до снижения напряжений ниже порога ползучести). Таким образом, условием образования оползней течения (в количественном выражении) является превышение расчетного коэффициента устойчивости для рассматриваемого класса оползней ($K_{уст}^{оп\ теч}$) величины «1,0» в соотношении «действующие напряжения» / «значение порога ползучести»:

$$K_{уст}^{оп\ теч} = \frac{\tau}{\tau_{lim}}$$



Рис. 2. Оползень-поток в лессах (Таджикистан)

В зависимости от консистенции грунтов (в субаэральных условиях) или соотношения твердой составляющей и воды (в субаквальных условиях) смещение будет происходить в виде пластического, вязкопластического или вязкого течения, скорость которого будет зависеть от вязкости оползневых масс.

В отличие от оползней скольжения, когда оползнеобразование, в первую очередь, сопровождается нарушением сплошности склонового массива с формированием новой поверхности геологического раздела — поверхности скольжения [11]¹, смещение оползней течения в целом происходит в результате развивающихся пластических, вязкопластических деформаций, сопровождающихся изменением формы залегания грунтов, их структуры и текстуры в определенном интервале геологического разреза (как правило, без нарушения сплошности массива в этом интервале). Наиболее удачным термином для такого интервала геологического разреза может быть термин «основной деформируемый горизонт» (ОДГ), ранее предложенный специалистами института ВСЕГИНГЕО в несколько более широкой трактовке. При этом для строения «глубоких» оползней течения, более подробно рассматриваемых в разделе «Механизм смещения оползней течения», характерно наличие в верхней части оползневого тела горизонта более «сухих» и/или более прочных грунтов, в котором пластические, вязкопластические деформации не развиваются. При такого рода смещениях происходит разрушение горизонта грунтов, перекрывающего ОДГ. Образующиеся при этом блоки в дальнейшем могут транспортироваться на поверхности оползневого языка при его движении подобно льдинам при ледоходе. Наблюдаемые в этом случае нарушения сплошности верхней части склонового массива следует рассматривать как вторичные, т.к. они образуются вследствие происходящих деформаций ОДГ. Отдельно следует отметить, что при смещении «глубоких» оползней течения во многих случаях сохраняется первоначальный порядок залегания отложений, но в трансформированном виде.

Первоначально считалось, что деформации течения при развитии склоновых смещений характерны исключительно для водонасыщенных грунтов, движение которых происходит по наклонной поверхности или в вырабатываемом ложе. В дальнейшем, по мере накопления знаний о механизмах гравитационных склоновых процессов, были

описаны не только вязкопластические деформации в виде течения оползневых масс по наклонной поверхности, но и смещения, происходящие в результате выжимания или выдавливания. Помимо этого, было выявлено, что смещения в форме течения присущи не только водонасыщенным грунтам, но также могут развиваться в сухих песчаных и обломочных грунтах². Как следствие, к настоящему времени рассматриваемый класс оползней имеет множество наименований, предложенных различными исследователями для такого рода склоновых деформаций как в субаэральных (табл. 1), так и в субаквальных (табл. 2) условиях.

Как видно из приведенной таблицы 1, многими исследователями для выделения того или иного типа склоновых деформаций в составе оползней течения (как класса) используются в качестве признака классифицирования не только механизм смещения (в виде течения), но и другие особенности, такие как механизм перехода грунтов в вязкопластическое, текучее состояние (оползни внезапного разжижения, суффозионные оползни) или форма развития деформаций (выпор, выдавливание, латеральное растекание). При этом течение грунтов как механизм развития оползневых деформаций подразумевается как бы «по умолчанию».

Недоучет (или недопонимание) единства механизма смещения таких типов оползней приводит к появлению нестрогих, порой сумбурных классификационных схем. Примером такой нестрогой классификации оползней, при построении которой были «перемешаны» признаки выделения типов склоновых деформаций, является «Классификация оползневых процессов» в составе СП 420.1325800.2018 «Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов. Общие требования». Например, в этой «классификации» выделены как отдельные типы оползней одного классификационного уровня «оползни вязкопластические» (по механизму смещения), так и «оползни внезапного разжижения» (по механизму перехода грунтов в вязкопластическое состояние). При этом абсолютно не было учтено, что собственно смещение «оползней внезапного разжижения» после фазы «разжижения» происходит в виде вязкопластического течения, т. е. они одновременно должны быть отнесены и к «оползням вязкопластическим». Такую ситуацию (возможность отнесения одного явления одно-

¹ Смещение оползней сдвига происходит по существующим в массиве поверхностям раздела (напластованию, сланцеватости, трещиноватости) [11].

² В настоящей статье склоновые деформации, развивающиеся в виде «сухого» течения грунтов, не рассматриваются.

времененно к различным таксонам) следует рассматривать как грубое нарушение научных принципов классифицирования, ставящее под сомнение успешность практического применения этой «классификации».

Таблица 1. Наименование склоновых деформаций, развивающихся в виде течения (в субэкральных условиях), предложенное в различных классификациях оползней

№ п/п	Наименование	Автор(ы) классификации
1	Грязевой поток (Schlammströme)	A. Baltzer, 1875 [49]
2	Оплывины (или глинисто-каменные потоки = muren/murbrüche)	A. A. Иностранцев, 1885 [16]
3	Оползни-сплывы или оползни деляпсивные	A. П. Павлов, 1903 [29]
4	Поверхностные потоки. Глубокие и масштабные оползни течения	R. Almagia, 1910 [47]
5	Муры	J. Stiny, 1910 [72]
6	Деформации откосов, вызванные свойствами пород, в особенности в присутствии грунтовых вод	Л. Н. Бернацкий, 1915 [2]
7	Движение мягких пластичных масс	K. Terzaghi, 1925 [73]
8	Оплывины и грязевые потоки, как переходные стадии к массовым перемещениям под влиянием различных транспортирующих сил	П. А. Двойченко, И. В. Мушкетов, 1926 [25]
9	Пластические оползни (преимущественно деляпсивные). Суффозионно-пластические оползни (рис. 3)	Ф. П. Саваренский, 1935 [38]
10	Движение без разрыва сплошности масс. Движение пластических масс	A. П. Нифантов, 1935 [26]
11	Деляпсивный поток (щебенистая река). Оплывины	В. Ф. Пчелинцев, Н. Ф. Погребов, 1936 [34]
12	Группа II. Тип III. Оплывание склонов. Группа III. Тип А. Смещение, вызванное гидростатическим давлением. Тип D. Смещение глинистых масс	В. Е. Родионов, 1937 [36]
13	Движение в виде течения, включая солифлюкцию, земляные (earthflow) и грязевые (mudflow) потоки	C. F. S. Sharpe, 1938 [71]
14	Консистентные оползни. Оплывины	Н. В. Родионов, 1939 [37]
15	Оползни глетчерного типа	C. К. Абрамов, О. Б. Скиргелло, 1948 [1]
16	Оползни-силы (сели) рыхлых обломочных песчано-глинистых и щебенистых пород (оплывины, слюдянский тип). Оползни-сплывы глинистых пород (сухумский тип). Оползни при чередовании водоупорных пластов с водопроницаемыми (волжский тип)	C. С. Буцько, 1951 [3]
17	Пластический оползень. Оползень-поток	М. Е. Кнорре, С. К. Абрамов, И. О. Рогозин, 1951 [19]
18	Класс I. Оползни пластического течения	Е. Е. Минервина, 1953 [24]
19	Сплыв. Пластическая и вязкая деформация	Н. Н. Маслов, 1955, 1977 [22, 23]
20	Оползни-потоки (рис. 4). Оплывины	A. М. Дранников, 1956 [8]
21	Оползни выдавливания. Оползни оплывания	П. Н. Панюков, 1956 [31]
22	Оползни глетчерообразные. Оползни ложкообразные. Оплывины	Е. П. Емельянова, 1963 [9]
23	Пластические (консистентные) (рис. 5). Оползни-потоки и сплывы (оплывины). Структурно-пластические оползни (оползни выдавливания) (рис. 6)	И. А. Клевцов, 1964 [17]
24	Оплывание (деформации, происходящие при отсутствии поверхностей разрушения). Вязкопластическое течение	A. М. Демин, 2009 [7]
25	Пластично-плывущие оползни	В. Н. Славянов, 1964 [39]
26	Рукавообразные или глетчеровидные оползни. Оползни-сплывы	Г. Г. Великий, 1968 [6]
27	I. Оползневые деформации в лессовидных четвертичных породах (поверхностные сплывы, оплывины, оползни-потоки, суффозионные оползни). II. Оползневые деформации в смешанных породах (щебенисто-глинистые потоки)	Г. Л. Круковский, М. Г. Хаджаев, 1968 [20]
28	Оползни, связанные с выдавливанием глинистых пород из основания склона (откоса) под весом вышележащей толщи. Оползни, представляющие собой вязкое или вязкопластическое течение глинистого грунта (обычно вследствие увлажнения). Оползни, связанные с выплыванием водоносных песков из основания склона. Оползни, вызванные внезапным разжижением выщелоченных глинистых пород	М. К. Рзаева, И. О. Тихвинский, 1971 [35]

Окончание таблицы 1

29	Детрузивные оползни (выдавливания, глубокой ползучести). Деляписивные оползни («вязкого течения» водонасыщенных масс — сплывы, оползни-потоки, оползни «внезапного разжижения»). Солифлюкционные (медленное течение поверхностного слоя — оплывины, натечные террасы)	Г.С. Золотарев, 1969, 1980 [14, 15]
31	Оползни течения, включая А — пластические, Б — оползни-потоки, В — оплывины, Г — сплывы	С.С. Орлов, Т. А. Тимофеева, 1974 [28]
32	Оплывины. Поверхностные сплывы. Оползни-потоки	Р.А. Ниязов, 1974 [27]
33	Выдавливание (рис. 7, а, с). Латеральное растекание (lateral spread) (рис. 7, b). Течение (flow) (рис. 7, d-h)	D.J. Varnes, 1978 [74], D. M. Cruden, D. J. Varnes, 1996 [54], R. Dikau, 1996 [56]
34	Оползни выдавливания. Оползни выплывания. Оползни-потоки. Оползни разжижения	В.В. Кюнцель, 1985 [21]
35	Оползни выдавливания (рис. 8, а). Оползни выплывания (рис. 8, b). Оползни течения (пластические) (рис. 8, с). Оползни-потоки, оползни-оплывины (рис. 8, d, e)	А.И. Клименко (ред.), 1983 [18]
36	Оползни-потоки	К.Ш. Шадунц, 1983 [46]
37	Оползни выдавливания. Оползни течения (вязкого, пластического и вязкопластического течения). Оползни особенные (выплывания, разжижения)	Н.Ф. Петров, 1988, 2006 [32, 33]
38	Оползни выдавливания (оползни глубинной ползучести, структурно-пластические). Оползни вязкопластические/консистентные (оползни-потоки, сплывы, оплывины). Оползни гидродинамического разрушения/выплывания (оползни суффозионные, оползни гидродинамического выпора). Оползни внезапного разжижения	И.О. Тихвинский, 1988, 2002 [41, 42]
39	Деляписивные: оползни-потоки, оползни внезапного разжижения, оползни-глетчеры, сплывы. Оплывины солифлюкционные	В.С. Федоренко, 1988 [43]
40	Смещение обломочного материала подобно течению — грязевой оползень (mudslide), оползень-поток (flow slide), обломочный поток — чрезвычайно быстрый поток увлажненных обломков (extremely rapid flow of wet debris)	J.N. Hutchinson, 1988 [63]
41	Оползни течения	P. Antoine, 1992 [48]
42	Движение в виде потока (неограниченный, канализованный)	D. Brunnsden, 1993 [50]
43	Оползень потоковый	Ю.П. Смирнов, И. А. Булавин, 1999 [40]
44	Потокообразные оползни (flow-like landslides) — неограниченные, канализованные/русловые, смешанные	G.Di Crescenzo, A. Santo, 2005 [55], O. Mavrouli, et al., 2014 [66]
45	Грязевой оползень (mudslide). Латеральное растекание (lateral spread). Выдавливание и выпор (extrusion and cambering)	A.I.F. Welbon, et al., 2007 [75]
46	Оползни течения, оползни разжижения подразделяемые: — оползни в несвязных водонасыщенных грунтах; — оползни в переуплотненных связных грунтах; — оползни в чувствительных глинах; — быстрые оползни в расширяющихся грунтах — при трансформации оползней сдвига в связных грунтах (от высокопластичных глин до низкопластичных глинистых песков) при движении	R. Fell, J. Glastonbury, G. Hunter, 2007 [58]
47	Потокообразные оползни (flow-like landslides), включающие оползни потоки (flow slide), латеральное растекание (lateral spreading), обломочные потоки (debris flow), оползни потоки в чувствительных глинах (sensitive clay flow slide), грязевые потоки (mud flow), земляные потоки (earth flow), торфяные потоки (peat flow)	O. Hungr, S. Leroueil, L. Picarelli, 2012 [62]

Таблица 2. Наименования склоновых деформаций, разв ивающихся в виде течения (в субаквальных условиях), предложенные в различных классификациях оползней

№ п/п	Наименование	Автор(ы) классификации
1	Подводный грунтовый поток. Подводный турбидитный (мутевой) поток	R.H. Dott (Jr.), 1963 [57]
2	Перемещение подвижного илистого осадка. Перемещение пластической вязкой массы. Перемещение пластической вязкой массы с компетентными слоями	Б.Г. Васин, 1968 [5]
3	Подводный инерционный поток. Подводный турбидитный (мутевой) поток	R.M. Carter, 1975 [51]
4	Обломочный поток — связный обломочный поток, гранулированный поток. Разжиженный (текучепластичный) поток, занимающий промежуточное положение. Флюидальный поток — флюидизированный поток, турбидитный (мутевой) поток	D.R. Lowe, 1979 [64]

Окончание таблицы 2

5	Грунтовые потоки, включающие обломочные, грязевые, гранулированные потоки. Флюидальные потоки, включающие разжиженные (текучепластичные), флюидизированные, турбидитные (мутявые) потоки	T.R. Nardin, et al., 1979 [68]
6	Гравитационные потоки осадков (подводные), включая: — течение вещества в виде вязких и дисперсионных потоков высокой плотности; — перемещение материала в виде несвязных жидких высокоплотностных потоков	А.А. Чистяков, Ф. А. Щербаков, 1984 [45]
7	Гранулированный поток. Суспензионный поток. Флюидальный поток (нормальный, гиперконцентрированный)	T.C. Pierson, J. E. Costa, 1987 [69]
8	Пастообразные потоки пластично-вязкой консистенции. Зерновые потоки. Разжиженные потоки (удерживаемые движением флюида). Суспензионные потоки	И.В. Хворова, 1989 [44]
9	Гравитационные потоки, включая: — ламинарные потоки (матричные — обломочные потоки, флюидные — гранулированные потоки); — турбидитные (мутявые) потоки (низкоплотностные потоки, высокоплотностные потоки)	D.G. Masson, et al., 2006 [65]

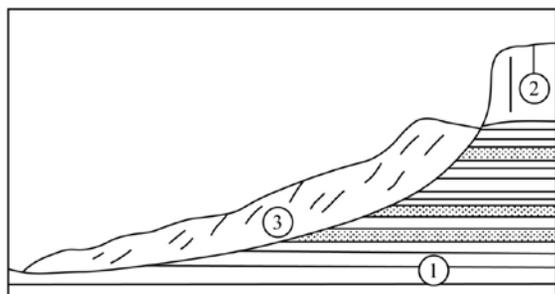


Рис. 3. Инсеквентный оползень суффозионно-пластического образования, по Ф. И. Саваренскому (приведено по [38]).
Обозначения: 1 — глины, чередующиеся с водоносными песками; 2 — суглинки; 3 — оползневые массы

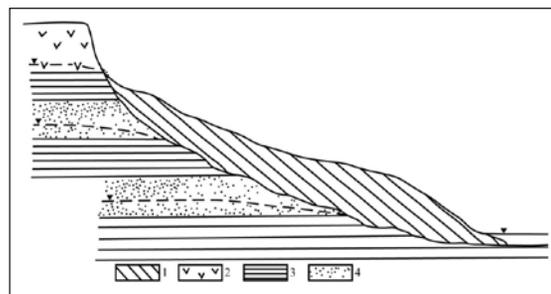


Рис. 4. Оползень-поток (по А. М. Дранникову (приведено по [8])).
Обозначения: 1 — оползневые накопления (земляной поток), 2 — суглинки, 3 — глины, 4 — пески

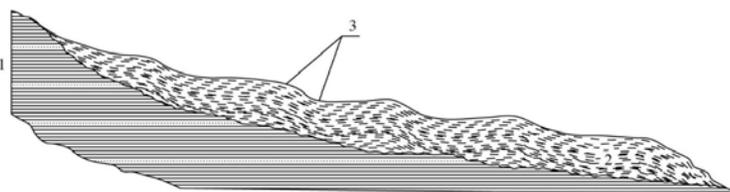


Рис. 5. Пластический оползень (по И. А. Клевцову (приведено по [17])).
Обозначения: 1 — дочетвертичные тонкослоистые (сланцевые) глины с ненарушенной структурой и текстурой; 2 — элювиальные пластичные глины, находящиеся в движении; 3 — поверхность пластического оползня, оползневые бугры, валы и западины

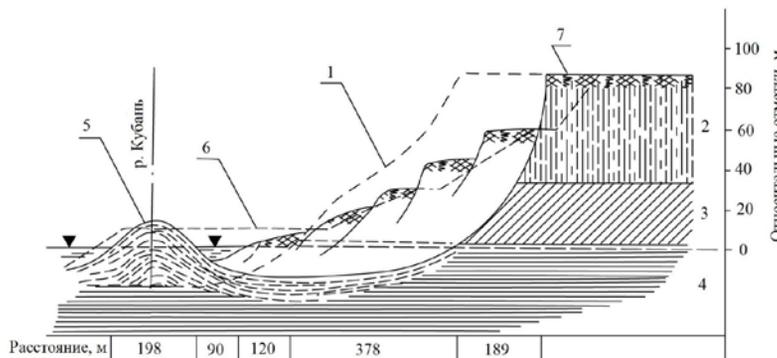


Рис. 6. Структурно-пластический оползень (по И. А. Клевцову (приведено по [17])), на примере Большого Григориполисского оползня на правом берегу р. Кубани в районе станицы Григориполисской).
Обозначения: 1 — конфигурация склона до образования Большого Григориполисского оползня; 2 — лессы и лессовидные суглинки; 3 — суглинки и глины с прослоями и линзами водоносного песка; 4 — кирпично-красные глины армавирской свиты; 5 — дно р. Кубани, выдавленное оползнями на высоту до 8 м выше уреза воды; 6 — проектируемая «призма противодействия» (пригрузочный контрбанкет); 7 — проектируемая разгрузка оползневого склона с устройством берм (террас)

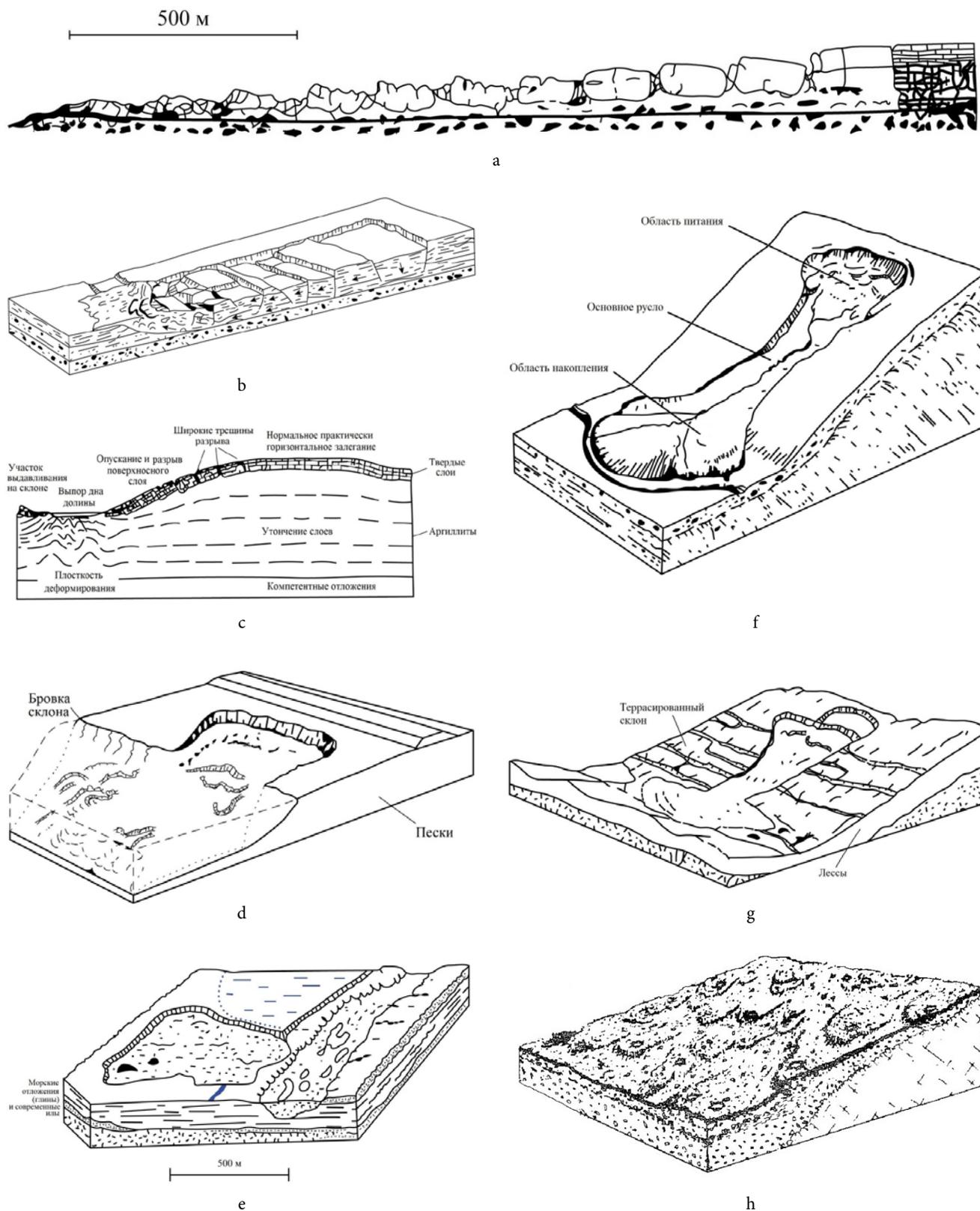


Рис. 7. Типы оползней, смещение которых происходит в виде течения (по Д. Д. Варнсу (приведено по [4], за исключением оползней «сухого» течения): а — оползень выдавливания (расползание блоков скальных и рыхлых грунтов, обусловленное пластическими деформациями подстилающих отложений); б — оползень выдавливания глинистых грунтов (с последующим растеканием), очень быстрый; с — оползень выдавливания с подъемом дна долины; д — оползень-поток водонасыщенного песка или ила, от быстрого до очень быстрого; е — быстрый оползень-поток глинистых масс («подвижные» глины), очень быстрый; ф — оползень-поток глинистых масс, от очень медленного до быстрого; г — оползень-поток во влажных или водонасыщенных лессах, очень быстрый, а также оползень-поток в сухих лессах, вызванный землетрясением; h — солифлюкция

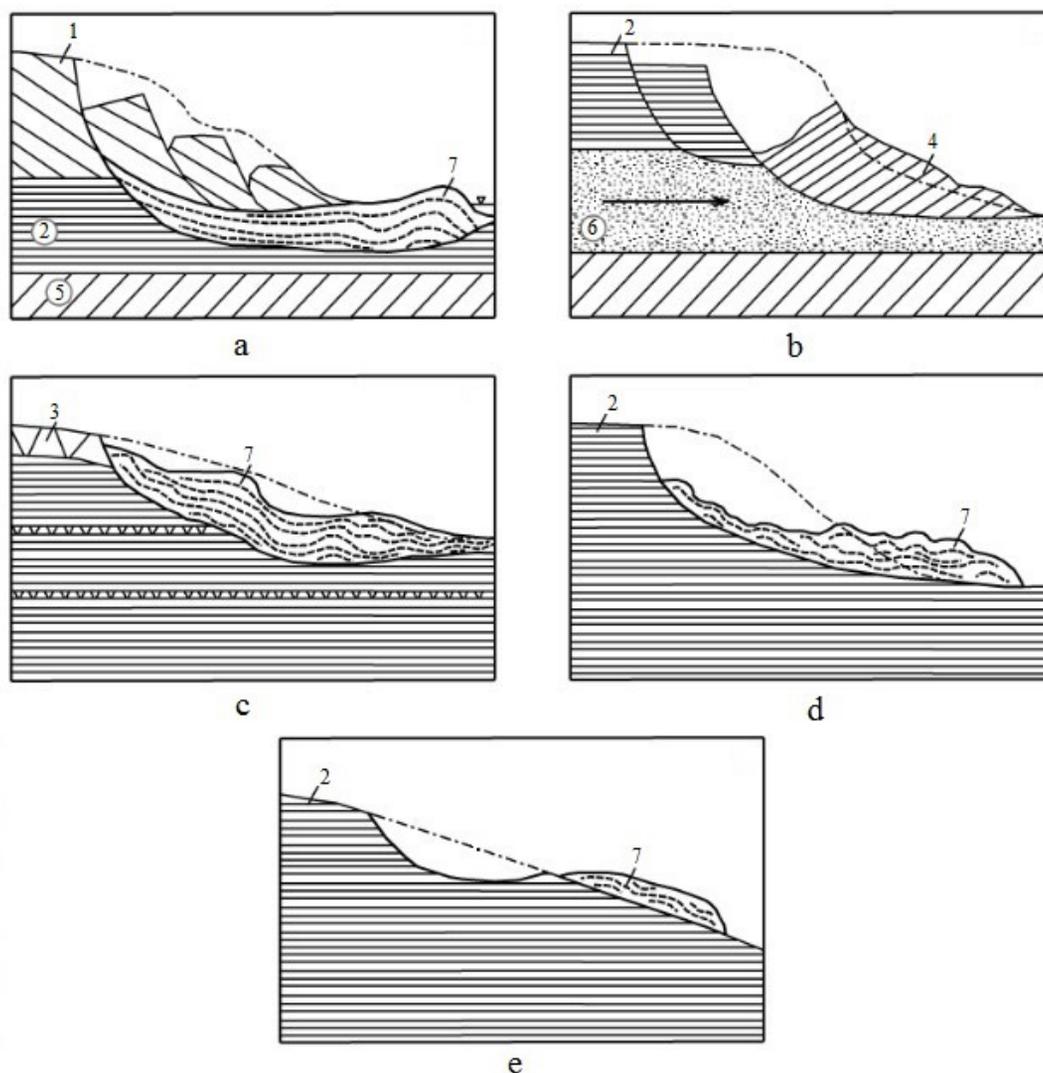


Рис. 8. Типы оползней, смещение которых происходит в виде течения (по А. И. Клименко с соавторами (приведено по [18])): а — оползень выдавливания — смещение блоков «жестких» пород вследствие вязкопластического течения подстилающего относительно слабого пласта с его выдавливанием под весом вышележащих отложений; б — оползень выплывания — смещение блоков пород вследствие суффозионного выноса-выплывания песчаных или пылеватых отложений при высоких градиентах фильтрационного потока подземных вод; с — пластический оползень — смещение в виде медленного пластического течения всей толщи переувлажненных глинистых пород; д — оползень-поток — смещение в виде преимущественно быстрого вязкопластического течения всей толщи переувлажненных песчано-глинистых, пылеватых глинистых отложений, иногда с грубообломочным материалом; е — оплывина — смещение в виде быстрого вязкого течения грунтов деятельного слоя. Обозначения: 1 — «жесткие» грунтовые массы (скальные, полускальные и твердые связные); 2 — глинистые (суглинистые) грунты; 3 — глинистые (суглинистые) грунты в твердом и полутвердом состоянии; 4 — смещенные блоки «жестких» грунтовых масс; 5 — скальные, полускальные грунты; 6 — водонасыщенные песчаные или пылеватые отложения; 7 — оползневые отложения, формирование которых произошло в результате течения (пластичного, вязкопластического, вязкого)

Механизм смещения оползней течения

В основных чертах механизм формирования и смещения оползней течения представляется в следующем виде. Первичному оползню обычно предшествует процесс увлажнения грунтов — длительный (как правило, для глубоких горизонтов) или достаточно быстрый (нередко наблюдается для приповерхностной части склонового массива в условиях интенсивных осадков или быстрого снеготаяния). Следующей существенной стадией формирования

оползней течения (начальная фаза оползнеобразования) является начало развития в грунтах необратимых деформаций под действием существующих в склоновом массиве напряжений. Переход к фазе течения (стадия основных смещений) может происходить:

1. постепенно, при накоплении напряжений с преодолением порога ползучести (на длительный период или периодически) с переходом грунтов (в интервале «основного деформируемого гори-

зонта») в пластическое состояние с развитием течения, как правило, с невысокими или относительно высокими скоростями перемещения оползня (от см/год до м/сут). В случае преодоления порога ползучести в течение длительного времени оползневые деформации переходят в стадию основных смещений, а в условиях периодического превышения действующих напряжений порога ползучести, смещения оползня носят импульсный, а при ведущей роли климатического фактора — сезонный, характер.

2. очень быстро (практически мгновенно) в условиях разрушения структуры грунтов (в интервале «основного деформируемого горизонта» — ОДГ) при резком возрастании порового давления в водонасыщенных разностях (например, при динамическом /сейсмическом воздействии), когда существующие напряжения в склоновом массиве скачкообразно преодолевают порог ползучести, многократно превышая его, что сопровождается переходом грунтов в текучее состояние, при котором грунты, претерпевшие разжижение, приобретают свойства, более типичные для жидкости. Такого рода оползни характеризуются очень высокими скоростями смещения (до первых м/сек), а уклоны поверхности, по которой они движутся, могут составлять всего 1–2°.

Таким образом, особенностью формирования «быстрых» оползней течения является скачкообразное (в разы) снижение величины порога ползучести (например, при разрушении структуры грунта в интервале ОДГ при динамическом воздействии), что сопровождается резким изменением соотношения «действующие напряжения» / «значение порога ползучести», в условиях практически мгновенного снижения значений последнего.

На практике, при развитии оползней течения может наблюдаться комбинация описанных сценариев оползнеобразования, когда собственно начало смещения вызвано преодолением порога ползучести длительно действующими в склоновом массиве напряжениями с последующим (в процессе оползания) разрушением структуры грунтов, что, в свою очередь, приводит к снижению величин напряжений, необходимых для развития необратимых, прогрессирующих деформаций, и сопровождается ускорением движения оползневых масс с трансформацией пластического течения в вязкопластическое.

Важным фактором, определяющим особенно-сти смещения оползней в виде течения грунтов, является характер расположения в разрезе ОДГ, который может находиться как в приповерхностной части склонового массива, так и на некоторой

глубине, перекрываясь горизонтом, в котором пластические, вязкопластические деформации не развиваются. В первом случае, речь идет о формировании неглубоких оползней течения (см. рис. 2–4), а во втором — глубоких (см. рис. 5). Идею различать «поверхностное течение», приуроченное к зоне сезонных колебаний температуры и влажности, и течение масс, происходящее под действием силы тяжести, которое представляет собственно явление ползучести, впервые в 1846 г. высказал А. Collin [52]. При этом совершенно неважными являются абсолютные величины глубины захвата оползневых деформациями склонового массива, т.к. ключевым критерием разделения оползней течения на неглубокие и глубокие служит именно наличие/отсутствие горизонта грунтов, перекрывающих ОДГ.

Для неглубоких оползней течения следующая стадия оползнеобразования — собственно смещение оползневых масс в виде течения — является основной и завершающей. Эпюры распределение скоростей смещения оползневых масс в разрезе при смешении неглубоких оползней течения показаны на рис. 9. Развитие глубоких оползней течения носит более сложный характер. Определяющую роль в форме дальнейших деформаций глубоких оползней течения играет горизонт грунтов, перекрывающих ОДГ, в котором пластические, вязкопластические деформации не происходят.

В случае незначительной мощности и/или недостаточно высокой прочности грунтов перекрывающего горизонта, смещения, развивающиеся в основном деформируемом горизонте, приведут к его разрушению и дезинтеграции (вторая фаза оползнеобразования) с последующим прорывом грунтов, находящихся в вязкопластическом/вязком состоянии, и переходом к следующей стадии развития деформаций — стадии основных смещений. В дальнейшем, на стадии основных смещений, происходит образование, как правило, протяженного оползневого языка из вязкопластических масс, которые могут на своей поверхности транспортировать блоки грунтов перекрывающего горизонта (подобно льдинам при ледоходе) (рис. 10). В головной части такого глубокого оползня образуется оползневой цирк (в виде полукруглой депрессии), борта которого нередко осложнены локальными (вторичными) оползнями скольжения.

В случае значительной мощности и/или достаточно высокой прочности грунтов перекрывающего горизонта, смещения, развивающиеся в основном деформируемом горизонте, не приведут к его разрушению. При этом стадия основных смещений такого глубокого оползня завершится образова-

нием вала выпирания (или скорее — выжимания), в случае пригрузки пластичных грунтов отложениями перекрывающего горизонта, либо вала выдавливания (пластического выдавливания), если вязкопластичные грунты деформируют перекрывающий горизонт без его разрушения. Оползневые валы имеют, как правило, фронтальную форму, вытягиваясь вдоль основания склона. Головная часть такого глубокого оползня представляет собой полукруглую или трапецевидную (с закругленными краями) оползневую депрессию, борта которой зачастую осложнены блоками локальных (вторичных) оползней скольжения.

Следует отметить, что А. П. Павлов, описывая детрузивный тип оползней, в качестве примера приводит проявления оползневых процессов, в которых при смещениях произошло формирование вала выпирания [29, 30].

Примером глубокого оползня течения, при развитии которого проявились оба описанных механизма оползнеобразования, является оползень «Шарора», образовавшийся при Гиссарском землетрясении (1989). Западная и восточная части оползня «Шарора» имеют протяженные (до 380 и 470 м соответственно) языковые части, сформированные в виде потока вязкопластических масс,

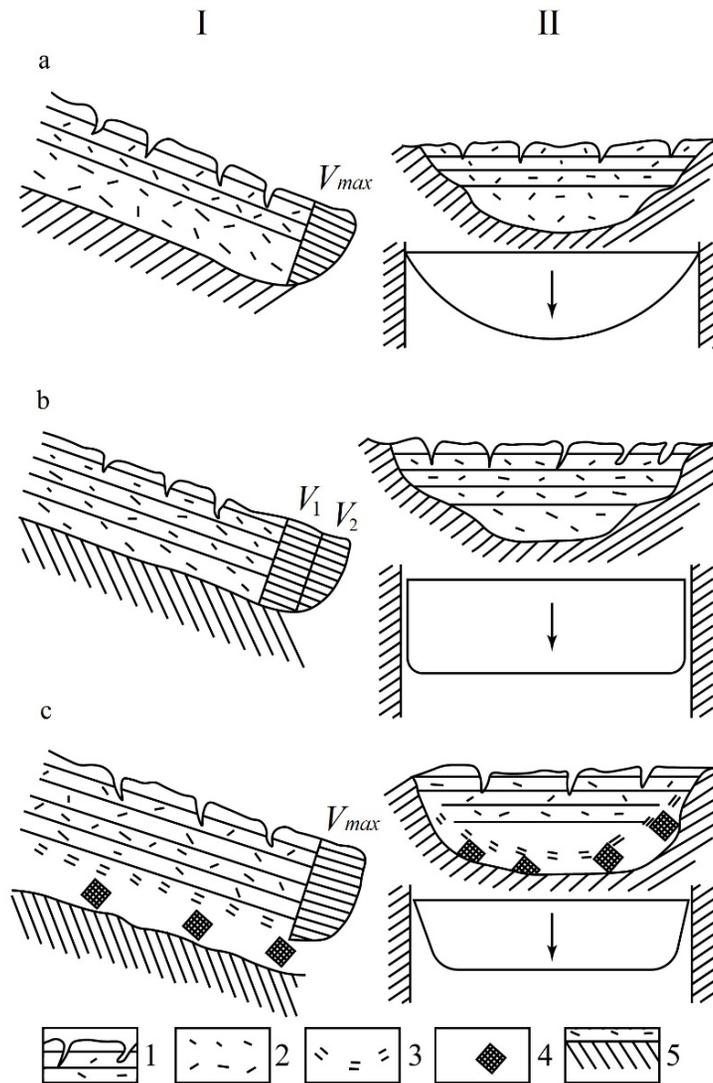


Рис. 9. Схема движения неглубокого (приповерхностного) оползня течения (приведено по [46]). Обозначения: I — продольный разрез оползня, II — поперечное сечение оползня и эпюра его смещения в плане; а — течение при «жестком закреплении» по ложу и бортам оползня, б — «проскальзывание» без закрепления в ложе и бортах оползня, с — течение при «упругом закреплении» по ложу и бортам оползня; 1 — обломочно-глинистые оползневые массы с трещинами усадки и растяжения; 2 — водонасыщенные глинистые массы градиентного слоя; 3 — прослой перемятых глин, по которому происходит смещение (смазка); 4 — пакеты и глыбы глинистых грунтов в оползне первой генерации; 5 — литифицированные глины (несмещенные), штриховка указывает на падение слоев, V_1 — скорость движения основной части оползня, V_2 — скорость движения фронтальной части оползня, V_{max} — максимальная скорость движения оползня



Рис. 10. Вид поверхности оползня внезапного разжижения в лессах (Таджикистан), на которой хорошо видны многочисленные перемещенные фрагменты/блоки лессов в твердой консистенции, перекрывающих ОДГ в момент оползнеобразования (разжижения зоны обводненных лессов)

в то время как центральная часть оползня представляет собой вал выпирания высотой до 8 м, протягивающийся вдоль склона на 170 м [10, 13, 76].

Типизация оползней течения

Выделение типов, видов и разновидностей оползней течения в составе частных классификаций этого типа склоновых деформаций проводится:

- по морфометрическим характеристикам, в т. ч. форме оползневого тела (в плане), его местоположению на склоне;
- по типу грунтов, вовлекаемых в смещение;
- по механизму перехода грунтов в вязкопластическое, текучее состояние;
- по особенностям механизма смещения, в т. ч. в зависимости от консистенции оползневых масс.

Также важным признаком выделения типов оползней течения (неглубокие/приповерхностные и глубокие), как было показано выше, являются особенности геологического строения склонового массива.

Наиболее распространенной и простой типизацией неглубоких оползней, смещение которых происходит в виде течения, является выделение в их составе оплывин, сплывов и оползней-потоков (рис. 11) [8, 14, 15, 17, 20, 27, 28]. Оплывины определяются как небольшие (десятки, первые сотни м³) склоновые деформации, развивающиеся при существенном локальном обводнении (при инфильтрации дождевых и талых снеговых вод) приповерхностного слоя грунтов. К сплывам (рис. 11–13) относятся относительно изометричные по форме, разномасштабные (от сотен м³ до десятков тысяч м³) оползневые деформации, захватывающие приповерхностную часть склонового массива. По форме и характеру

сплывы сходны с оплывинами, но отличаются большей глубиной захвата грунтов смещениями и более крупными размерами (см. рис. 11). Образование сплывов наблюдается на увлажненных достаточно крутых (15–45°) склонах. По мнению Р. А. Ниязова, сплывы приурочены в большинстве случаев к вогнутым формам рельефа [27]. В районах распространения многолетнемерзлых грунтов для описания такого типа склоновых деформаций нередко используют термин «быстрая солифлюкция». Оползни-потоки, в отличие от сплывов, могут иметь более значительные объемы и формируют вытянутые оползневые языки, протяженность которых существенно больше их ширины (см. рис. 12, 13).

По морфометрическим характеристикам, в первую очередь по форме в плане, среди неглубоких оползней, смещение которых происходит в виде течения, выделяют оползни ложкообразной (эллипсоидальной) (рис. 14), каплевидной, глетчеровидной и грушевидной (с суженной горловиной, по Е. П. Емельяновой) формы (рис. 15) [1, 4, 9, 54, 74]. В. Н. Славянов и Г. Г. Великий оползни глетчеровидной формы также предлагали определять как рукавообразные оползни [6, 39]. Формирование оползней глетчеровидной (рукавообразной) формы может происходить как на поверхности склонов, в т. ч. с выработкой собственного ложа при смещении (русловой оползень-поток (рис. 16)), так и быть приурочено к существующей эрозионной сети (оврагам, руслам мелких временных водотоков). Для последних разновидностей оползневых смещений в зарубежной практике зачастую используют термин «канализированные (или русловые) оползни» [50, 55, 66].

Нередко оползни-потоки глетчеровидной формы характеризуются сложным механизмом образования, формируясь на начальном этапе сме-



Рис. 11. Разновидности неглубоких оползней течения: А — оплывина, В — сплыв, С — оползень-поток

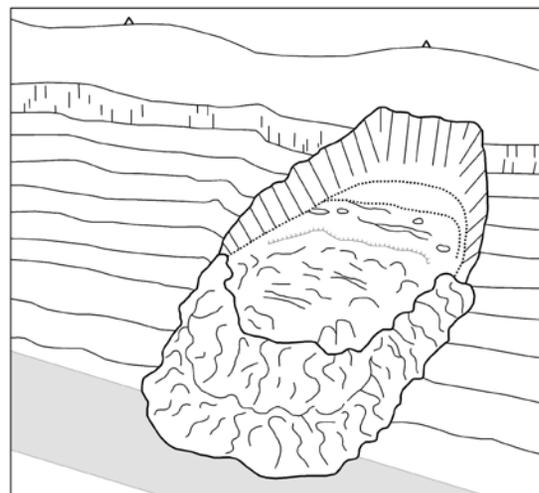


Рис. 12. Сплыв в борту долины р. Вахш (Таджикистан), частично перекрывший автодорогу, и его схема

щения как склоновые оползни, которые при смещении достигают локального эрозионного вреза и изменяют (во многих случаях достаточно резко, под углами до 90°) направление своего движения на вдольрусловое, следуя «каналу» эрозионного вреза (рис. 17). Другим сценарием образования масштабного оползня-потока глетчеровидной формы может являться слияние в его головной серии менее масштабных сплывов (начальный этап смещения склоновых оползней) с последующим формированием единого оползневого языка, смещающегося вниз по склону (рис. 18). В случае, если склон сложен достаточно устойчивыми грунтами, смещение оползня-потока возможно в виде серии рукавообразных оползней (рис. 19)



Рис. 13. Различие в форме (в плане) и объемах сплывов (А) и оползня-потока (В)

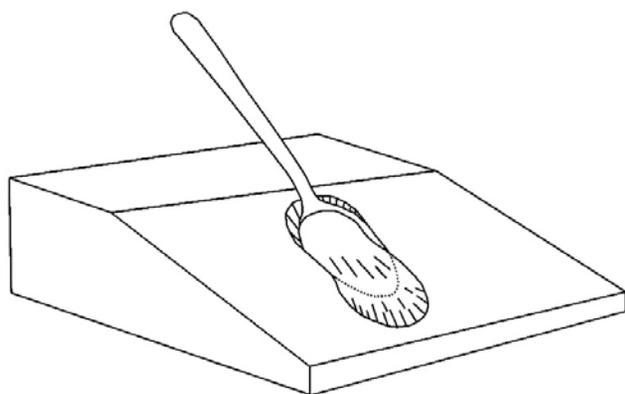


Рис. 14. Оползень ложкаобразной формы (по Д. Д. Варнсу (приведено по [4] с изменениями))

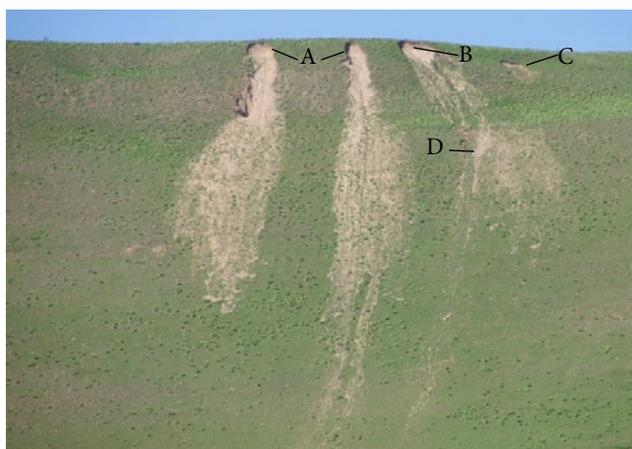


Рис. 15. Различные типы (по форме в плане) неглубоких оползней течения: А — грушевидные, В — каплевидный, С — оплывина, D — рукавообразный



Рис. 16. Русловой оползень-поток,
Западный Кавказ

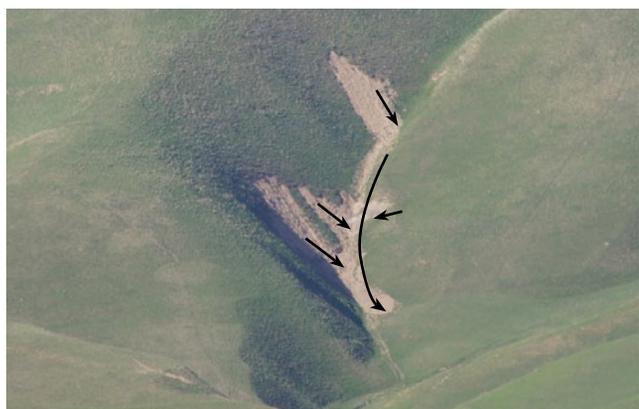


Рис. 17. Оползень-поток глетчеровидной формы со сложным механизмом образования (склоновые оползни, трансформировавшиеся при смещении (при достижении эрозионного вреза) во вдольрусловой поток)

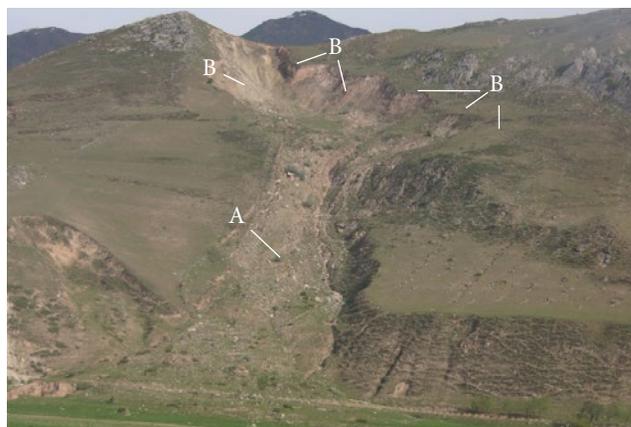


Рис. 18. Образование оползня-потока глетчеровидной формы (А) в результате слияние серии сплывов (В) в его головной части



Рис. 19. Оползень-поток, смещение которого происходило в виде серии рукавообразных оползней (по В. Н. Славянову и Г. Г. Великому)

Другой достаточно простой типизацией оползней, смещение которых происходит в виде течения, является их разделение по типу грунтов, вовлекаемых в движение. Такие идеи первоначально были высказаны С.F.S. Sharpe (1938), разделявшим смещения в связных грунтах и смещения в обломочных грунтах [71]. Дальнейшее развитие идеи учета при классификации оползней типов грунтов, вовлекаемых в смещения, находит в работах Д. Д. Варнса [4, 54, 74], который выделял (в качестве отдельных типов) оползни течения в обломочно-щебенистых грунтах, водонасыщенных песках, лессах, связных (суглинистых и глинистых) грунтах (см. рис. 7, *b, d-g*). В последние годы типизация оползней, смещение которых происходит в виде течения, учитывающая тип смещающихся грунтов, развивалась в работах О. Hungr, et al. [61, 62]. О. Hungr предложил в составе «потокообразных оползней» (= оползней течения) выделять обломочные потоки (*debris flow*), оползнь-потоки в чувствительных глинах (*sensitive clay flow slide*), грязевые потоки (*mud flow*), земляные потоки (*earth flow*), торфяные потоки (*peat flow*). R. Fell, et al., вслед за J. N. Hutchinson, разделявшим оползни

«потокообразных форм» в гляциальных (моренных) и перигляциальных суглинках [63], дополнительно предлагают выделять оползни в переуплотненных связных грунтах, а также учитывать различия в характере движения оползней течения в диапазоне от высокопластичных глин до низкопластичных глинистых песков [58].

В отечественной практике изучения и типизации оползней течения также предлагается учитывать тип грунтов, вовлекаемых в смещения — песчаные, пылеватые, глинистые. С. С. Буцько, выделяя региональные типы оползней течения, в частности, различал оползни в рыхлых обломочных песчано-глинистых и щебеночных грунтах (слюдянский тип), оползнь-сплывы в глинистых грунтах (сухумский тип) [3]. Г. С. Золотарев, И. О. Тихвинский и другие указывали на необходимость отдельного рассмотрения оползней в слаболитифицированных морских глинах (норвежский тип оползней) и лессах, представляющих собой грунты, чувствительные к динамическому воздействию, а также оползней, формирующихся в песчаных (супесчаных) грунтах, обладающих плывунными свойствами [14, 15, 41, 42]. Однако в отличие

от зарубежных работ в отечественной практике при типизации неглубоких оползней течения учет типа грунтов, вовлекаемых в смещения, не рассматривается в качестве ведущего признака, а носит вспомогательный характер.

Вместе с тем, особенности геологического строения склонового массива, слагающих его типов грунтов, важны при характеристике глубоких оползней течения. Наиболее известным типом глубоких оползней течения, где значимо геологическое строение склона, являются оползни «одесского типа», описанные в многочисленных публикациях, посвященных изучению склоновых процессов. Образование оползней «одесского типа» обусловлено пластическими деформациями в увлажненных эоцистических глинах, в т. ч. с формированием валов выпирания (или скорее — выжимания), под воздействием напряжений, возникающих от веса вышележающих понтических известняков и лессов. Д. Д. Варнс также обращает внимание на значимость для характеристики оползней выдавливания различных видов особенностей геологического строения склонового массива как фактора, предопределяющего специфику склоновых деформаций (см. рис. 7, а-с) [4, 54, 74].

При этом следует отметить, что оползни выдавливания (оползни «одесского типа», оползни выдавливания с подъемом дна долины (по Д. Д. Варнсу)), по существу, представляют собой переходный тип к разновидностям оползней сдвига, механизм развития которых заключается в смещении блоков прочных (как правило, скальных) грунтов по увлажненной поверхности аргиллитоподобных глин, но, как правило, не сопровождающихся их выдавливанием (например, оползни «ангарского типа» [11]).

Анализ типа грунтов, а также учет особенностей их поведения в условиях динамического воздействия важен при характеристике глубоких оползней течения, формирующихся в результате «внезапного разжижения». Способность грунтов при водонасыщении к динамическому разжижению, при котором происходит резкое снижение величин напряжений, необходимых для развития оползневых деформаций, является ведущим признаком для выделения оползней внезапного разжижения (по Г. С. Золотареву и И. О. Тихвинскому) или оползней латерального растекания в «подвижных» / «чувствительных» глинах (по D. J. Varnes, R. Dikau, A.I.F. Welbon, R. Fell, O. Hungr) [14, 15, 41, 42, 54, 56, 58, 62, 74]. Детальное описание механизма перехода грунтов в вязкопластическое, текучее состояние при образовании оползней внезапного разжижения в лессах, его моделирование приведено в [12, 13, 77]. Развитие этого достаточно специфического типа оползней течения описано в регионах распространения засоленных глин

морского генезиса в Канаде, Норвегии, Российской Федерации (на Кольском п-ове), а также в областях широкого распространения лессов в Центральной Азии и Китае.

На основе систематизации и обобщения многочисленных существующих подходов к выделению различных типов оползней течения, может быть предложена сводная типизация оползней течения по механизму их формирования и развития (табл. 3.).

Особое внимание учету типов грунтов, вовлекаемых в смещение, соотношению твердой и водной составляющих уделяется при типизации склоновых деформаций в субаквальных условиях, в связи с тем, что основным источником информации об их развитии служат осадочные толщи, формирование которых произошло в результате подводного оползания. Одним из примеров классификации гравитационных потоков (для субаквальных условий) является классификация, предложенная S. Shanmugam (в виде треугольной диаграммы), в которой он провел типизацию подводных смещений с учетом соотношения в составе движущейся массы обломочной, глинистой составляющей грунтов и водного компонента (рис. 20) [70]. В работах R. V. Fisher, M. A. Hampton, T. C. Pierson, D. R. Lowe, K. J. Hsü и других также можно найти анализ роли соотношения твердой и водной составляющих в характере смещения гравитационных потоков как в субаквальных, так в субаэральных условиях [64, 67–69]. T. Mulder и J. Alexander предложили обобщенную типизацию смещений в виде течения (гравитационных потоков) в зависимости от концентрации твердой составляющей в составе движущихся масс (рис. 21) [67]. В приведенной схеме делается попытка представить в виде единой классификации склоновые деформации, развивающиеся как в субаквальных, так в субаэральных условиях.

Вместе с тем необходимо отметить, что к настоящему времени, несмотря на отдельные попытки, предпринятые T. C. Pierson и J. E. Costa [69], P. Coussot и M. Meunier [53], T. Mulder и J. Alexander [67], а также рядом других исследователей, не предложено единой классификации оползней, совместно рассматривающей и структурирующей типы склоновых гравитационных процессов, развивающихся как в субаэральных, так и субаквальных условиях,

Заключение

Деформации склонов в виде течения грунтов («сухого», пластического, вязкопластического, вязкого) под воздействием гравитационных сил являются одним из основных механизмов смещения оползней, формируя отдельный класс склоновых процессов, развитых повсеместно как в субаэральных, так и субаквальных условиях. В регионах, где

в верхней части геологического разреза доминируют глинистые грунты, оползни течения являются преобладающим типом склоновых деформаций.

Формирование оползней течения обусловлено превышением величин действующих в склоновом массиве сдвиговых напряжений порога ползучести, т. е. переходом деформаций из затухающих в необратимые. В зависимости от консистенции грунтов (в субаэральных условиях) или соотношения твердой составляющей и воды (в субаквальных условиях) смещение будет происходить в виде пластического, вязкопластического или вязкого течения, скорость которого будет зависеть от вязкости оползневых масс. В то же время оползневые смещения в форме течения присущи не только водонасыщенным грунтам, но также могут развиваться в сухих песчаных и обломочных отложениях, характеризуясь определенной спецификой, требующей отдельного рассмотрения. Смещение оползней течения в целом происходит без нарушения сплошности массива в основном деформируемом горизонте, а развивающиеся вязко-

пластические деформации приурочены, в отличие от оползней скольжения и сдвига, не к плоскости, а к интервалу геологического разреза — ОДГ.

Переход к фазе течения при развитии рассматриваемых оползней может происходить длительно, с постепенным преодолением порога ползучести при накоплении напряжений, или очень быстро в условиях разрушения структуры грунтов при динамическом (в т. ч. сейсмическом) воздействии с практически мгновенным переходом их в текучее состояние — разжижением. В первом случае оползневые деформации переходят либо в стадию основных смещений, либо носят импульсный (при ведущей роли климатического фактора — сезонный) характер, а смещение оползня происходит с невысокими или относительно высокими скоростями. Во втором случае деформации сразу переходят в стадию основных смещений, характеризуясь очень высокими скоростями смещения (до первых м/сек). На практике при развитии оползней течения может наблюдаться комбинация описанных сценариев.

Таблица 3. Типизация оползней течения по механизму формирования и развития

класс	тип		подтип		разновидность		
	признак выделения	наименование	признак выделения	наименование	признак выделения	наименование	
ОПОЛЗНИ ТЕЧЕНИЯ	местоположение ОДГ	неглубокие / приповерхностные	масштабность	«пленочные»*	форма в плане	каплевидная ложкообразная (эллипсоидальная) грушевидная глетчеровидная рукавообразная	
				оплывины			
				сплывы (для регионов распространения ММП — «быстрая солифлюкция»)			
				оползни-потоки			
		глубокие	состояние перекрывающего ОДГ горизонта	без разрушения			выжимания (вал формируется преимущественно грунтами ОДГ в пластичном состоянии)
					пластического выдавливания (ядро вала формируется ОДГ в пластичном / вязкопластичном состоянии, внешняя (приповерхностная) часть вала — грунтами неразрушенного горизонта, перекрывающего ОДГ)		
					выплывания (с растеканием грунтов ОДГ и оседанием/обрушением грунтов горизонта, перекрывающего ОДГ)		
		с разур-шением			потокообразные («быстрые оползни-потоки»)		
		тип деформаций	пластические				
	вязко-пластические						
	вязкие						
	текучие						
	характер преодоления порога ползучести	постепенный					
скачкообразный («внезапного разжижения»)							
местоположение оползня	склоновые						
	«русловые» (канализованные)						
	трансформирующиеся						

* Характерны для регионов распространения ММП, формируются в результате ежесуточного смещения оттаявшего, приповерхностного слоя грунтов. Описание оползней этого подтипа можно найти в [78].

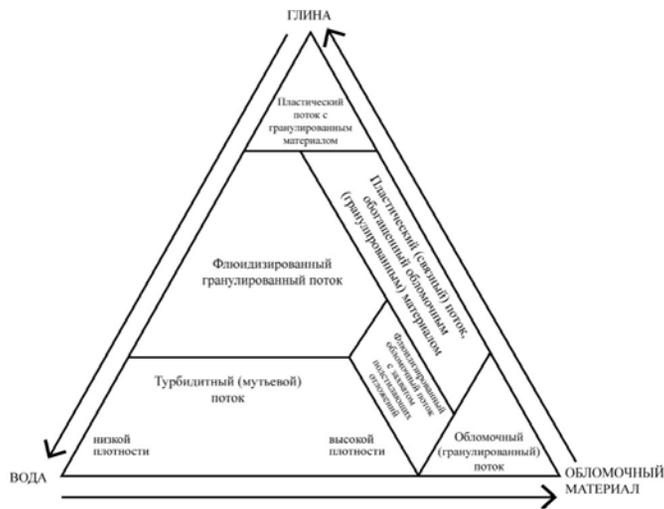


Рис. 20. Треугольная диаграмма классификации гравитационных потоков (в субаквальных условиях) (приведено по S. Shanmugam, с изменениями [70])

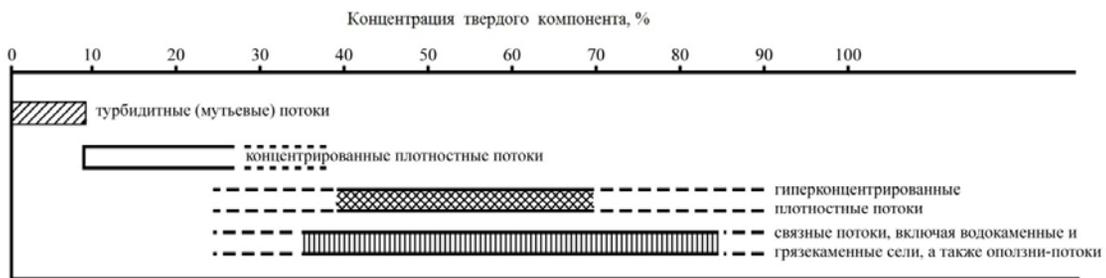


Рис. 21. Типизация гравитационных потоков (приведено по T. Mulder и J. Alexander, с изменениями [67])

По расположению в разрезе зоны деформаций — ОДГ — оползни течения подразделяются на поверхностные и глубокие. В первом случае ОДГ располагается в приповерхностной части склонового массива, а во втором — на некоторой глубине, перекрываясь горизонтом грунтов, в котором пластические, вязкопластические деформации не развиваются. При развитии глубоких оползней течения может происходить либо разрушение перекрывающего горизонта с прорывом грунтов, находящихся в вязкопластическом /вязком состоянии, с образованием протяженных оползневых языков, либо наблюдаться образование вала выпирания или выдавливания — при значительной мощности и/или достаточно высокой прочности грунтов перекрывающего горизонта.

Выделение типов, видов и разновидностей оползней течения проводится:

- по морфометрическим характеристикам (форме оползневого тела и его местоположению на склоне);
- по типу грунтов, вовлекаемых в смещение;
- по механизму перехода грунтов в вязкопластическое, текучее состояние;
- по особенностям механизма смещения, в т. ч. в зависимости от консистенции оползневых масс.

Наиболее распространенной и простой типизацией неглубоких оползней, смещение которых происходит в виде течения, является их типизация по морфометрическим характеристикам с выделением оплывин, сплывов и оползней-потоков. По форме в плане неглубокие оползни течения подразделяются на оползни ложкообразной (эллипсоидальной), каплевидной, глетчеровидной (рукавообразной) и грушевидной (с суженной горловиной) формы. Смещение оползней глетчеровидной (рукавообразной) формы может происходить как по поверхности склонов, в т. ч. с выработкой собственного ложа, так и быть приурочено к существующей эрозионной сети («канализированные» оползни). Другой достаточно простой типизацией оползней течения является их разделение по типу грунтов, вовлекаемых в смещение (в обломочно-щебенистых образованиях, в водонасыщенных песках, лессах, связных (суглинистых и глинистых) грунтах, в торфяных отложениях). По особенностям поведения грунтов в условиях динамического воздействия и механизму их перехода в «текучее» состояние выделяется специфический тип склоновых смещений — оползни внезапного разжижения (по Г. С. Золотареву и И. О. Тихвинскому) или оползни латерального растекания в «подвижных» / «чувствительных» глинах (по Д. Д. Варнсу).

Систематизация и обобщение существующих подходов к выделению различных типов оползней течения позволили предложить сводную типизацию оползней течения по механизму их формирования и развития.

Предлагаемые типизации подводных смещений разрабатываются с учетом соотношения в составе движущейся массы твердого (обломочного, глинистого) и водного компонентов. Большинство исследователей среди склоновых деформаций в субаквальных условиях различают обломочные связанные потоки, гранулированные потоки, флюидальные (суспензионные) потоки, турбидитные (мутьевые) потоки, разделяя последние на низкоплотностные и высокоплотностные. Вместе с тем в природе наблюдается множество промежуточных, переходных, «сложных» типов оползней, совмещающих в своем развитии различные признаки склоновых деформаций.

Особенности и различия в формировании оползней течения, специфика образования зон основных деформаций при развитии такого рода склоновых деформаций (в сравнении с оползнями скольжения, сдвига и др.) определяют отличные от иных подходы и требования по изучению этих типов оползней. Вместе с тем большинство методов изучения оползневых и оползнеопасных участков, приведенных в составе СП 420.1325800.2018, а также в других нормативно-технических документах, ориентировано на оценку развития, в первую очередь, оползней скольжения и сдвига. Помимо этого, необходимо отметить, что в настоящее время

практически отсутствуют методы количественных оценок устойчивости, которые бы позволяли проводить анализ возможности развития оползней течения.

Противооползневые мероприятия на участках существующего или потенциального развития оползней течения также имеют определенную специфику. Если противооползневые мероприятия в местах развития оползней скольжения/сдвига ориентированы в первую очередь на повышение удерживающих сил, то на участках развития оползней течения — на снижение обводнения склона и защиту от движущихся вязкопластических масс.

Рассмотренные в настоящей работе особенности и различия в формировании, смещении оползней течения, как самостоятельного класса склоновых деформаций, определяют различия в подходах и требованиях к изучению этих типов оползней, в т. ч. при инженерно-геологических изысканиях. При исследовании участков развития оползней течения требуется получение, как правило, более широкого набора показателей и характеристик, в определенной степени отличающихся от тех, которые необходимы при оценке оползней скольжения и сдвига. Кроме того, при анализе оползней течения важен учет применимости и ограничений тех или иных методов количественной оценки устойчивости склонов, а также предлагаемых к реализации противооползневых мероприятий, направленных на обеспечение безопасности территорий, зданий и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов С.К., Скиргелло О. Б. Оползни глетчерного типа в Среднем Поволжье и борьба с ними. // Советская геология, 1948, № 35, с. 71–82.
2. Бернацкий Л. Н. Деформации земляного полотна и борьба с ними при постройке железных дорог. М.: Тов-во Печатня С. П. Яковлева, 1915, 105 с.
3. Буцько С. С. Классификация оползней. // Ученые записки Московского областного педагогического института. Труды кафедры географического факультета, 1951, Том 17, Вып. 5, с. 144–181.
4. Варнс Д. Д. Движение склонов, типы и процессы. // Оползни: исследование и укрепление / под ред. Р. Шустера, Р. Кризека, / пер. с англ. А. А. Варги, Р. Р. Тизделя, под ред. Г. С. Золотарева. М.: Мир, 1981, с. 32–85.
5. Васин Б. Г. Морфогенетическая классификация подводных оползней (на примере верхнемеловых отложений Дагестана). // Новые данные по нефтяной геологии, гидрогеологии, геотермии и геофизике Центрального и Восточного Кавказа, № 29. Грозный, Изд-во Грозненского нефтяного института, 1968, с. 56–61.
6. Великий Г. Г. Типы оползней Левобережья Среднего Приднепровья. // Материалы Харьковского отделения географического общества Украины, 1968, Вып. 5, с. 135–141.
7. Демин А. М. Оползни в карьерах: анализ и прогноз. М.: ГЕОС, 2009, 79 с.
8. Дранников А. М. Оползни: типы, причины, меры борьбы. Киев, Изд-во Укргипросельстроя, 1956, 102 с.
9. Емельянова Е. П. Морфологическая клас-

- сификация оползневых явлений для целей инженерно-геологического картирования. // Вопросы региональной инженерной геологии и методики исследований. М.: Гостеолтехиздат, 1963, № 1, с. 82–100.
10. Зеркаль О. В. Сейсмогенные оползни Гиссарского землетрясения 1989 г., факторы их формирования и развития. // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология, 1994, № 2, с. 77–85.
 11. Зеркаль О. В. Оползни скольжения и оползни сдвига: особенности развития и типизация. // Инженерная геология, 2012, Том XVI, № 1, с. 38–58, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2021-16-1-38-58>.
 12. Зеркаль О.В., Соколов В. Н., 1995. Изменение микроструктуры пылеватых суглинков при формировании сейсмогенных оползней течения. Вестник Московского университета. Серия 4. Геология, № 6, с. 67–73.
 13. Золотарев Г.С., Гулакян К. А., Зеркаль О. В., Осюк В. А. Механизм формирования сейсмогенных оползней в лессах плато Уртабоз (Таджикистан) и экспериментальное исследование их развития. // Геоэкология, 1994, № 6, с. 80–90.
 14. Золотарев Г.С., Калинин Э. В., Шешеня Н. Л. и др. Инженерно-геологическое изучение обвалов и других гравитационных явлений на горных склонах. М.: Изд-во МГУ, 1969, 139 с.
 15. Золотарев Г.С., Янич М. Методика инженерно-геологических исследований высоких обвальных и оползневых склонов. М.: Изд-во Московского университета, 1980, 184 с.
 16. Иностранцев А. А. Геология. Общий курс. Том 1. Современные геологические явления (динамическая геология), петрография, стратиграфия. СПб.: Типография М. М. Стасюлевича, 1885, 592 с.
 17. Клевцов И. А. Оползни Северного Кавказа, их типы, условия образования и меры борьбы с ними. // Оползни и борьба с ними. Тр. Северо-Кавказского научно-производственного семинара по изучению оползней и опыта борьбы с ними. Ставрополь, 1964, с. 85–130.
 18. Клименко А.И., Царев В. П., Постоев Г. П. и др. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям на оползневых склонах Северного Кавказа с целью их хозяйственного освоения. М.: Стройиздат, 1983, 68 с.
 19. Кнорре М.Е., Абрамов С. К., Рогозин И. О. Оползни и меры борьбы с ними. М.: Стройиздат, 1951, 171 с.
 20. Круковский Г.Л., Хаджаев М. Г. Оползни Узбекистана, их типы, причины образования. // Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР. Вып. 12. Материалы Среднеазиатского совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними. Душанбе, 1968, с. 180–186.
 21. Кюнтцель В. В. Классифицирование оползней по механизму / Исследование механизма развития экзогенных геологических процессов и факторов, их обуславливающих. М.: ВСЕГИНГЕО, 1985, с. 39–45.
 22. Маслов Н. Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. Л.: Гос. энерг. изд-во, 1955. 467 с.
 23. Маслов Н. Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними). М.: Стройиздат, 1977, 320 с.
 24. Минервина Е. Е. Принципы инженерной классификации оползней. // Известия Тбилисского НИИ сооружений и гидроэнергетики, 1953, Том V, с. 61–76.
 25. Мушкетов И. В. Физическая геология. т. II. Денудационные процессы (геологическая деятельность атмосферы и подземной и проточной воды, озер, моря, снега и льда)/3^е изд. М.-Л.: Гос. изд-во, 1926, 636 с.
 26. Нифантов А. П. Оползни. Теория и практика их изучения. Л.-М.: Главная редакция геолого-разведочной и геодезической литературы, 1935, 204 с.
 27. Ниязов Р. А. Оползни в лессовых породах. Ташкент, Фан, 1974. 148 с.
 28. Орлов С.С., Тимофеева Т. А. Геодинамические процессы в Молдавии и борьба с ними. Кишинев, Изд-во «Штиинца», 1974, 71 с.
 29. Павлов А. П. Оползни Симбирского и Саратовского Поволжья. М.: Университетская тип., 1903, 124 с.
 30. Павлов А. П. Оползни около Батраков, на правом берегу р. Волги. М.: Типография товарищества А. И. Мамонтова, 1907
 31. Панюков П. Н. Краткий курс инженерной геологии. М.: Углетехиздат, 1956, 156 с.
 32. Петров Н. Ф. Оползневые системы. Сложные оползни (аспекты классификации). Кишинев: Штиинца, 1988, 225 с.
 33. Петров Н. Ф. Прикладные проблемы таксономии оползней. // Вестник Чувашского университета, 2006, № 2, с. 171–182.
 34. Пчелинцев В.Ф., Погребов Н. Ф. Оползневые явления на южном берегу Крыма. Сб. работ Оползневой станции № 3. Л.-М.: Главная редакция геолого-разведочной и геодезической литературы, 1936, 196 с.
 35. Рзаева М.К., Тихвинский И. О. О требованиях к изысканиям, проводимым для оценки устойчи-

- чивости оползневых склонов. // Проблемы грунтоведения и инженерной геодинамики. Тр. ПНИИИС, т. VII. М., 1971, с. 210–220
36. Родионов В. Е. Схема классификации оползневых явлений Черноморского побережья Кавказа по морфолого-генетическим признакам. // Разведка недр, 1937, № 22, с. 19–34.
 37. Родионов Н.В. К вопросу о классификации оползневых явлений. // Труды Московского геолого-разведочного института, 1939, т. 15, с. 197–205.
 38. Саваренский Ф. П. Инженерная геология. М.-Л.: Главная редакция горно-топливной и геолого-разведочной литературы, 1937, 422 с.
 39. Славянов В. Н. Инженерно-геологические прогнозы устойчивости откосов. М.: Госстройиздат, 1964, 155 с.
 40. Смирнов Ю.П., Булавин И. А. К проблеме классификаций континентальных оползней. // Вопросы географии и геоэкологии. Материалы 44-й научно-методической конференции «Университетская наука — региону», Ставрополь, 1999, с. 18–21.
 41. Тихвинский О. И. Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов. М.: Наука, 1988, 144 с.
 42. Тихвинский И. О. Типизация оползней. Примеры проявления оползней разного механизма. // Природные опасности России. Том 3. Экзогенные геологические опасности. М.: КРУК, 2002, с. 265–276.
 43. Федоренко В. С. Горные оползни и обвалы, их прогноз. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988, 214 с.
 44. Хворова И. В. Фации подводных гравититов // Генезис осадков и фундаментальные проблемы литологии. М.: Наука, 1989, с. 37–58
 45. Чистяков А.А., Щербаков Ф. А. Осадконакопление на подводных окраинах материке. Итоги науки и техники. Сер. Общая геология, т. 18. М., ВИНТИ, 1984, 135 с.
 46. Шадунц К. Ш. Оползни-потоки. М.: Недра, 1983, 120 с.
 47. Almagia R. Studi geografici sulle frane in Italia. // Memorie della Società Geografica Italiana, 1910, Vol. 14, № 2, pp. 4–433.
 48. Antoine P. Les problèmes posés par l'instabilité des versants de grande ampleur — aspects géologiques. // Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 1992, № . 45, pp. 9–22, <https://doi.org/10.1007/BF02594900>.
 49. Baltzer A. Über bergstürze in den Alpen. Zürich, Caesar Schmidt, 1875, 50 s.
 50. Brunsden D. Mass movement: the research frontier and beyond: a geomorphological approach. // Geomorphology, 1993, Vol. 7, No. 1–3, pp. 85–128, [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90013-R](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90013-R).
 51. Carter R.M. A discussion and classification of subaqueous mass-transport with particular application to grain-flow, slurry-flow, and fluxoturbidites. // Earth-Science Reviews, 1975, Vol. 11, № 2, pp. 145–177, [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(75\)90098-7](https://doi.org/10.1016/0012-8252(75)90098-7).
 52. Collin A. Landslides in clays/trans. by W. R. Schriever. Toronto: University of Toronto Press, 1956, 160 p. (оригинальная работа — Collin A. Recherches expérimentales sur les glissements spontanés des terrains argileux, accompagnés de considerations sur quelques principes de la mécanique terrestre. Paris, Carilian-Goeury&Damont, 1846, 168 p.)
 53. Coussot P., Meunier M. Recognition, classification and mechanical description of debris flows. // Earth-Science Reviews, 1996, Vol. 40, № 3–4, pp. 209–227, [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(95\)00065-8](https://doi.org/10.1016/0012-8252(95)00065-8).
 54. Cruden D.M., Varnes D. J. Chapter 3. Landslide types and processes. Landslides: investigation and mitigation. A. K. Turner, R.L.E. Schuster (eds). Transportation Research Board, Special Report № 247. Washington: National Academy Press, 1996, pp. 36–75.
 55. Di Crescenzo G., Santo A. Debris slides-rapid earthflows in the carbonate massifs of the Campania region (Southern Italy): morphological and morphometric data for evaluating triggering susceptibility. // Geomorphology, 2005, Vol. 66, № 1–4, pp. 255–276, <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2004.09.015>.
 56. Dikau R., Brunsden D., Schrott L., Ibsen M.-L. et al. Landslide recognition: identification, movement and causes. Chichester: John Wiley and Sons, 1996, 274 p.
 57. Dott R. H. Dynamics of subaqueous gravity depositional processes. // Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 1963, Vol. 47, № 1, pp. 104–128, <https://doi.org/10.1306/BC743973-16BE-11D7-8645000102C1865D>.
 58. Fell R., Glastonbury J., Hunter G. Rapid landslides: the importance of understanding mechanisms and rupture surface mechanics. // Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2007, Vol. 40, № 1, pp. 9–27, <https://doi.org/10.1144/1470-9236/06-030>.
 59. Hampton M.A., Lee H. J., Locat J. Submarine landslides. Reviews in Geophysics, 1996, Vol. 34, № 1, pp. 33–59, https://doi.org/10.1007/978-3-319-57852-1_13.
 60. Heim A. Über Bergstürze. Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft, Zürich, 1882, 31 s.

61. Hungr O., Evans S. G., Bovis M. J., Hutchinson J. N. A review of the classification of landslides of the flow type. // *Environmental and Engineering Geoscience*, 2001, Vol. VII, № 3, pp. 221–238, <https://doi.org/10.2113/GSEEGEOSCI.7.3.221>.
62. Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 2012, Vol. 11, Issue 2, pp. 167–194, <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>.
63. Hutchinson J. N. General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. // *Proceedings of the 5th International Symposium on landslides*, Vol. 1, Rotterdam, 1988, pp. 3–35.
64. Lowe D. R. Sediment gravity flows: their classification and some problems of application to natural flows and deposits. // *Geology of continental slopes*. / L. J. Doyle, O. H. Pilkey (eds). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 1979, № 27, pp. 75–82, <https://doi.org/10.2110/pec.79.27.0075>.
65. Masson D.G., Harbitz C. B., Wynn R. B., Pedersen G., Løvholt F. Submarine landslides: processes, triggers and hazard prediction. // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Discussion Meeting Issue “Extreme natural hazards” organized by H. E. Huppert and R.S.J. Sparks, 2006, Vol. 364, Issue 1845, pp. 2009–2039.
66. Mavrouli O., Fotopoulou S., Pitilakis K., Zuccaro G., Corominas J., Santo A., Cacace F., De Gregorio D., Di Crescenzo G., Foerster E., Ulrich T. Vulnerability assessment for reinforced concrete buildings exposed to landslides. // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2014, Vol. 73, № 2, pp. 265–289, <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0573-0>.
67. Mulder T., Alexander J. The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. // *Sedimentology*, 2001, Vol. 48, № 2, pp. 269–299, <https://doi.org/10.1046/J.1365-3091.2001.00360.X>.
68. Nardin T.R., Hein F. J., Gorsline D. S., Edwards B. D. A review of mass movement processes, sediment and acoustic characteristics, and contrasts in slope and base-of-slope systems versus canyon-fan-basin floor systems. // *Geology of continental slopes*. / L. J. Doyle, O. H. Pilkey (eds). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 1979, № 27, pp. 61–73, <https://doi.org/10.2110/pec.79.27.0061>.
69. Pierson T.C., Costa J. E., 1987. Archeologic classification of subaerial sediment-water flows. // *Debris flows / avalanches: process, recognition, and mitigation*. / J. E. Costa, G. F. Wieczorek (eds). *Reviews in Engineering Geology*, Vol. VII. Boulder: Publishing house of the Geological Society of America, 1987, pp. 1–12, <https://doi.org/10.1130/REG7-P1>.
70. Shanmugam S. High-density turbidity currents: are they sandy debris flows? // *Journal of Sedimentary Research*, 1996, Vol. 66, № 1, pp. 2–10, <https://doi.org/10.1306/D426828E-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
71. Sharpe C.F.S. *Landslides and Related Phenomena: A Study of Mass Movements of Soil and Rock*. New York: Columbia Univ. Press, 1938, 137 p., <https://doi.org/10.2307/1788849>.
72. Stiny J. *Die Muren. Versuch einer monographie mit besonderer berücksichtigung der verhältnisse in der Tiroler Alpen*. Innsbruck: Wagner, 1910, 139 s.
73. Terzaghi K. *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*, 1925, 355 s.
74. Varnes D. J. Chapter 2. Slope movement types and processes. // *Landslides — analysis and control* / R. L. Schuster, R. J. Krizek (eds). Transportation Research Board, Special Report № 176. Washington: Publishing house of the National Academy of Sciences, 1978, pp. 11–33.
75. Welbon A.I.F., Brockbank P. J., Brunsden D., Olsen T. S. Characterizing and producing from reservoirs in landslides: challenges and opportunities. // *Structurally complex reservoirs* / S. J. Jolley, D. Barr, J. J. Walsh, R. J. Knipe (eds). Special Publications № 292. London: Publishing house of the London Geological Society, 2007, pp. 49–74, <https://doi.org/10.1144/SP292.3>.
76. Zerkal O. V. Seismic landslides caused by Gissar earthquake in 1989 (Tajikistan). // *Moscow University Geology Bulletin*, 1994, Vol. 49, Issue 2, pp. 57–63.
77. Zerkal O.V., Sokolov V. N. Changes in the microstructure of silt loams during the formation of seismogenic liquefaction slides. // *Moscow University Geology Bulletin*, 1995, Vol. 50, Issue 6, pp. 59–64.
78. Zerkal O.V., Strom A. L. Classification of Cryogenic Landslides and Related Phenomena (by Example of the Territory of Russia). // *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk. Proc. 5th World Landslide Forum* / Z. Arbanas, P. T. Bobrowsky, K. Konagai, K. Sassa, K. Takara (eds). Springer, 2021, Vol. 6, pp. 377–383, https://doi.org/10.1007/978-3-030-60713-5_37.