

DOI 10.53278/2306-9139-2024-1-22-9-19

УДК 624.131.29, 581.524.323.8

ОПОЛЗНЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК ОТДЕЛЬНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ТИП ГРУНТОВ. ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ (СТАТЬЯ 1)

LANDSLIDE DEPOSITS AS A SPECIFIC GENETIC TYPE OF SOIL. THEIR CLASSIFICATION (PAPER 1)

© 2024 г. О. В. Зеркаль

© 2024 O. V. Zerkal

*Геологический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова,
Ленинские горы, д. 1, Москва, 119234, Россия
Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, bld.1, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russia*

igzov@mail.ru

Аннотация. В представленной работе рассматриваются особенности оползневых отложений, формирующихся при деформациях склонов. Сделано заключение о том, что оползневые отложения необходимо рассматривать как отдельный генетический тип грунтов. Дана классификация оползневых грунтов, включающая 3 группы и 6 подгрупп. Подразделение оползневых грунтов на группы и подгруппы проведено исходя из степени, характера сохранности/измененности строения и свойств грунтов в оползневом залежании по сравнению с первичными, исходными грунтами в коренном (несмещенном) массиве. В статье рассмотрены оползневые отложения первых двух групп грунтов, их разновидности, для которых характерны либо минимальные, либо существенные изменения строения и свойств. Приведены примеры изменения строения и свойств грунтов при оползневых смещениях.

Abstract. In the present paper, the features of landslide deposits formed during slope deformations are considered. It is concluded that landslide deposits should be considered as a specific genetic type of soils. The classification of landslide soils is given, including 3 groups and 6 subgroups. The division of landslide soils into groups and subgroups was carried out based on the degree, nature of preservation /modification of the structure and properties of soils in the landslide occurrence compared to primary, initial soils in the original (undisplaced) massif. The paper considers landslide deposits of the first two groups of soils, their varieties, which are characterized by either minimal or significant changes in structure and properties. Examples of changes in the structure and properties of soils during landslide displacements are given.

Ключевые слова: оползневые процессы, оползневые отложения, генетический тип, грунты, классификация

Keywords: landslide processes, landslide deposits, genetic type, soils, classification

Введение

Оползневые образования — генетический тип отложений, формирующийся в результате развития оползневых процессов. Оползневые деформации развиваются в массивах горных пород, сложенных грунтами различных классов — скальных (от очень прочных до малопрочных) и дисперсных (как в связных, так и несвязных), а также в мерзлых.

Несмотря на то что понятие «оползневые отложения» активно используется при описании оползней достаточно давно, их изучение в инже-

нерной геологии носило, в определенной степени, «вспомогательный» характер, ориентированный, в первую очередь, на выяснение скорее причин, характера и механизма произошедших оползневых смещений, не находясь «в центре внимания» проводимых работ. Это было связано с тем, что в большинстве случаев считалось, что территории, находящиеся в зоне воздействия оползней, и, как следствие, участки накопления оползневых отложений, с одной стороны, занимали относительно небольшие площади, не представляя интереса при

региональных геологических работах, а с другой стороны, рассматривались в качестве «неудобий» при хозяйственном освоении и, таким образом, в значительной мере находились «за рамками» научного и практического интереса инженеров-геологов, изучавших грунты как основания зданий и сооружений. Вместе с тем, в последние годы участки развития оползневых процессов и, как следствие, широкого распространения оползневых отложений все более активно вовлекаются в хозяйственное освоение, что дало толчок изучению оползневых образований.

В настоящей работе будут рассмотрены особенности оползневых отложений и их разновидностей.

История изучения и подходы в исследованиях оползневых отложений.

А. П. Павлов одним из первых, изучая оползни Симбирского и Саратовского Поволжья, предложил выделять отложения, формирующиеся при оползании, в самостоятельный генетический тип геологических образований — деляпсий [20]. Позднее Е. В. Шанцер, рассматривая генетические типы отложений склонового ряда в составе континентальных образований, также выделяет отдельно оползневые отложения, определяя их вслед за А. П. Павловым как деляпсий, но отделяя деляпсий от солифлюкционных накоплений [24]. Вместе с тем, в большинстве работ ведущих специалистов, изучавших оползни: Г. С. Золотарева, Е. П. Емельяновой, В. С. Федоренко, Дж. Хатчинсона, О. Хангра и многих других — солифлюкционные деформации рассматриваются как разновидность оползневых смещений [6, 12, 22, 26, 27]. Именно эта точка зрения была принята при подготовке настоящей статьи.

В настоящее время, предложенные Е. В. Шанцером генетические типы отложений, образование которых происходит в результате развития оползневых и других склоновых процессов, активно используются при региональном изучении и картировании четвертичных отложений [18]. Начиная с середины XX в., в рамках геологических исследований (региональной и исторической геологии, литологии) выделяется, активно изучается особый тип геологических образований, характеризующихся масштабами, позволяющими их выделять и картировать при региональных работах, обозначаемых термином «олистостром» (термин ввел Ж. Флорес в 1955 г.), формирование которых обусловлено развитием в геологической истории гравитационных, в первую очередь, оползневых процессов [3, 16, 25]. В зарубежных работах как синоним термина «олистостром»

нередко используется термин «седиментационный меланж» (англ. «sedimentary mélanges»), подчеркивая его генезис и отличая от тектонического меланжа [28]. Вместе с тем, в большинстве работ принимается точка зрения, что формирование олистостромовых толщ происходило исключительно в морских условиях [19, 21], с чем сложно согласиться, сопоставляя «седиментационный меланж» с современными оползневыми образованиями, формирующимися при смещении каменных лавин — одного из наиболее крупномасштабных проявлений оползневых процессов. Одно из следствий такой точки зрения — деляпсий и другие генетические типы гравитационных отложений (по Е. В. Шанцеру) рассматриваются как континентальные образования, а для олистостромовых толщ принимается факт их накопления исключительно в морских условиях. Следствием этого является то, что описанные два направления геологического изучения оползневых отложений до настоящего времени развиваются, фактически «не пересекаясь».

Классификация оползневых отложений.

В целом, отложения в оползневом залегании могут быть разделены¹ на три группы по степени, характеру сохранности/измененности первичного строения смещающихся пород, определяющего их состав, состояние и свойства как грунтов оползневого генезиса (табл. 1). В настоящей статье рассматриваются оползневые отложения первых двух групп грунтов, для которых характерны либо минимальные, либо существенные изменения строения и свойств по сравнению с грунтами в коренном (несмещенном) массиве. Грунты в оползневом залегании, отнесенные к III группе, характеризующиеся полным изменением строения и свойств при смещениях, будут рассмотрены дополнительно, более подробно, во второй статье.

К I группе относятся грунты, отличающиеся относительной высокой сохранностью первоначального строения и состояния в смещающемся массиве, как правило, представляющие собой перемещающиеся под действием силы тяжести оползневые блоки, сложенные грунтами со строением и свойствами, близкими к исходному коренному массиву. Описание особенностей грунтов различного генезиса в коренном залегании приведено в соответствующих монографиях (например, [5]). Также в I группу входят грунты, слагающие различного рода зоны ослабления (в т.ч. зоны трещиноватости) в коренных отложениях в пределах оползнеопасных склонов, формирующихся на стадии подготовки смещений.

¹ В дополнение к Классификации грунтов, согласно ГОСТ 25100-2020 [4].

Таблица 1. Классификация оползневых грунтов

Группа	Подгруппа (фация)	Изменения*)	Описание оползневых грунтов
I		минимальные	Грунты с относительно высокой сохранностью первоначального строения, состояния и свойств по сравнению со строением и свойствами грунтов в коренном (несмещенном) массиве. Слагают оползневые блоки.
II	IIa	существенные	Грунты зон разрушающих деформаций (зон скольжения). Образуют маломощные (первые см – десятки см) горизонты, имеющие (в разрезе) либо линейную, либо круглоцилиндрическую форму**). Существенная изменчивость свойств.
	IIб		Грунты оползневых масс, испытавших существенную трансформацию (с изменением их состава, состояния и свойств) при оползневых смещениях (как правило, в виде вязкого, вязко-пластического или пластического течения). Существенная изменчивость свойств.
III	IIIa (панцирная, мегакластовая)	полная трансформация (с изменением класса грунтов)	Крупнообломочные грунты (глыбовые до мегакластовых) с хаотическим или чешуйчатым расположением блоков с незначительным содержанием матрикса и с отдельными включениями грунтов подгруппы IIa. Полная изменчивость свойств (по сравнению с первичными скальными/полускальными грунтами).
	IIIб (матрично-обломочная, фация оползневого меланжа)		Неоднородные щебенистые и дресвяно-щебенистые грунты, в которых преобладающий (по содержанию) обломочный материал располагается в матриксе песчаного или песчано-пылеватого состава с включением мозаично дезинтегрированных глыб («фантомные» блоки). Для первично слоистых толщ (в коренном (несмещенном) массиве) характерны структуры дезинтеграции слоев, их разлинзования, выклинивание и локальные несогласия, «сморщивание»/смятие отдельных прослоев, «колобки» («оторванные» и скрученные прослои). Полная изменчивость свойств (по сравнению с первичными скальными/полускальными грунтами).
	IIIв (обломочно-матричная, базовая фация оползневого меланжа)		Однородные и неоднородные (осложненные инъектированием разнородного материала, «факельными» структурами (выжимания)) супесчано-суглинистые грунты с включением щебня и дресвы (в т.ч. с образованием «пудинговых» текстур). Полная изменчивость свойств (по сравнению с первичными скальными/полускальными грунтами).

*) По сравнению со строением и свойствами скальных и полускальных грунтов в коренном (несмещенном) массиве.
**) Линейная форма типична для оползней сдвига, а круглоцилиндрическая форма характерна для оползней скольжения. Различия оползней сдвига и оползней скольжения детально описаны в [7].

Таблица 2. Характер изменений строения грунтов (группа IIб и IIIб), вызванных оползневыми смещениями

Тип текстуры (мезоуровень)	Краткая характеристика текстуры	Краткая характеристика изменений текстуры, вызванных оползневыми смещениями
Беспорядочная	Преимущественная пространственная ориентация структурных элементов отсутствует	На фоне беспорядочного распределения в пространстве отдельных структурных элементов в области оползневых смещений наблюдается зона с упорядоченным расположением структурных элементов мощностью от первых см до десятков см
Упорядоченная слоистая	Основная часть структурных элементов имеет преимущественную субпараллельную пространственную ориентацию	На фоне упорядоченно ориентированных структурных элементов, в т. ч. собранных в слои, в области оползневых смещений наблюдается зона с иной (по направлению, зачастую, секущей), как правило, более высокой ориентацией, нередко слагаемая более диспергированными структурными элементами мощностью от первых сантиметров до десятков сантиметров
Слоисто-упорядоченная	Структурные элементы собраны в слои, внутри которых имеется преимущественно субпараллельная пространственная ориентация, характер которой изменяется на границе слоев, где также может изменяться содержание алевро-пелитовых элементов	В области оползневых смещений наблюдается зона разрушения блоков с упорядоченным расположением структурных элементов мощностью от первых сантиметров до десятков сантиметров
Фантомно-блочная	Структурные элементы собраны в мозаичные блоки (разбиты трещинами на отдельные части, но прослеживается исходная непрерывность), внутри которых имеется определенная пространственная ориентация, границы блоков подчеркиваются резкой сменой ориентации структурных элементов	В области оползневых смещений наблюдается зона разрушения блоков с упорядоченным расположением структурных элементов мощностью от первых сантиметров до десятков сантиметров
Пятнистая	Структурные элементы, собранные в блоки, распределенные неравномерно, в виде отдельных скоплений, располагаются в матрице из структурных (диспергированных) элементов, имеющих преимущественную пространственную ориентацию	В матрице упорядоченно ориентированных структурных элементов в области оползневых смещений наблюдается зона с иной (по направлению, зачастую, секущей), как правило, более высокой ориентацией, нередко слагаемая более диспергированными структурными элементами, для которой характерно разрушение блоков и первичных структурных элементов, мощность зоны от первых сантиметров до десятков сантиметров

Ко II группе относятся грунты, характеризующиеся значительным изменением своего строения, состояния и свойств при развитии оползневых смещений. В составе оползневых грунтов II группы может быть выделено две подгруппы отложений:

- подгруппа IIa — грунты зон разрушающих деформаций (зон скольжения, сдвига, ползучести и т.д.);

- подгруппа IIб — грунты оползневых масс, испытавших существенную трансформацию (с изменением их состава, состояния и свойств) при оползневых смещениях.

Грунты подгруппы IIa образуют маломощные горизонты (первые сантиметры, десятки сантиметров) в основании оползневых блоков.

Как правило, грунты подгруппы IIб формируются при оползневых деформациях течения (пластического, вязко-пластического, вязкого). Генетический подтип отложений, образующийся в результате такого рода оползневых смещений, получил наименование «флювиоделепсия» [3]. Грунты подгруппы IIб образуют разномасштабные геологические тела протяженностью (по направлению смещения) от десятков метров до первых километров, а в отдельных, редких случаях — до первых десятков километров, мощность которых может составлять первые метры или десятки метров.

Оползневые грунты подгруппы IIа. Общими закономерностями строения оползневых разностей грунтов подгруппы IIа являются:

- существенно более высокая упорядоченность ориентированных структурных элементов (в т.ч. прослеживаемая на макроуровне) по сравнению с первичной текстурой отложений в коренном залегании;
- более высокая диспергированность структурных элементов, наличие разрушенных блоков структурных элементов и структурных элементов минералов.

Как правило, ориентировка длинных осей образующихся структурных элементов в зонах разрушающих оползневых деформаций совпадает с ориентировкой направления оползневых смещений (рис. 1). В результате в зоне разрушающих деформаций при оползневых смещениях в скальных и полускальных грунтах, глинистых грунтах твердой, полутвердой консистенции образуются притертые, отполированные поверхности — зеркала скольжения (рис. 2). В сложноорганизованных оползневых массивах с многочисленными зеркалами скольжения оползневая толща приобретает брекчиевидный облик.

Проведенное изучение микростроения грунтов², выполненное для глин подмосковной свиты на оползневом участке «Воробьевы горы» (г. Москва), отобранных как в ненарушенной части склонового массива, так и в зоне разрушающих деформаций при оползневых смещениях, преимущественно в интервалах зон скольжения, позволило выявить произошедшие изменения в микростроении грунтов (рис. 3) [9].

Для глин подмосковной свиты в ненарушенном состоянии характерна беспорядочная матричная микроструктура (рис. 3а). Оползневые деформации оказали существенное влияние на микростроение этих грунтов. Непосредственно в пределах плоскостей смещения (зеркал скольжения) (рис. 3б)



Рис. 1. Зона скольжения (ширина порядка 8 см) в основании оползневого блока в нижнеюрских алевролитах (Красная Поляна), слагаемая оползневыми грунтами (оползневые грунты подгруппы IIа), сформировавшимися в зоне разрушающих деформаций при смещении.

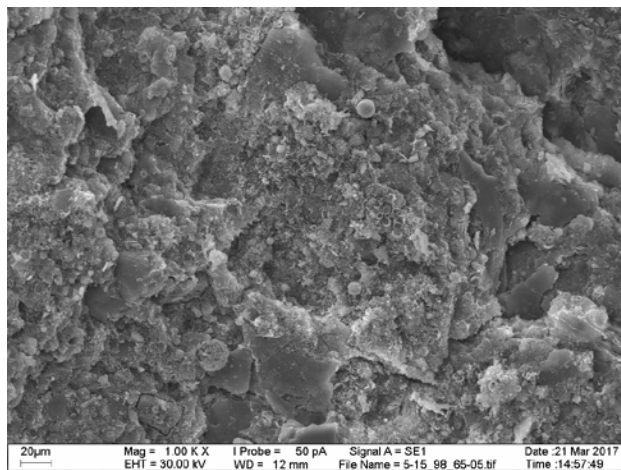


Рис. 2. Вид зеркала скольжения в глинах подмосковной свиты (J3pdm), оползневой участок «Воробьевы горы», г. Москва.

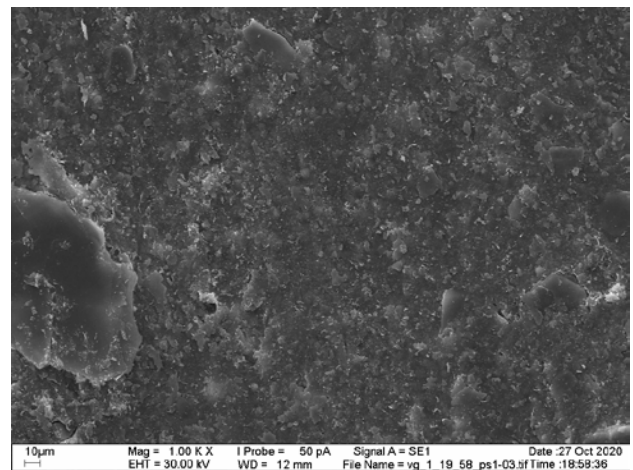
в результате переориентации глинистых частиц и микроагрегатов, приобретающих направление параллельно плоскости сдвига, происходит полная перестройка микростроения с образованием высокоориентированной микроструктуры.

Из-за произошедшей перестройки формируются поверхности, выполненные тонкими «чешуйками», представляющими собой глинистые микроагрегаты. Толщина зон с высокоориентированной микроструктурой, образующих «плоскости» скольжения, оценивается в несколько десятков микрон [9]. На описываемых поверхностях при небольших увеличениях можно увидеть субпараллельные микроборозды, образование которых, по-видимому, обусловлено

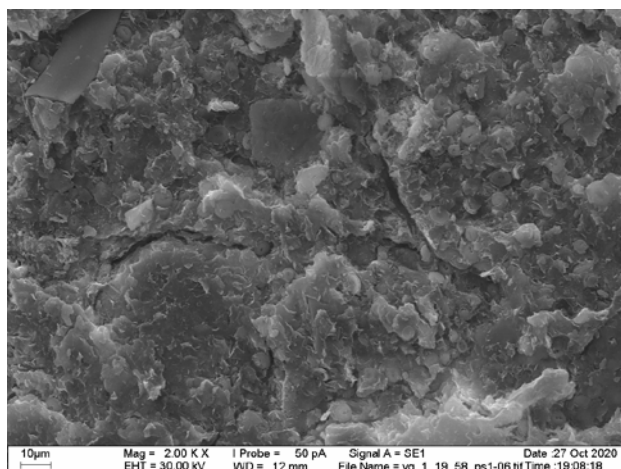
² Электронно-микроскопическое изучение грунтов выполнено с.н.с. М. С. Черновым.



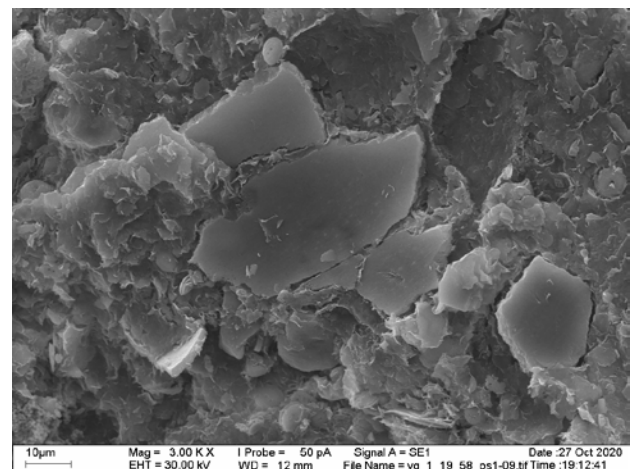
а. x1000



б. x1000



в. x2000



г. x3000

Рис. 3. Микростроение глин подмосковной свиты и его изменение в зоне разрушающих деформаций при оползневых смещениях (приведено по [9]).

а – ненарушенное залегание; б – непосредственно в пределах зоны деформаций (зеркала скольжения), вид перпендикулярно плоскости скольжения; в – в зоне влияния деформаций при смещениях (вне плоскости смещения); г – разрушенное зерно в пределах зоны деформаций

последующими механическими перемещениями по зоне скольжения. Вне пределов собственно плоскостей смещения также фиксируются изменения в микростроении по сравнению с микростроением глин в ненарушенном состоянии. В матричной микроструктуре наблюдается появление разноориентированных микротрещин (рис. 3в), а также механически разрушенных зерен и микроагрегатов (рис. 3г).

Изучение минерального состава³ глин подмосковной свиты показало, что в коренном залегании содержание глинистых минералов в составе отложений свиты составляет (в среднем) до 27% с преобладанием смектита и гидрослюд при существенной роли каолинита. В пределах плоскостей

смещения (в виде зеркал скольжения), выявленных в толще глин подмосковной свиты, доля глинистых минералов понижается до ~20%. Суммарное содержание кварца и плагиоклазов в подмосковных глинах составляет порядка 21–22%, а карбонатов — до 32%, оставаясь практически неизменным в пределах плоскостей смещения. Заметным в составе отложений подмосковной свиты является содержание пирита (до 15% и более), доля которого в пределах плоскостей смещения существенно возрастает.

Исследование особенностей физико-механических свойств глинистых грунтов в зонах разрушающих деформаций при оползневых смещениях (подгруппа IIa) показало, что в пределах зон

³ Исследования грунтов методом рентгеновской дифрактометрии выполнено ст. преп. В. Л. Косоруковым.

деформаций отмечается разуплотнение грунтов, которое сопровождается понижением плотности грунтов (по сравнению с отложениями в ненарушенной части склона) на 3–5%, в отдельных случаях — до 10%. При этом, также отмечается изменение прочностных характеристик грунтов при оползании (табл. 3).

Следует отметить, что изучение изменчивости прочностных характеристик глинистых грунтов подгруппы *IIa* сопряжено с трудностями, обусловленными их малой мощностью в естественном залегании (первые сантиметры) и, как следствие, сложностью проведения пробоотбора. Поэтому для оценки прочностных характеристик глинистых грунтов подгруппы *IIa* (грунтов в зоне разрушающих деформаций), как правило, используют испытания на сдвиг по предварительно подготовленной (или существующей) поверхности (при естественной влажности или при дополнительном увлажнении) — сдвиг по схеме «плашка-по-плашке». Для этого, как правило, выполняется повторный сдвиг по поверхности ранее выполненного сдвига без или с дополнительным увлажнением. Падение величин сцепления в зонах разрушающих деформаций (зонах скольжения, сдвига) может достигать 60–70% относительно значений, полученных для грунтов подгруппы *I* в примыкающих к зоне деформаций участках (зонах ослабления), и от 75% до более 90% относительно величин сцепления, характерных для глинистых грунтов в ненарушенном оползевыми деформациями залегании (табл. 3). Изменения значений углов внутреннего трения для грунтов

в зонах разрушающих деформаций может составлять от незначительных величин до 25–35%.

Оползневые грунты подгруппы IIб.

В таблице 2 приведено описание характера изменений строения грунтов в зонах разрушающих деформаций (подгруппа *IIб*), формирующихся при оползневых смещениях. В составе грунтов рассматриваемой подгруппы, в зависимости от исходного состояния отложений в период оползневого смещения (в форме течения), могут быть выделены две разновидности:

- *разновидность IIб₁* — грунты (как правило, глинистые), вовлеченные в оползневые смещения, характеризовались избыточным увлажнением и имели текучую консистенцию;
- *разновидность IIб₂* — грунты, вовлеченные в оползневые смещения, характеризовались существенным увлажнением и имели пластичную (пластичную (для супесчаных грунтов), мягкопластичную или текучепластичную) консистенцию.

Грунты *разновидности IIб₁* формируются при образовании различных типов «быстрых» оползней течения (сплывов и оползней-потоков, оползней внезапного разжижения, «быстрой» солифлюкции в областях развития многолетнемерзлых пород), смещение которых происходит в виде вязкого, реже вязко-пластического, течения со скоростями до 1–4 м/с. При перечисленных типах оползней грунты оползневых масс пребывают в относительно гомогенном, пастообразном состоянии, эффективная

Таблица 3. Изменчивость физико-механических свойств глинистых грунтов при оползневых смещениях в зоне разрушающих деформаций (подгруппа *IIa*)

	Плотность грунтов, г/см ³	Пористость, %	Прочностные свойства			
			В ненарушенном сложении		По подготовленной, смоченной поверхности	
			С, МПа	φ, град	С, МПа	φ, град
Оползневой участок «Кабардинка» (Черноморское побережье Кавказа)						
Несмещенные аргиллиты известковистые (K ₂ km ₂)	2,18–2,24	19–23	0,093–0,116	15–23	–	–
Аргиллиты известковистые в зоне разрушающих деформаций	2,11–2,22	27–39	0,020–0,033	22–27	0,007–0,013	17–27
Оползневой участок «Воробьевы горы» (Москва)						
Несмещенные глины (J ₃ ox)	1,77–1,83	46–55	0,093–0,129	14–18	–	–
Глины в зоне разрушающих деформаций	1,58–1,75	50–58	0,076–0,105	14–19	0,022–0,032	9–12
Оползневой участок в г. Ульяновске*)						
Несмещенные нижнемеловые глины (K ₁ h-br)	1,85–2,03	41–44	0,58–1,38	12–18	–	–
Глины в зоне разрушающих деформаций	1,75	54	0,018	7	–	–

*) по данным Л.А. Аносовой [1].



а. x250



б. x1000

Рис. 4. Матрично-скелетная микроструктура моренных суглинков ненарушенной части склона.

вязкость которых в момент смещения составляет порядка 10^4 Па*с [13].

Крупномасштабные оползни указанных типов «быстрых» оползней течения, как правило, развиваются в молодых (четвертичных) глинистых отложениях морского («чувствительные» глины), аллювиального генезиса, а также континентальных (субаэральных) пылеватых суглинках, склонных к тиксотропному разжижению в водонасыщенном состоянии при динамическом воздействии [29]. Формирующиеся в этом случае оползневые глинистые грунты характеризуются на макроуровне однородной текстурой, в отдельных случаях со щелевидными макропорами. Вместе с тем, изучение микростроения оползневых грунтов, а также слагающих отложения «быстрых» оползней течения сильно водонасыщенных грунтов (при $W_e \gg W_L$; $I_L > 1,0$) показало, что для них типичны ячеисто-скелетная или псевдоячеистая микроструктуры независимо от исходного микростроения [10, 31]. Для микростроения этой разновидности оползневых грунтов характерно наличие разрушенных глинистых микроагрегатов, частичное удаление с поверхности зерен неглинистых минералов глинистых рубашек, присутствие беспорядочно ориентированных пластинчатых микроагрегатов.

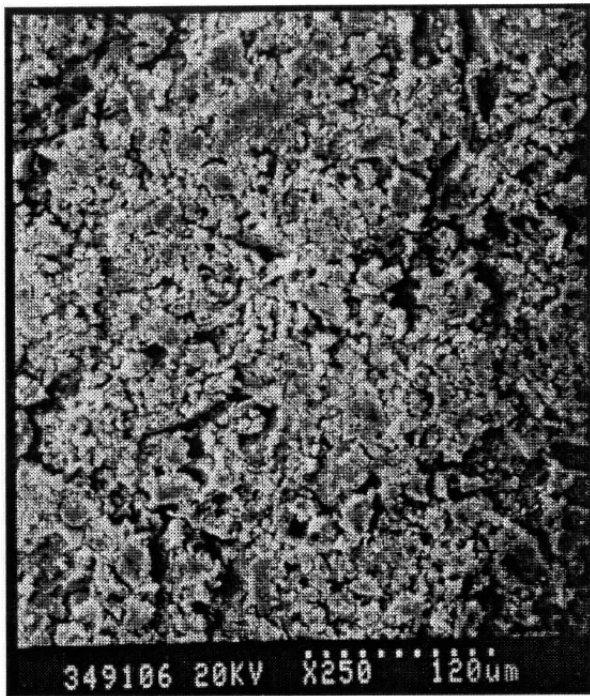
Грунты *разновидности Пб₂* образуются при различных типах оползней течения, движение кото-

рых происходит в виде вязко-пластического или пластического течения со скоростями в период активной фазы смещения от мм/сут — первых см/сут до м/сут. Эффективная вязкость грунтов оползневых масс в момент движения составляет 10^8 – 10^{14} Па*с [17, 23]. Начало такого рода оползневых смещений обусловлено созданием в склоновом массиве напряжений, в первую очередь сдвиговых (τ), величина которых больше чем порог ползучести глин (τ_{lim}) [8].

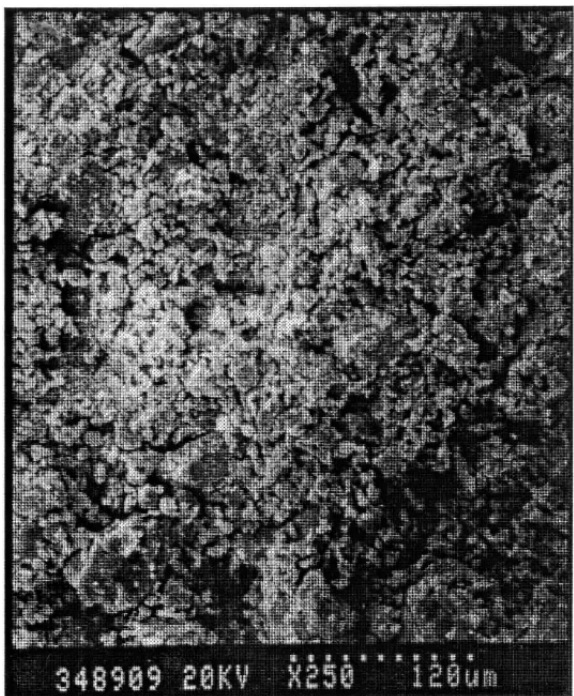
В строении первично слоистых глинистых толщ, оползание которых происходит в виде пластического течения, при смещениях могут формироваться четко различаемые на макроуровне различного рода нарушения строения — «сморщивание» отдельных прослоев, различного рода смятия, «колобки» (оторванные и скрученные прослои) [2].

Проведенное изучение изменчивости микростроения в теле оползня пластического течения по направлению его смещения позволило проследить механизм формирования оползневых глинистых грунтов *разновидности Пб₂*. Исследованный оползень образовался в моренных суглинках московского оледенения в 1996 г. в долине р. Калужки (Калужская обл.) [11, 31]. Ненарушенные моренные суглинки имели матрично-скелетную микроструктуру⁴, сформированную глинисто-пылеватой матрицей, сложенной неориентиро-

⁴ Электронно-микроскопическое изучение грунтов выполнено проф. В. Н. Соколовым.

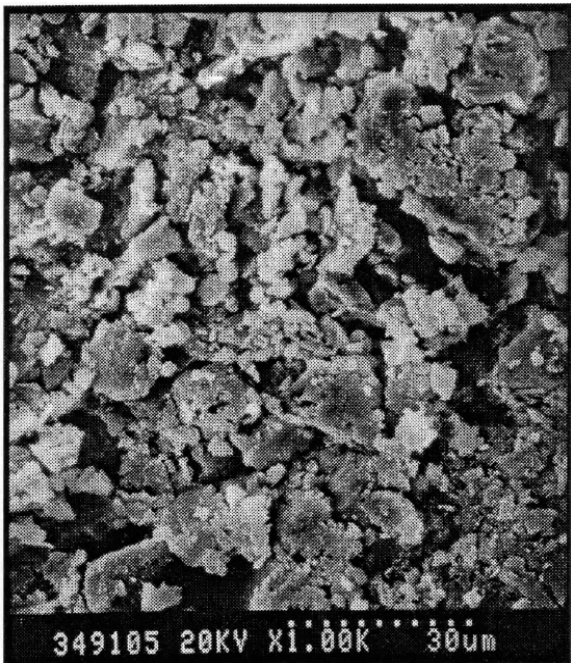


а. x250



б. x250

Рис. 5. Формирование крупных агрегатов (от 100–120 мкм до 200 мкм) в микроструктуре грунтов, вовлеченных в оползневые деформации течения, и их трансформации по мере удаления от головной части оползня.



а. x1000



б. x1000

Рис. 6. Измененная при оползании микроструктура суглинков.

- а. Строения крупных агрегатов, формирующихся в микроструктуре грунтов, вовлеченных в оползневые деформации течения
- б. Вблизи краевых частей агрегатов отмечаются многочисленные минеральные зерна, носящие следы механического разрушения. Друг от друга микроагрегаты отделяются узкими щелевидными порами.

Таблица 4. Изменчивость физико-механических свойств глинистых оползневых грунтов южного склона Крымских гор (разновидность Пб2) (приведено по [14])

Плотность грунтов, г/см ³	Пористость, %	Пластичность			Прочностные свойства			
		W _p	W _L	I _p	В ненарушенном сложении		По подготовленной, смоченной поверхности	
					С, МПа	φ, град	С, МПа	φ, град
$\frac{2,23}{2,00 - 2,40}$	$\frac{28}{22 - 34}$	$\frac{20}{18 - 26}$	$\frac{32}{28 - 35}$	$\frac{11}{5 - 21}$	0,045–0,15	8–36	0,01–0,037	2–11

В числителе — среднее значение, в знаменателе — интервал изменчивости

Таблица 5. Изменчивость физико-механических свойств глинистых грунтов при оползневых смещениях (разновидность Пб2)

	Плотность грунтов, г/см ³	Пористость, %	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град
Оползневой участок «Бекетово-Оползневое» (Южный берег Крыма)				
Несмещенные аргиллиты и алевролиты (Т ₃ -J ₁ tv)	2,25–2,40	17–27	0,062–0,28	26–32
Смещенный деялспий — суглинок с включениями дресвы и щебня аргиллитов и алевролитов	2,07–2,19	38–48	0,05–0,076	23–26
Перевальный участок автодороги Джугба — Сочи ¹⁾				
Юрские аргиллиты в коренном залегании	1,65	33,4	0,021	21
Юрские аргиллиты из расчистки в оползневом откосе	2,24–2,31	15–17	0,005–0,008	28–34
Криптомактровые глины (N ₁ ³⁾ Предкавказья ²⁾				
Глины в коренном залегании	1,92	47	0,05	8
Смещенный деялспий	1,77–1,87	31–43	0,024	13

¹⁾ по данным К.Ш. Шадунца [23]
²⁾ по данным А.И. Клименко и Л.С. Мамалыгиной [15]

ванными, равномерно расположенными в пространстве микроагрегатами глинистых частиц изометричной формы и тонкими пылеватыми кварцевыми зёрнами размером до 15 мкм, а также включениями более крупных песчано-пылеватых зёрен (рис. 4).
В оползневом языке, по мере удаления от головной части оползня, были прослежены прогрессивно накапливающиеся изменения в строении оползневых грунтов. Несмотря на некоторое уплотнения грунта, по мере оползания микро- структура постепенно теряла свою сплошность. На некотором расстоянии от стенки отрыва оползня в микростроении грунтов отмечается появление отчетливо выделяемых довольно крупных агрегатов (от 100–120 мкм до 200 мкм) изометричной угловатой формы, сложенных микроагрегатами глинистых частиц и пылевато-песчаными зёрнами, которые отделены друг от друга щелевидными порами протяжённостью до 120–160 мкм, шириной до 20–25 мкм и участками более тонкодисперсной рыхлой матрицы (рис. 5а). По мере удаления от стенки отрыва по направлению движения оползня форма агрегатов изменяется. Они

приобретают менее угловатые очертания, их облик становится более сферическим, схожим с формой «окатанной гальки» (рис. 5б). Более детальное рассмотрение строения агрегатов показывает, что в внутри они имеют строение близкое к первичному (рис. 6а). В то же время вблизи краевых частей агрегатов отмечаются многочисленные минеральные зерна, носящие следы механического разрушения (рис. 6б). Во многих местах прослеживается разрушение глинистых рубашек на поверхности минеральных зерен. При этом по направлению смещения в оползневых грунтах наблюдается закономерное уменьшение их пористости от 42% (вблизи стенки отрыва) до 33% (во фронтальной части оползневого языка).
Таким образом, полученные результаты изучения изменчивости микростроения грунтов разновидности Пб₂ в теле оползня пластического течения по направлению его смещения показало, что оползневые деформации (при $W_e \leq W;$ $0,5 < I_L < 1,0$) в значительной мере происходят в виде перемещения, «проскальзывания» относительно друг друга крупных агрегатов мелкopesчанистой- крупнопылевой размерности, сложенных микро-

агрегатами глинистых частиц и неглинистых минералов, образующихся при дезинтеграции грунтов на начальной стадии потери устойчивости склоном [11, 30, 31].

Исследование особенностей изменчивости физико-механических свойств грунтов при оползневых смещениях (подгруппа IIб₂) показало, что для оползневых грунтов отмечается разуплотнение, сопровождающееся, как правило, понижением плотности грунтов по сравнению с отложениями в ненарушенной части склона (табл. 4 и 5). Однако в отдельных случаях, когда грунты в ненарушенном залегании характеризуются значительной пористостью (например, лессы) или трещиноватостью, при оползневых смещениях может происходить уплотнение грунтов (табл. 5). При этом по мере удаления от стенки отрыва наблюдается постепенное повышение плотности грунтов при смещении за счет уплотнения дезинтегрированного материала. Вместе с тем прочностные показатели оползневых грунтов, как правило, существенно более низкие по сравнению с грунтами в ненарушенной части склона. Отмечается снижение величин сцепления на порядок и более, увеличение значений угла внутреннего трения на 30–40% (табл. 4 и 5).

Формирующиеся в этом случае оползневые грунты характеризуются на макроуровне либо однородной текстурой, в случае развития смещений в первично однородных толщах, либо обломочно-матричной (пудинговой) текстурой, когда в оползневые смещения вовлекаются толщи, включающие прослои скальных и полускальных грунтов (песчаников, мергелей и т.д.). Во втором случае плохо окатанный обломочный материал (в виде мелких глыб, щебня, дресвы) оказывается хаотично распределен в супесчано-суглинистой матрице.

Заключение

Оползневые отложения, формирующие геологические тела, образующиеся в результате развития в склоновых массивах смещений под действием гравитационных сил, необходимо рассматривать как отдельный генетический тип грунтов. Основаниями выделения оползневых отложений в самостоятельный тип грунтов, а также дальнейшей их классификации являются особенности происхождения этих грунтов, зависящие от механизма смещений, отличия их состава, строения и свойств по сравнению с грунтами в ненарушенном (до оползания) залегании, а также специфичность (форм, размеров, конфигурации) образуемых геологических тел, характеризующихся собственным строением и границами.

Проведенный анализ характера сохранности/изменения строения и свойств грунтов в оползневом залегании по сравнению с первичными, исходными грунтами в коренном (несмещенном) массиве позволил выделить 3 группы и 6 подгрупп оползневых грунтов при их классифицировании. Для грунтов I группы характерны высокая сохранность и минимальная изменчивость строения и свойств оползневых грунтов по сравнению с грунтами в коренном (несмещенном) массиве. В грунтах II группы являются типичными существенные изменения строения и свойств оползневых грунтов по сравнению несмещенными (исходными) грунтами. Оползневые грунты III группы характеризуются полной трансформацией строения (с изменением класса грунтов) и значительным изменением свойств.

Приведенные примеры изменения строения и свойств оползневых грунтов II группы при развитии склоновых процессов, подтверждают сделанные выводы о разнообразии грунтов, формирующихся при оползневых деформациях склонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аносова Л. А. Изменение состава и деформационного поведения глин при оползневых процессах. — М.: Наука, 1966. — 80 с.
2. Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Ч. 1. Обломочные и глинистые породы / сост. Е. В. Дмитриева, Г. И. Ершова, Е. И. Орешникова под рук. М. Ф. Викуловой, А. В. Хабакова. — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — 730 с.
3. Геологический словарь. В трех томах. 3-е изд., перераб. и доп. / Гл. ред. О. В. Петров. Т. 2. «К-П». — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. — 480 с.
4. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. — М.: Стандартиформ, 2020. — 40 с.
5. Грунтоведение: учебник под ред. В. Т. Трофимова. 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГУ, 2005. — 1024 с.
6. Емельянова Е. П. Основные закономерности оползневых процессов. — М.: Недра, 1972. — 308 с.
7. Зеркаль О. В. Оползни скольжения и оползни сдвига: особенности развития и типизация // Инженерная геология. — 2021. — Том XVI. — № 1. — С. 38–58.
8. Зеркаль О. В. Оползни течения: роль строения массивов грунтов в их формировании, особенности развития и типизация // Грунтоведение. — 2022. — № 1(18). — С. 3–23.
9. Зеркаль О. В., Самарин Е. Н., Чернов М. С., Аверин И. В., Новиков П. В. Изменение состава

- и строения юрских глин в зоне оползневых смещений на участке «Воробьевы горы» (Москва) // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения. Вып. 23: / Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии (31.03–01.04.2022 г.). — М.: Изд-во «ГеоИнфо», 2022. — С. 175–181.
10. Зеркаль О. В., Соколов В. Н. Изменение микроструктуры пылеватых суглинков при формировании сейсмогенных оползней течения // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. — 1995. — № 6. — С. 67–73.
11. Зеркаль О. В., Соколов В. Н., Петренко А. С. Модель формирования микроструктуры грунтов в оползнях течения // Генезис и модели формирования свойств грунтов / Материалы Межд. научн. конф. (Москва, 26–27.05.98). — М.: Изд-во МГУ, 1998. — С. 108–109.
12. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика. — М.: Изд-во МГУ, 1983. — 328 с.
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. Инженерная геологии СССР. Том 8. Кавказ, Крым, Карпаты. — М.: Изд-во МГУ, 1978. — 366 с.
15. Клименко А. И., Мамалыгина Л. С. Поверхности и зоны ослабления в структуре склонов Предкавказья как критерий оползнеопасности // Научно-методические основы инженерных изысканий в Предкавказье. — М.: ПНИИИС, 1983. — С. 15–29.
16. Леонов М. Г. Олисторомы в структуре складчатых областей. — М.: Наука, 1981. — 175 с. (Тр. ГИН, выпуск 344).
17. Маслов Н. Н. Длительная устойчивость в деформациях смещения подпорных сооружений. — М.: Энергия, 1968. — 160 с.
18. Методическое пособие по составлению мелко-масштабных карт четвертичных образований к Госгеолкарте-1000/3 / Под ред. Е. А. Мининой, В. В. Старченко. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. — 190 с.
19. Ненахов В. М., Лыточкин В. Ю., Перфильев А. С., Кузнецов Л. В. Олисторомы, их генезис и особенности строения. // Геологическое картирование хаотических комплексов. — М.: Роскомнедра-Геокарт, 1992. — С. 11–43.
20. Павлов А. П. Оползни Симбирского и Саратовского Поволжья. — М.: Универс. типогр., 1903. — 124 с.
21. Стоу Д. А. В. Морские глубоководные терригенные отложения // Обстановки осадконакопления и фации: В 2-х т. Пер. с англ./Под ред. Х. Рединга. — М.: Мир, 1990. — Т. 2. — С. 141–194.
22. Федоренко В. С. Горные оползни и обвалы, их прогноз. — М.: Изд-во МГУ, 1988. — 214 с.
23. Шадунц К. Ш. Оползни-потоки. — М.: Недра, 1983. — 120 с.
24. Шанцер Е. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. — М.: Наука, 1966. — 239 с. (Тр. ГИН, выпуск 161).
25. Festa A., Ogata K., Pini G. A., Dilek Y., Alonso J. L. Origin and significance of olistostromes in the evolution of orogenic belts: A global synthesis// Gondwana Research. — 2016. — Vol. 39. — P. 180–203.
26. Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. The Varnes classification of landslide types, an update// Landslides. — 2014 — Vol. 11. — № 2. — P. 167–194.
27. Hutchinson J. N. General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology//Proc. of the V International Symposium on Landslides/C. Bonnard, ed. — Rotterdam: Balkema. — 1988. — Vol. 1. — P. 3–35.
28. Ogata K., Festa A., Pini G. A., Pogačnik Ž., Lucente C. C. Substrate deformation and incorporation in sedimentary mélanges (olistostromes): Examples from the northern Apennines (Italy) and northwestern Dinarides (Slovenia)//Gondwana Research. — 2019. — Vol. 74. — P. 101–125.
29. Voznesensky E. A., Zerkal O. V. Dynamic instability of saturated loesses//Engineering Geology and the Environment: Proc. Internat. Symposium on Engineering Geology and the Environment (Athens, 23–27 June 1997). Rotterdam: Balkema. — 1997. — P. 1125–1130.
30. Zerkal O. V., Sokolov V. N. Mechanism of soil deformations during the displacements of flow slides//Slope Stability Engineering. Proc. of the Internat. Symp. on slope stability engineering (IS-Shikoku'99, 8–11.11.99, Shikoku)/Norio Yagi, Takuo Yamagami&Jing-Cai Jiang, eds. Rotterdam: Balkema. — 1999. — P. 1403–1407.
31. Zerkal O. V., Sokolov V. N. Landslide hazard evaluation based on studies of peculiarities of slope deposit deformation during landslide flow movement//Engineering Geology. Proc. of 8th Congress of the IAEG (21–25.09.98, Vancouver)/D.P.Moore&O.Hungr, eds. Rotterdam: Balkema. — 2000. — v. 6. — P. 4119–4124