

04
12 ДЕК 1997

На правах рукописи

ПУТИКОВА МАРИЯ ОЛЕГОВНА

Путикова

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОПОЛЗНЕВОГО
ПРОЦЕССА В СЛОИСТОЙ СРЕДЕ
С УЧЁТОМ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ СЛАГАЮЩИХ ПОРОД**

*Специальность 04.00.07 - «Инженерная геология, мерзлотоведение и
грунтоведение»*

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург
1997

Работа выполнена на кафедре инженерной геологии Санкт-Петербургского государственного горного института имени Г.В. Плеханова (технического университета)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Иванов Иван Пенкович

Официальные оппоненты:

Князько Василий Михайлович, доктор технических наук, профессор

Кутепов Юрий Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, с.н.с.

Ведущая организация - Аграрный Санкт-Петербургский государственный университет Министерства сельского хозяйства РФ.

Защита диссертации состоится 24 декабря 1997 г. в 15 часов 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 063.15.07 при Санкт-Петербургском государственном горном институте им. Г.В. Плеханова по адресу: 199026, Санкт-Петербург, В-26, 21-я линия, д.2, ауд.№7217.

Автореферат разослан « 21 » ноября 1997 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного горного института имени Г.В. Плеханова.

Учёный секретарь
диссертационного совета, к.г.-м.н.



доц. А.В. Кузьмин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационной работы. Негативное влияние оползневых явлений, происходящих на естественных склонах и искусственных откосах, по величине социально-экономического ущерба, наносимого природе и обществу, сравнимо с действием землетрясений, вулканических извержений и наводнений. Согласно статистическим данным, по числу людей, погибших от различных опасных геологических и других природных процессов в России с 1963 по 1992 г., оползни и обвалы занимают второе место после наводнений (21% от общего числа жертв); а по сумме экономических потерь оползни и обвалы находятся на 4-ом месте после процессов эрозии, подтопления территорий и наводнений (около 11%). Судя по количеству катастрофических ситуаций, связанных с нарушениями устойчивости массивов горных пород, можно утверждать, что надёжность и достоверность их прогнозирования не удовлетворяют современным требованиям.

Необходимой теоретической основой прогноза оползневого процесса служит выявление его механизма для установления связи между физической природой этого процесса и применяемым при его моделировании математическим аппаратом. Однако многие исследователи (К. Терцаги, Л. Бьеррум, К. Заруба, А. Скемптон, Ф.П. Саваренский, В.Д. Ломтадзе, Н.Н. Маслов, Г.И. Тер-Степанян, Е.П. Емельянова, Г.С. Золотарёв, Г.Л. Фисенко, М.Н. Гольдштейн, А.Я. Будин, В.В. Кюнтцель, Г.П. Постоев, А.Л. Рагозин, И.П. Иванов и др.) отмечают недостаточную изученность механизма и динамики деформирования приоткосных массивов, что ведёт к неправильному выбору и применению расчётных методов оценки их устойчивости.

Одним из самых сложных объектов для прогнозирования является горный массив, неоднородный по своему геологическому строению. Широкое распространение инсеквентных оползней обуславливает практическую заинтересованность в дальнейшем совершенствовании методов их прогнозирования.

Цель работы - повышение достоверности и надёжности прогнозов длительной устойчивости природных склонов и техногенных откосов на основе анализа специфики совместного деформирования слагающих пород с учётом их деформационных характеристик при сдвиге.

Основные задачи исследований:

- 1) анализ имеющейся информации по изучению и прогнозированию оползневых явлений на склонах и откосах в условиях техногенеза;

- 2) исследование механизма развития оползневой процесс в неоднородной слоистой толще;
- 3) экспериментальные исследования компетентности горных пород с позиций её влияния на оползневой процесс;
- 4) выявление закономерностей деформирования пород в зависимости от их состава, свойств и физического и напряжённого состояний.

Методика исследований. При выполнении работы применялись лабораторные методы изучения сопротивления сдвигу глинистых пород, аналитические методы оценки и прогноза устойчивости склонов и откосов, естественно-исторический анализ оползневых процессов; использовались результаты физического и математического моделирования.

Научная новизна работы заключается в следующем: 1) установлен механизм разрушения компетентных и некомпетентных слоёв при совместном деформировании; 2) обоснован новый способ прогноза длительной устойчивости склонов и откосов в случае потенциальных инсеквентных оползней на базе выявленного механизма деформирования слоистой среды; 3) теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены количественные критерии оценки компетентности горных пород в оползневом процессе; 4) разработана классификация горных пород по степени их компетентности, определяемой при помощи предложенных количественных показателей.

Достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, обуславливается большим объёмом теоретических и экспериментальных исследований, а также анализом реальных опасных ситуаций на конкретных объектах (оползневых склонах и откосах, где проводились детальные инженерно-геологические исследования).

Практическая значимость работы:

Предложенная методика изучения деформационных кривых сдвига и учёта характера этих кривых повышает точность и надёжность расчётов при определении коэффициента длительной устойчивости природных склонов и искусственных откосов.

Полученные результаты экспериментальных исследований могут быть использованы в инженерных прогнозах, осуществляемых с учётом степени компетентности различных пород.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были представлены на рассмотрение Всероссийского молодёжного научного Форума «Интеллектуальный потенциал России – в XXI веке» (Санкт-Петербург, 1995 г.), ежегодных научных конференций студентов и

молодых учёных СПбГГИ (ТУ) им. Плеханова – «Полезные ископаемые России и их освоение» (Санкт-Петербург, 24-25 апреля 1996 г. и 23-24 апреля 1997 г.), XI Российской конференции по механике горных пород (с иностранным участием) (Санкт-Петербург, 1997 г.) и Международного Симпозиума «Инженерная геология и охрана окружающей среды» (Афины, Греция, 23-27 июня 1997 г.).

Основные результаты исследований опубликованы в 6 печатных работах.

Структура и объём работы. Диссертационная работа общим объёмом 160 стр. состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 85 наименований, включает 28 рисунков и 20 таблиц.

Автор считает своим долгом выразить искреннюю благодарность своему научному руководителю зав. кафедрой инженерной геологии, д. г.-м.н., проф. И.П. Иванову за постоянное деятельное внимание к работе, д. г.-м.н., проф. Р.Э. Дашко за полезные советы по существу работы, а также всем сотрудникам кафедры ИГ за помощь во время подготовки диссертации.

Автор особенно признательна доц. каф. МВТС СПбГУ И.Л. Плечковой и аспиранту каф. ИГ СПбГГИ И.В. Лакову за содействие при выполнении экспериментов, а асс. каф. ПГиФ СПбГГИ В.В. Петрову – за помощь в компьютерном оформлении работы.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Длительная устойчивость природных склонов и техногенных откосов определяется деформационным поведением слагающих их пород в течение всего периода формирования поверхности скольжения, когда породы на разных её участках находятся в различных (допредельном, предельном и запредельном) состояниях. Длительная устойчивость откосов и длительная прочность слагающих их пород не всегда взаимообусловлены.

Процесс оползания масс горных пород на склонах и откосах не вызывается мгновенной потерей прочности пород по всей поверхности скольжения. Напротив, возникновению оползневых деформаций предшествует подготовительный период, происходящий внутри массива и заключающийся в постепенном (на протяжении многих лет, иногда веков)

изменении его напряжённо-деформированного состояния. Это заключение неоднократно подтверждалось наблюдениями за развитием оползневого процесса.

Ещё в 1940 г. Ф.П. Саваренский указывал, что «в различных частях склона действуют разные силы и преодолевают неодинаковые сопротивления в разные моменты оползневого процесса».

Е.П. Емельянова в известной монографии «Основные закономерности оползневых процессов» [1972] рассматривает три этапа изменения состояния пород в склоне и развития деформаций на стадии подготовки оползня:

- 1- быстрое затухание деформаций при величинах касательных напряжений меньше предельного сопротивления сдвигу пород
- 2- затухание деформаций (при достижении на отдельных участках величин касательных напряжений, равных предельному сопротивлению сдвигу пород)
- 3- возникновение деформаций ползучести, вызывающих появление трещин в верхних слоях откоса

При этом, как отмечает автор, каждый слой в оползневом склоне в разные моменты времени деформируется по-разному в связи с изменяющимся во времени напряжённым состоянием пород.

Более детально проблему длительной устойчивости рассмотрел Г.И. Тер-Степанян. Он назвал подготовительный период «глубинной ползучестью» склонов и предположил, что в теле склонов при перераспределении касательных напряжений на «стадии ползучести» образуются остроугообразные участки, где сопротивление пород сдвигу мобилизовано полностью, а на «стадии пластичности» такие участки вследствие выравнивания распределения касательных напряжений сливаются и образуют поверхность скольжения [Тер-Степанян Г.И., 1979]. По Г.И. Тер-Степаняну, горный массив является устойчивым до тех пор, пока породы на поверхности, по мере возрастания напряжённого состояния, не войдут в стадию пластичности и, наконец, среза.

Многим исследователям вполне логичным представляется использование в прогнозах длительной устойчивости сооружений данных о длительной прочности слагающих пород. Иными словами, считается, что развитие оползневого процесса во времени определяется только уменьшением прочности пород склонового массива в результате их ползучести.

Однако длительная прочность пород, как показали экспериментальные исследования многих авторов (М.Н. Гольдштейн,

С.Р. Месчян, И.П. Иванов, Р.Э. Дашко, В.И. Веселков и др.), в результате ползучести может оказаться как меньше, так и больше кратковременной. Что же касается длительной устойчивости неоднородных по строению склонов и откосов, то она всегда является результатом специфики механизма их деформирования. При этом коэффициенты устойчивости откосов длительного стояния всегда меньше, чем у краткосрочных. Поэтому, по всей вероятности, для склонов и откосов актуальны только долгосрочные прогнозы их устойчивости.

Наблюдения за динамикой оползневого процесса показывают, что он развивается не монотонно, а скачками, каждый из которых вызван разрушением более хрупких пород. Подобная картина также имеет место при деформировании неоднородного основания.

2. Инсеквентные оползни в различных инженерно-геологических условиях характеризуются общим механизмом поочередного разрушения пород, имеющих хрупкий либо пластичный характер деформирования. Деформационные особенности пород зависят от их состава, структурных связей и степени литификации, а в склонах и откосах ещё и от их напряжённо-деформированного состояния.

В инженерно-геологической практике при оценке устойчивости склонов и откосов чаще всего встречаются случаи, когда массив неоднороден и сложен слоями пород различного литологического состава и физического состояния. Подобные массивы являются потенциальной средой для возникновения инсеквентных (по Ф.П. Саваренскому) оползней. В качестве примеров такой ситуации можно привести множество объектов – как естественных склонов, так и искусственных откосов. Так, на таких крупных карьерах, как Лебединский и Михайловский карьеры КМА, Богдановский и Шевченковский карьеры Никополь-Марганцевого бассейна или на склонах рек Ленинградской области, а также в Сибири, в Грузии, в Болгарии – повсюду возникала проблема оценки устойчивости слоистых массивов.

Несмотря на всё разнообразие инженерно-геологических условий, в которых развиваются инсеквентные оползни, наблюдения на перечисленных и многих других объектах показывают, что им присущи особые черты и закономерности, определяющие специфику их механизма. Она проявляется в поочередном разрушении компетентных и некомпетентных слоёв пород, слагающих склон или откос. В первую

очередь разрушаются более прочные слои с хрупким характером разрушения при сдвиге. Очагами же оползнеобразования и накопителями сдвиговых деформаций являются слабые глинистые породы с пластичным характером деформирования (часто именно они залегают в основании склонов). Особенности механизма деформирования неоднородных массивов отражаются на морфологии оползневых тел – они обычно имеют террасовидный, блоковый или ступенчатый облик. Их поверхность скольжения в верхней части близка к вертикальной, а в нижней выполаживается и выходит на откосную поверхность или в основание откоса под углом $45^\circ - \varphi/2$.

Чтобы понять природу механизма инсеквентных оползней, рассмотрим напряжённое состояние в разных точках на поверхности скольжения в неоднородном массиве, сложенном слоями пород различного литологического состава и физического состояния (рис. 1).

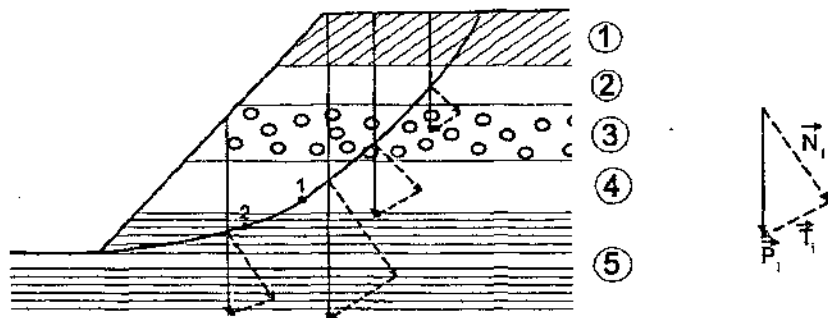


Рис. 1. Схема к оценке напряжённого состояния слоистого откоса.

1-5 – слои пород различного литологического состава и физического состояния; P_1 – давление от собственного веса пород; N_1 и T_1 – нормальная и касательная составляющие P_1 .

Предположим, что слоистый откос сложен 5-ю разновидностями пород. По графику, на котором изображены деформационные кривые сдвига всех этих пяти разновидностей (рис. 2), видно, что в некоторый момент времени при достижении уровня τ_3 слой 3 находится в предельном состоянии, слои 2, 4 и 5 – в запредельном, а слой 1 – в допредельном состоянии (по напряжениям). В то же время каждая порода характеризуется

своими значениями критических деформаций l_1, l_2, l_3, l_4 и l_5 , при которых она вступает в стадию разрушения. В момент достижения l_3 , например, первый слой уже разрушен, так как его критическая деформация $l_1 < l_3$. На данном этапе удерживающие силы реализуются в основном за счёт сопротивления сдвигу 2-ого, 4-ого и 5-ого слоёв.

На этих же кривых чётко прослеживается различие в характере деформирования слоёв. Некоторые из них разрушаются пластически (слои 2 и 5), а некоторые демонстрируют эффект «пиковой прочности» (слои 1, 3 и 4), что говорит о хрупком характере их разрушения. Деформационное поведение пород при сдвиге определяется их составом, физическим и напряжённым состояниями и степенью литификации, а соответственно, и характером существующих в породе структурных связей. Ещё в конце прошлого века для крепких, плотных пород с хрупким характером разрушения в тектонике существовал термин «компетентные», а для мягких, пластичных разновидностей – «некомпетентные» (В. Willis, 1893). О степени компетентности породы при сдвиге можно судить по масштабу проявления эффекта «пиковой» прочности. Полное отсутствие этого эффекта говорит о том, что порода является некомпетентной (большинство пластичных глинистых пород).

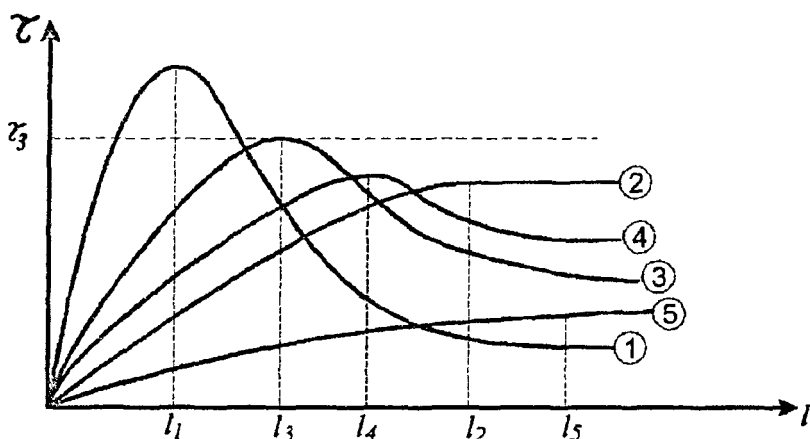


Рис. 2. Деформационные кривые сдвига пород, слагающих слоистый откос.

1-5 – кривые для соответствующих слоёв; l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 – критические деформации сдвига для соответствующих слоёв при $\sigma = \text{const}$.

Вернёмся к механизму оползневого процесса в откосе, сложенном 5-ю слоями разной степени компетентности. В основании деформирующегося массива залегают слабые и пластичные, некомпетентные породы. Рассмотрим напряжённое состояние в расположенных вблизи друг от друга на поверхности скольжения точках 1 и 2. Точка 2 находится в слабой глине основания (слой 5), а точка 1 – в залегающем над ним более прочном, компетентном слое (слой 4). Следует заметить, что именно на такой границе между слоями различной степени компетентности изменение напряжённо-деформированного состояния массива наиболее интересно и показательно и может быть спроецировано на дальнейшее развитие оползневого процесса по всей поверхности скольжения.

В то время как в более слабом глинистом слое в точке 2 быстро накапливаются деформации, в точке 1 этот процесс идёт с меньшей скоростью. Поэтому если в точке 1 будет происходить концентрация напряжений, в точке 2 в этот момент, напротив, наблюдается их релаксация. Затем точка 1 сместится под действием избыточных напряжений, и расстояние между точками уменьшится до исходного. После этого процесс последовательной концентрации и релаксации напряжений в точках 1 и 2 будет повторяться до тех пор, пока в области точки 1 не будет достигнута предельная критическая деформация $I_4 < I_5$ (рис. 2) и здесь не произойдет разрушение 4-ого слоя. Таким образом, в точке 1 будет работать только остаточная прочность (за счёт трения), а на рассматриваемом участке поверхности скольжения уменьшится общее сопротивление сдвигу, что приведёт к изменению соотношения между сдвигающими и удерживающими усилиями – новой концентрации напряжений на соседних с точкой 1 участках и, следовательно, в точке 2 тоже. В пластичной глинистой породе пойдёт быстрое накопление деформаций, и цикл возобновится.

Что касается остальных слоёв пород, слагающих массив, то их совместное деформирование будет происходить аналогично приведённой схеме (в той же последовательности).

Отсюда следует, что специфика механизма деформирования неоднородных массивов определяется наличием в них слоёв различной степени компетентности. При этом влияние «слоистости» склона или откоса на механизм развития в них оползней будет тем больше, чем больше различаются между собой по деформационным свойствам слагающие склон или откос породы. Важно подчеркнуть ещё один момент: однородный массив с данных позиций по существу необходимо рассматривать как

неоднородный, так как одна и та же порода при разных нормальных напряжениях (которые как раз имеют место на поверхности скольжения) характеризуется различным деформационным поведением и разрушается при разных критических деформациях.

3. Степень компетентности глинистых пород можно оценить с помощью двух количественных показателей, определяемых при исследовании сопротивления сдвигу. По значениям этих показателей глинистые породы подразделяются на 4 группы.

При испытании на сдвиг каждая конкретная порода демонстрирует определённый характер разрушения, который можно проследить по графику развития деформаций породы под влиянием сдвигающих усилий $I=f(\tau)$ (по так называемой «деформационной кривой» при сдвиге). Чем ярче на этой кривой выражен перепад от пикового (максимального) сопротивления сдвигу к установившемуся (эффект «пиковой прочности»), тем больше степень компетентности исследуемой породы.

В свою очередь соотношение «пиковой» и установившейся прочностей, т.е. характер деформационного поведения пород при сдвиге, зависят от наличия в них тех или иных видов связей и, соответственно, от степени литификации пород. Так, к некомпетентным относятся породы с водно-коллоидными структурными связями и малой степени литификации. Связи в этих породах после сдвига быстро восстанавливаются, и их деформационное поведение при сдвиге носит пластический характер. Породы с наличием не только водно-коллоидных, но и цементационных связей, и претерпевшие более высокую степень литификации, относятся к компетентным. На деформационных кривых этих пород при сдвиге чётко различаются характерные точки, соответствующие «пиковой» и «установившейся» прочностям.

Автором были проведены сдвиговые испытания с целью изучения деформационного поведения пород различного состава, свойств, физического и напряжённого состояний. Испытуемые образцы пород (моренные суглинки и супеси, г. Санкт-Петербург и Ленинградская область) были отобраны из инженерно-геологических скважин, пройденных с целью инженерно-геологического опробования при строительстве гражданских сооружений, а также из шурфов непосредственно на оползневых склонах. Были исследованы также кембрийские и юрские глины, отобранные из забоев соответственно Никольского (Ленинградская область) и

Лебединского (КМА, Белгородская область) карьеров. На основании анализа имеющихся данных испытаний пород на сдвиг, а также проведённых самостоятельно экспериментов, был сделан вывод о том, что в качестве количественных показателей степени компетентности пород могут выступать следующие отношения:

$$K_{\tau} = (\tau_{\pi} - \tau_y) / \tau_{\pi} \text{ и}$$

$$K_l = (l_y - l_{\pi}) / l_y, \text{ где}$$

K_{τ} - показатель степени компетентности породы, выраженный через общее сопротивление сдвигу;

K_l - показатель степени компетентности породы, выраженный через деформации сдвига;

τ_{π} и l_{π} - значения касательных напряжений и сдвиговых деформаций на уровне пиковой прочности (в условиях сдвигового опыта τ_{π} является максимальным разрушающим касательным напряжением);

τ_y и l_y - значения касательных напряжений и соответствующих им деформаций, характеризующих установившийся процесс сдвига.

Оба показателя удобны тем, что их определение проводится с достаточной точностью по опытным деформационным кривым, а их значения изменяются в пределах от 0 до 1. Породы высокой степени компетентности характеризуются высокими (но разными) значениями обоих показателей, а слабые, пластичные породы (некомпетентные) – показателями, близкими или равными 0. По своей физической сущности показатели K_{τ} и K_l аналогичны показателям чувствительности глин, предложенным К. Терцаги и другими авторами.

На основе проведённых автором опытов (более 250 испытаний) и данных других исследований предлагается следующая классификация пород по степени их компетентности:

- (1) –породы высокой степени компетентности (аргиллиты, алевролиты, плотные глины) с $K_{\tau} > 0,6$ и $K_l > 0,8$
- (2) –породы средней степени компетентности (слабовлажные, плотные глины и суглинки) с $K_{\tau} = 0,3-0,6$ и $K_l = 0,5-0,8$
- (3) –породы низкой степени компетентности (слабые, водонасыщенные глинистые разности) с $K_{\tau} = 0,1-0,3$ и $K_l = 0,3-0,5$
- (4) –породы некомпетентные (осадки, илы) с $K_{\tau} < 0,1$ и $K_l < 0,3$

Предварительную оценку пород, слагающих склон или откос, по степени компетентности можно осуществить косвенным путём по показателям их физического состояния: влажности, плотности, водонасыщению, хрупкости, пластичности, чувствительности и др. Анализ данных испытаний различных глинистых пород и искусственных смесей

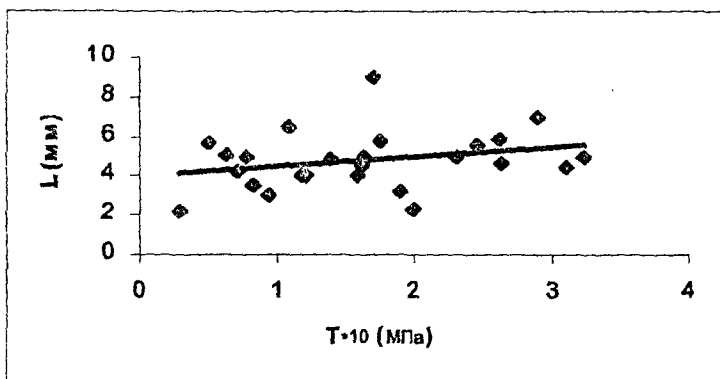
показал сложность и многофакторность проблемы установления взаимосвязи и взаимообусловленности показателей физического состояния пород и их степени компетентности, что затрудняет прогнозирование их поведения при сдвиге. Даже разделение пород по этим признакам на две категории – компетентные и некомпетентные – выполняется весьма условно.

Некомпетентные глинистые разновидности характеризуются малой степенью литификации, высокой влажностью, как правило, полным водонасыщением и прочностью, обусловленной водно-коллоидными структурными связями. Примером некомпетентных пород являются суглинки и супеси четвертичного возраста, а также глины дислоцированные, переотложенные и недоуплотнённые.

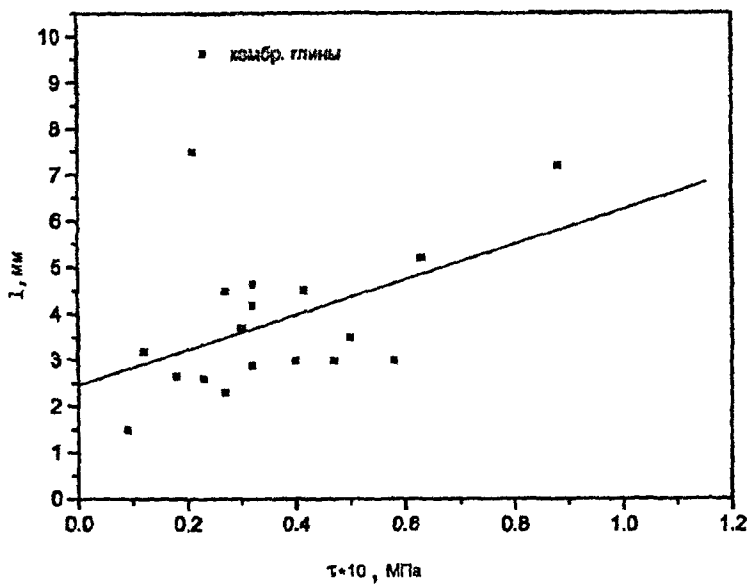
Для некомпетентных глинистых разностей характерны также однородность физического состояния и наличие корреляционных зависимостей между отдельными показателями физических свойств и их прочностью. При этом коэффициенты корреляции принимают значения более 0,95.

Компетентные глины весьма неоднородны по своему физическому состоянию и свойствам. Проявление у этих пород эффекта пиковой прочности, а следовательно, и их компетентность, объясняются наличием жёстких структурных связей, иногда водонестойчивых, и большой плотностью. Имеющиеся результаты испытаний не позволяют дать достаточно надёжный прогноз степени их компетентности по косвенным показателям физических свойств. Между тем можно сделать вывод, что, как правило, степень компетентности уменьшается в связи с их разуплотнением (набуханием), а также с ростом нормальных напряжений в плоскости сдвига.

Следует отметить, что существует тенденция к увеличению критических деформаций разрушения пород с ростом касательных напряжений в области сдвига. Для некомпетентных пород эта зависимость более ярко выражена, чем для компетентных, что объясняется меньшей однородностью компетентных пород по характеру структурных связей (рис.3).



(а)



(б)

Рис. 3. Зависимость между критическими деформациями разрушения при сдвиге (I) и касательными напряжениями в плоскости сдвига (τ): а) для компетентных пород (плотных маловлажных суглинков и супесей); б) для некомпетентных пород (кембрийских глин, отобранных с оползневых участков).

Большая неоднородность глинистых пород, которая создаёт масштабные эффекты, проявляется и при оценке их компетентности в оползневом процессе.

Очень интересные результаты были получены для синих кембрийских глин, отобранных в разных районах Ленинградской области, а также для искусственных паст, приготовленных из них. Глины коренного залегания (отобранные из забоев Никольского карьера) с естественной влажностью 15-17% и плотностью более $2,1 \text{ г/см}^3$ показали эффект пиковой прочности. По значениям K_c и K_f их следует отнести к породам средней степени компетентности. Образцы же, отобранные из оползневых массивов и их оснований на склонах рек Саблинки, Тосны и Большой Койровки по своим физическим свойствам существенно отличались от упомянутых выше глин как по значениям влажности (20-30%) и плотности ($1,95-2,07 \text{ г/см}^3$), так и по своему деформационному поведению в сдвиговых испытаниях. Все они относятся к четвёртому классу – абсолютно некомпетентным разновидностям. Породы из оползневых массивов отличаются низкими значениями сцепления (менее $0,05 \text{ МПа}$) и угла внутреннего трения (менее 10°). Приготовленные смеси из синих глин, уплотнённые при давлениях от $0,2$ до $0,6 \text{ МПа}$, оказались близкими по своему физическому состоянию, прочности и деформируемости к глинам, отобранным из оползневых районов. Это объясняется тем, что и в тех и в других образцах основную часть структурных связей составляют водно-коллоидные, так как имевшиеся в глинах коренного залегания жёсткие связи разрушены на оползневых объектах в результате перематия и переувлажнения пород.

Подобные опытные данные были получены и для верхнеюрских глин с откосов Лебединского карьера КМА. В естественном состоянии эти глины характеризуются проявлением пикового эффекта, который полностью исчезает в результате их набухания. Таким образом, изменяя физическое состояние и свойства пород, можно управлять их компетентностью.

4.В результате прогнозирования длительной устойчивости склонов и откосов с учётом влияния компетентности слагающих пород установлено, что в различных геологических условиях их коэффициент устойчивости уменьшается на 10-30 % и более.

Влияние компетентности слагающих неоднородный горный массив пород хорошо заметно по результатам моделирования на эквивалентных материалах, а также по непосредственным наблюдениям на оползневых

склонах и откосах. Оно заключается в следующем: при совместном деформировании группы компетентных и некомпетентных пород происходит «смягчение» эффекта пиковой прочности по сравнению с характером кривых для каждой взятой отдельно породы. Кроме того, общее сопротивление сдвигу таких совместно деформирующихся слоёв оказывается меньше, чем средневзвешенное сопротивление сдвигу по поверхности скольжения, которое обычно принимается в расчётах устойчивости откосов. Поэтому при оценке длительной устойчивости слоистых склонов и откосов для получения более точного значения коэффициента устойчивости следует применять особую методику определения расчётных показателей c и φ на основе сравнения деформационного поведения пород разной степени компетентности.

Учёт механизма последовательного разрушения компетентных и некомпетентных слоёв в неоднородных массивах позволяет прогнозировать развитие оползневого процесса во времени и осуществлять управление длительной устойчивостью склонов и откосов. В самом деле, если принимать во внимание не только изменение прочностных свойств пород, но и их деформационное поведение при сдвиге, очевидно, что развитие деформаций в массиве можно ограничивать таким образом, чтобы не допустить напряжений, при которых могут разрушиться наиболее компетентные слои пород.

Рассмотрим в качестве примера модель неоднородного откоса, сложенного несколькими горизонтально или наклонно залегающими слоями пород разной степени компетентности, через которые проходит потенциальная плавная поверхность скольжения (рис.1). В основании откоса залегают пластичные (некомпетентные) глины. При прогнозе длительной устойчивости этого массива возникают ситуации, которые можно объединить в следующие 2 группы:

1. В случае высокой ответственности сооружения, когда деформации за пределами упругих не допускаются и в наиболее компетентном слое не должны возникнуть трещины, все расчётные характеристики остальных слоёв выбираются с ограничением их деформаций по критической деформации разрушения этого слоя.
2. Если разрушение верхней части приоткосной зоны, сложенной компетентными породами, допускается, то возникает большая свобода при выборе расчётных показателей сопротивления сдвигу. В данном случае из суммы сопротивления сдвигу исключается верхний наиболее компетентный слой,

разрушение которого предусматривается. Здесь возможен вариант ограничения величины критической деформации по второму по степени компетентности слою (слой 3 на рис.1). Строятся новые графики сопротивления пород сдвигу и определяются новые значения параметров сдвига c и φ , которые закладываются в расчёт с принятым коэффициентом запаса.

Автором были проведены расчёты на обобщённом примере слоистого откоса высотой $H=50$ м. и углом наклона $\alpha=37^\circ$, сложенного породами компетентными (слои 1, 2, 3) и некомпетентными (слои 4 и 5) (рис.4) для рассмотренных выше двух ситуаций. Результаты выполненных расчётов дают возможность сделать следующие выводы: коэффициент устойчивости, равный единице по традиционному расчёту, при условии учёта компетентности пород изменяется на 15 % в первой ситуации и на 50 % во второй. Кроме того, расчётами было установлено влияние мощности компетентного слоя в случае допущения его разрушения. Увеличение мощности компетентного слоя (которая изменялась от 0 до 15 м.) закономерно приводит к уменьшению коэффициента устойчивости слоистого откоса и, соответственно, допустимого угла наклона откоса (см. табл.).

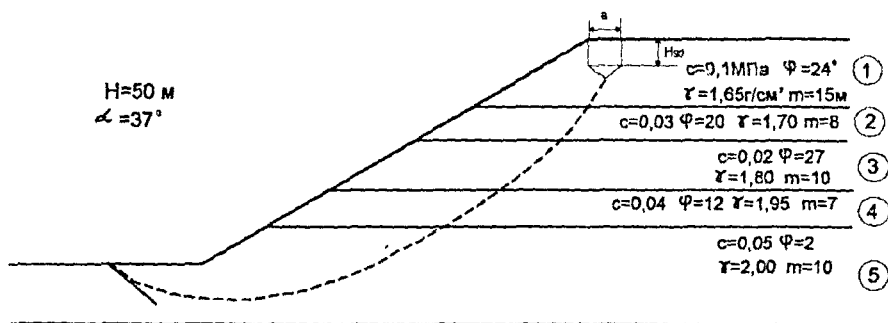


Рис. 4. Модель слоистого откоса (к расчёту его устойчивости и определению влияния на неё компетентности слагающих пород).

Для того чтобы включить в прогнозные расчёты показатели деформационного поведения слагающих пород нужны целенаправленные наблюдения и исследования, которые можно осуществить только при наличии локального инженерно-геологического мониторинга. В работе обоснована необходимость организации такого инженерно-геологического мониторинга и разработана программа его функционирования.

Таблица

Значения углов откоса, рассчитанных по традиционному методу и с учётом компетентности пород.

Расчётные показатели – средневзвешенные по мощности слоёв	Расчётные показатели – средневзвешенные по длине поверхности скольжения
I. Традиционный метод расчёта	
$\alpha=37^\circ$	$\alpha=23^\circ$
II. Разрушение наиболее компетентного слоя не допускается	
$\alpha=29^\circ$	$\alpha=18^\circ$
III. С разрушением наиболее компетентного слоя	
$\alpha=16^\circ$	$\alpha=14^\circ$
IV. С уменьшением мощности наиболее компетентного слоя:	
IV(1) По традиционному методу	
$m_1=10\text{м}$	
$\alpha=35^\circ$	$\alpha=23^\circ$
$m_1=5\text{м}$	
$\alpha=34^\circ$	$\alpha=23^\circ$
$m_1=0$	
$\alpha=30^\circ$	$\alpha=22^\circ$
IV(2) С разрушением наиболее компетентного слоя	
$m_1=10\text{м}$	
$\alpha=14^\circ$	$\alpha=12^\circ$
$m_1=5\text{м}$	
$\alpha=16^\circ$	$\alpha=14^\circ$
$m_1=0$	
$\alpha=25^\circ$	$\alpha=15^\circ$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Формирование поверхности скольжения в слоистых откосах происходит скачкообразно в течение всего подготовительного периода. Этот процесс обуславливается изменением напряжённо-деформированного состояния массива и последовательным разрушением в разные промежутки времени отдельных разнородностей пород, характеризующихся разными прочностными и деформационными свойствами.

2. Механизм инсеквентных оползней, происходящих в разных инженерно-геологических условиях, характеризуется рядом общих черт, определяющих динамику и морфологию оползней, а также подход к прогнозу длительной устойчивости сооружения. Специфика механизма деформирования слоистой среды определяется наличием в ней компетентных и некомпетентных слоёв, их мощностью и пространственным положением в склоновом (откосном) массиве.

3. По характеру деформирования при сдвиге породы разделяются на компетентные и некомпетентные. Исследования пород разной степени компетентности показали, что она зависит от состава, видов структурных связей, физического и напряжённого состояний пород и может быть оценена при помощи двух показателей, которые определяются по деформационным кривым сдвига.

4. По предложенным показателям степени компетентности породы разделяются на 4 группы:

- высокой степени компетентности с $K_r > 0,6$ и $K_l > 0,8$
- средней степени компетентности с $K_r = 0,3-0,6$ и $K_l = 0,5-0,8$
- низкой степени компетентности с $K_r = 0,1-0,3$ и $K_l = 0,3-0,5$
- и некомпетентные с $K_r < 0,1$ и $K_l < 0,3$.

5. Прогноз длительной устойчивости неоднородных склонов и откосов является более точным, если в расчётах показатели сопротивления сдвигу пород выбираются с учётом сравнения деформационных кривых этих пород.

6. На основе определения сдвиговых деформаций пород, допускаемых в неоднородном массиве, можно осуществить управление его длительной устойчивостью.

7. Возможность проведения надёжных и достоверных прогнозов длительной устойчивости склонов и откосов с учётом деформационных особенностей слагающих их пород может быть

реализована на основе данных функционирования локального инженерно-геологического мониторинга.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Новая классификация горных пород с учётом их деформаций при сдвиге в откосах карьеров// Полезные ископаемые России и их освоение: Тезисы докл. науч. конф./ Санкт-Петербургский государственный горный институт. СПб, 1996. С. 18.

2. Применение метода оценки устойчивости слоистого откоса с учётом деформаций сдвига на примере Лебединского карьера КМА// Полезные ископаемые России и их освоение: Тезисы докл. науч. конф./ Санкт-Петербургский государственный горный институт. СПб, 1997. С. 35.

3. Оценка оползневого процесса при деформации слоистого массива сложного стросния// Сб. тез. докл. Новосибирской межвузовской науч. конф. «Интеллектуальный потенциал Сибири»/ Новосибирская государственная академия строительства. Новосибирск, 1997. С. 84.

4. Изучение механизма оползневых явлений на открытых рудниках// Всероссийский молодёжный научный Форум «Интеллектуальный потенциал России – в XXI век»: Тезисы докладов (Симпозиум 6 – Рациональное использование сырьевой базы и национальных сырьевых ресурсов)/ Санкт-Петербургский государственный технический университет. СПб, 1995. С. 72.

5. Экспериментальные исследования компетентности глинистых пород в оползневом процессе// Проблемы механики горных пород: Труды XI Российской конференции по механике горных пород / СПб, 1997. С. 161-166. (Соавтор И.П. Иванов).

6. L'évaluation de la stabilité des talus tenant compte des déformations de cisaillement// Comptes Rendus du Symposium International "La Géologie de l'Ingenieur et l'Environnement"/ A.A.BALKEMA Publishers, 1997. (Соавтор И.П. Иванов).