



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ, РЕОЛОГИЧЕСКИХ
И ВОДНЫХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ УГОЛЬНОГО КАРЬЕРА КАРА-КЕЧЕ**

Г. Н. Фалалеев, С. Б. Омуралиев

*Институт геомеханики и освоения недр НАН Кыргызской Республики,
E-mail falaleevgn@mail.ru, Sagynd.omuraliev@yandex.ru,
ул. Медерова 98, г Бишкек 720052, Кыргызстан*

Приведены параметры физико-механических, реологических и водных свойств глинистой породы угольного карьера Кара-Кече. Установлено, что по отношению к воде серая глина является ненабухаемой и водонепроницаемой породой. Наличие ее на границе поверхности линии скольжения способствует активизации оползневых явлений в бортах карьера. Установлено, что серая глина обладает ярко выраженной реологической способностью к развитию деформаций пластического течения. Выявлена зависимость эффективной вязкости серой глины от значения влажности. Показано, что теоретические и экспериментальные значения эффективной вязкости хорошо согласуются между собой.

Серая глина, угольный карьер, сопротивление сдвигу, водные свойства, сдвиговая ползучесть, эффективная вязкость, инфильтрация

**DETERMINING A SET OF PHYSICAL, MECHANICAL, RHEOLOGICAL
AND WATER PROPERTIES OF CLAY SOILS IN THE KARA-KECHE COAL QUARRY**

G. N. Falaleev and S. B. Omuraliev

*Institute of Geomechanics and Subsoil Development, National Academy of Sciences, Kyrgyz Republic,
E-mail falaleevgn@mail.ru, Sagynd.omuraliev@yandex.ru,
ul. Mederova 98, Bishkek.720052, Kyrgyzstan*

The parameters of physical, mechanical, rheological and water properties of clay rock in the Kara-Kechе coal quarry are presented. It is found that in relation to water, gray clay is a swelling-proof and impervious rock. Its presence at the boundary of slip line surface contributes to the activation of landslide phenomena in the open-pit sides. It is determined that gray clay has a pronounced rheological ability to develop plastic flow deformations. The dependence of effective viscosity of gray clay on humidity value was revealed. It is shown that theoretical and experimental values of effective viscosity are in good agreement.

Gray clay, coal quarry, shear strength, water properties, shear creep, effective viscosity, infiltration

Современный уровень горных работ характеризуется освоением месторождений со сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями. В этих условиях, особенно для месторождений горно-складчатых областей, важное значение приобретают вопросы управления долговременной устойчивостью геотехнических объектов на основе прогноза, контроля и целенаправленного изменения интенсивности геомеханических процессов, снижения прочности и скорости деформаций пород. Открытые горные работы неизбежно вызывают развитие в бортовых и отвальных массивах в основном нестационарных геомеханических процессов. Это связано с изменением нагрузок во времени и физико-механических (в том числе и реологических) свойств пород при формировании откосов и уступов бортов карьеров.

Особенно это относится к слабым глинистым породам, при определении прочности которых на одноосное сжатие требуется длительное время. Завышение прочности влечет за собой занижение оценки устойчивости уступа или борта карьера и последующую опасность от его возможного обрушения. Занижение прочности неизбежно ведет к увеличению объема вскрышных работ. В этих условиях вопрос об определении оптимальных углов откосов и обеспечении их устойчивости на открытых разработках приобретает первостепенное значение [1, 2].

Анализ причин, вызывающих образование и развитие оползней в бортах угольных карьеров, указывает на решающую роль в этих процессах воды. Негативное воздействие воды, насыщающей оползневые массивы, может ухудшить их грунтовые характеристики, главным образом, сил сцепления, угла внутреннего трения, объемного веса грунта. При этом масштабы оползневых явлений, размеры и форма оползней, характер и скорость их перемещения, а также факторы, которые их обусловили могут быть разные, изучению этих факторов и посвящена работа.

Причины возникновения оползней на карьерах — недостаточная обоснованность параметров откосов бортов карьеров и отвалов, несоблюдение проектных параметров, нарушение параметров технологического процесса. Поэтому обеспечение устойчивости бортов карьеров при их отработке требует детального рассмотрения таких факторов как литология, гидрогеология, трещиноватость, тектоника и физико-механические (реологические) свойства горных пород.

Цель работы — определение комплекса основных показателей физико-механических, в том числе реологических и водных свойств глинистых грунтов угольного карьера Кара-Кече.

Кара-Кечинское буроугольное месторождение, одно из крупнейших в Кыргызстане, разработка которого ведется открытым способом. Месторождение Кара-Кече расположено на восточной оконечности Кавакского буроугольного бассейна в межгорной впадине, ограниченной с запада р. Токсон-Теке, с севера выходами палеозойских отложений, с востока р. Кара-Кече и с юга выходами палеозойских отложений у подножья хребта Молдо-Тоо.

В геологическом строении месторождения выделяются образования палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Глинистые грунты представлены чаще суглинками, глинами и глинистыми песками. Мощность покрова меняется от 1 до 20 м.

Большое значение при оценке устойчивости бортов карьеров имеет изучение физико-механических свойств пород в массиве [2]. В начальном процессе исследованы пробы глинистого грунта, отобранные на Западном участке карьера Кара-Кече. Глинистый грунт представлен серой глиной, содержащей в минеральном составе гидрослюды и каолинит. Все пробы были доведены до воздушно-сухого состояния, раздроблены и просеяны через сито диаметром 2 мм. Образцы готовились из глинистой пасты с различным содержанием воды. По стандартным методикам, регламентированным ГОСТами, установлены основные показатели физико-механических свойств испытанных грунтов, которые сведены в табл. 1, там же приведены значения параметров сопротивления грунтов сдвигу: сцепление и угол внутреннего трения.

ТАБЛИЦА 1. Основные характеристики физико-механических свойств серой глины

ρ_s	ρ	ρ_d	$W, \text{ кг/м}^3$	$S_r, \text{ д. е.}$	$n, \text{ \%}$	$e, \text{ д. е.}$	W_l	W_p	I_p	$I_l, \text{ д. е.}$	$W_{sat}, \text{ \%}$	$\varphi, \text{ град.}$	$C, \text{ МПа}$
							$\%$						
2740	2000	1530	31	1.07	44	0.795	44	23	21	0.38	29	0	0.011
2740	2030	1640	24	0.98	40	0.674	—	—	—	0.05	24	0	0.031
2740	2040	1660	23	0.97	39	0.652	—	—	—	0	23	0	0.051
2740	2100	1720	22	1.02	37	0.592	—	—	—	0	22	0	0.071

Примечание. ρ_d — плотность в сухом состоянии; S_r — степень влажности; n — пористость, %; e — коэффициент пористости; W_l — влажность на границе текучести; I_p — число пластичности; I_l — показатель текучести; W_{sat} — влажность, соответствующая полному водонасыщению.

Из табл. 1 видно, что угол внутреннего трения серой глины равен нулю. Такие глины (по Н. Н. Маслову) [3] относятся к пластичным глинам при заданной плотности и влажности, сопротивление сдвига которых зависит лишь от сил связности водно-коллоидной природы.

Методы лабораторных исследований. Используемые методики широко известны, апробированы и регламентированы ГОСТами, не останавливаясь подробно на их изложении, приведем только краткие названия методов. Плотность грунта ρ определялась методом режущего кольца (ГОСТ 5180-84), плотность твердых частиц ρ_s — пикнометрическим методом ГОСТ 5180-84), естественная влажность W — термостатным; влажность на границе текучести (верхний предел) W_p — методом балансирного конуса А. М. Васильева (ГОСТ 5180-84), влажность нижнего предела пластичности W_l — методом раскатывания в шнур (по тому же ГОСТу), показатели сопротивления сдвига: угол внутреннего трения φ и сцепление C по ГОСТу 12248-2010.

Для расчетных показателей сопротивления сдвига — угла внутреннего трения и сцепления — проведены испытания на плоский сдвиг на приборе П10-1С, которые осуществлялись по схеме быстрого сдвига без предварительного уплотнения при заданной плотности и влажности. Для любой исследуемой точки пробы выбирали по три образца грунта при вертикальных нагрузках 0.1, 0.2, 0.3 МПа. При каждом уровне сжимающих нагрузок были найдены предельные напряжения сдвига, сцепление и угол внутреннего трения при четырех значениях влажности на образцах пасты.

Основными свойствами, которые определяют отношение глинистого грунта к воде являются водопроницаемость (или фильтрация), размокаемость, набухание, сюда также можно отнести инфильтрацию от действия атмосферных осадков. При инженерно-геологической оценке устойчивости бортов угольных карьеров водные свойства играют исключительно важную роль. Далее излагаются методики испытаний глинистого грунта по отношению к воде, так как авторами впервые изучаются глины карьера Кара-Кече. Соответственно их поведение при действии воды существенно отличается от лессовидных суглинков, изученных нами ранее.

Для глинистых грунтов особенно большое значение имеет водоустойчивость, т. е. способность грунта сохранять свое физическое состояние и прочность при увлажнении. На водоустойчивость влияют скорость и характер размокания их в воде. Эти показатели определялись на приборе ПРГ-2 по стандартной методике на образцах естественного сложения и влажности. Отмечено, что процесс распада полностью отсутствует: за время испытаний в течение 45 сут на дне прибора практически не было частиц глины, причем увлажненная только нижняя часть образца. Следовательно такой грунт даже при длительном увлажнении не размокает, и серая глина является водоупором.

В качестве показателя набухания принята величина набухания, выраженная в процентах от первоначального объема грунта. Объемное набухание измерялось с помощью прибора ПНГ на образцах нарушенного сложения. Результаты испытаний образца серой глины на набухание следующие: плотность грунта 2100 кг/м³, величина набухания 2.0 %, начальная влажность 30 %, влажность набухания 31 %. Влажность серой глины после трех суток набухания по отношению к начальной изменилась несущественно — всего на 1 %. По величине набухания, равной 2 %, согласно ГОСТ-24143-80 серая глина относится к ненабухающим грунтам.

Для определения коэффициента фильтрации компрессионную гильзу с образцом грунта устанавливали в приборе так же, как и при компрессионных испытаниях. Фильтрация проводилась по схеме подачи воды в образец снизу вверх. В течение 20 дней фильтрацию не обнаружили, следовательно серая глина явилась водоупором.

В лабораторных условиях осуществлен эксперимент по изучению процесса инфильтрации серой глины (глинистая паста) карьера Кара-Кече. По центру поверхности образца была заглублена на 1.5 см воронка диаметром 4 см емкостью 100 мл. Наблюдения вели за скорость впи-

тывания воды в образце и движением фронта смачивания при постоянной водоподаче. Влажность образцов менялась в диапазоне 14–17 %. Объем и площадь образца составляют 106.86 см³ и 23.75 см². В течение 15 дней образец полностью насытился водой, но инфильтрация не наблюдалась. После насыщения водой образца в воронку добавили 70 мл воды, записали время заливки и повторно наблюдали за процессом инфильтрации. После семи дней обнаружили, что грунт не принял добавочную воду, т. е. серая глина является водонепроницаемой (рис. 1). После эксперимента разрезали образец пополам и убедились, что глина полностью насытилась водой и влажность составила 19–20 %. Эта зависимость описывается уравнением экспоненциального вида $v = 46.66e^{-0.002t}$ при коэффициенте корреляции $R = 0.9654$.

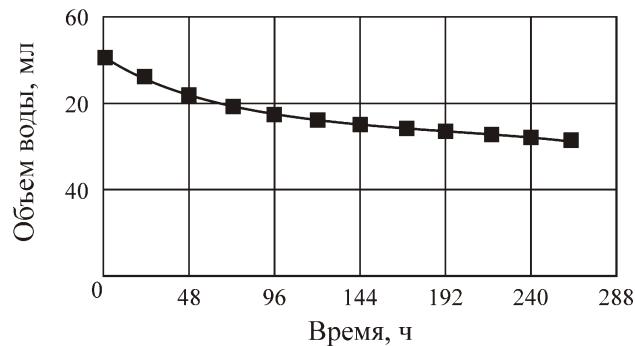


Рис. 1. Зависимость инфильтрации серой глины от времени

Для изучения реологических свойств глинистых грунтов проведены испытания на сдвиговую ползучесть образцов серой глины. Сдвиговые нагрузки прикладывали ступенчато и выдерживали до условной стабилизации деформаций ползучести. Вертикальные нагрузки оставались постоянными в течение всего периода испытаний. Физико-механические свойства серой глины определялись в результате испытаний на сдвиг образцов с нарушенной структурой, на искусственных образцах (глинистая паста) так же определялись реологические свойства.

Испытание начинали с наименьшей нагрузки 0.02 МПа, далее на каждую ступень укладывали равную пригрузку в 0.02 МПа и доводили до 0.1 МПа, т. е. всего 5 ступеней. Каждую ступень независимо от достижения стабилизации деформаций ползучести выдерживали 7 сут. Такие условия испытаний соответствуют режиму кратковременной ползучести для получения качественной картины деформирования образца грунта во времени и нахождения предварительных реологических параметров: скорости течения и эффективной вязкости [4].

Вертикальная нагрузка принималась равной 0.2 МПа, что примерно соответствует природному давлению на глубине 10–15 м. В ходе опытов развитие деформаций образцов пород во времени фиксировалось индикаторами часового типа с ценой деления 0.01 мм, показания которых заносили в рабочий журнал и обрабатывали в виде таблиц. На основании этих таблиц построены кривые ползучести, совмещенные с началом координат при различной влажности: 20, 19, 16, 14, 12 % (рис. 2).

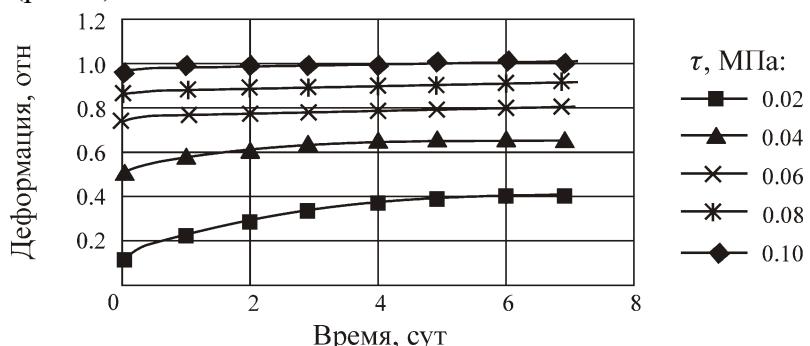


Рис. 2. Кривые ползучести серой глины при постоянных сдвигающих напряжениях τ

Кривые ползучести аппроксимированы полиномом Чебышева второй степени вида: $y = Ax^2 + Bx + C$, параметры которого представлены в табл. 2, там же значения коэффициентов корреляции R , которые составили от 0.967 до 0.993. Погрешность расчетных значений деформации ползучести от их экспериментальных значений не превысила 10 %.

ТАБЛИЦА 2. Параметры уравнения связи и коэффициентов корреляции

τ , МПа	A	B	C	R
1	2	3	4	5
0.02	-0.0065	0.0831	0.1376	0.993
0.04	-0.0041	0.0475	0.5244	0.987
0.06	-0.0014	0.0176	0.7466	0.967
0.08	-0.0013	0.0155	0.8636	0.970
0.10	-0.0011	0.0145	0.9657	0.970

По кривым ползучести глинистых грунтов найдены реологические параметры: скорости установившегося течения $d\varepsilon/dt$ и коэффициенты эффективной вязкости η (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Реологические параметры при сдвиговой ползучести

Ступени ползучести	Нагрузка при сдвиге, МПа	Скорость установившейся течения, 1/сут	Коэффициент эффективной вязкости, Па·с
1	0.02	$2.8 \cdot 10^{-2}$	$1.77 \cdot 10^{11}$
2	0.04	$1.6 \cdot 10^{-2}$	$6.09 \cdot 10^{11}$
3	0.06	$4.7 \cdot 10^{-2}$	$2.92 \cdot 10^{12}$
4	0.08	$5.0 \cdot 10^{-3}$	$3.25 \cdot 10^{12}$
5	0.1	$7.6 \cdot 10^{-3}$	$3.90 \cdot 10^{12}$

Примечание. Вертикальное давление 0.2 МПа.

Зависимость эффективной вязкости от влажности серой глины при четырех ее значениях (от 12 до 20 %) имеет вид $\eta = 0.3198W^2 + 5.467W + 19.347$ при коэффициенте $R^2 = 0.9945$. Величины вязкости в указанном диапазоне влажности хорошо согласуются с общей корреляционной зависимостью $\eta = 14.88 - 0.162W$, полученной в работе [5], погрешность не превышает 5 %.

ВЫВОДЫ

Результаты испытаний на сдвиг образцов серой глины, свидетельствуют, что сопротивление сдвигу не зависит от величины вертикальной нагрузки и угол внутреннего трения грунтов при изменении влажности от 22 до 31% практически равен нулю. Все показатели водных свойств подтверждают, что серая глина карьера Кара-Кече является водонепроницаемой, поэтому наличие такой глины на границе поверхности скольжения способствует активизации оползней. Кратковременные испытания образцов серой глины на ползучесть при плоском сдвиге показали, что она обладает ярко выраженной реологической способностью к развитию деформаций пластического течения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Kovalenko A. A. Technology and device for continuous formation of stable boards in deep quarries, Bulletin of the Kyrgyz Russian-Slavic University, 2007, vol. 7. no. 4. [Коваленко А. А. Технология и устройство для непрерывного формирования устойчивых бортов в глубоких карьерах // Вестник КРСУ. — 2007. — Т. 7. — № 4.]

2. **Fisenko G. L.** Stability of the sides of quarries and dumps, Moscow, Nedra, 1965, 378 pp. [Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. — М.: Недра, 1965. — 378 с.]
3. **Maslov N. N.** Fundamentals of engineering geology and soil mechanics, Moscow, Higher school, 1982, 512 pp. [Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. — М.: Высш. шк., 1982. — 512 с.]
4. **Maslov N. N.** Physical and technical theory of clay soils creep in construction practice, Moscow, Stroyizdat, 1984, 176 pp. [Маслов Н. Н. Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительства. — М.: Стройиздат, 1984. — 176 с.]
5. **Falaleev G. N.** On the systematization of clay soils by the viscosity parameter, Modern Problems of Continuum Mechanics, Bishkek, 2013, issue 17, pp. 210–218. [Фалалеев Г. Н. О систематизации глинистых грунтов по параметру вязкости // Современные проблемы механики сплошных сред. Бишкек, 2013. — Вып. 17. — С. 210–218.]