

**А.М.ЖУКОВА**, аспирант, *zhuanna85@mail.ru*  
Санкт-Петербургский государственный горный университет

**A.M.ZHUKOVA**, post-graduate student, *zhuanna85@mail.ru*  
Saint Petersburg State Mining University

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ НА ВЕРХНЕКОТЛИНСКИХ ГЛИНАХ ВЕРХНЕГО ВЕНДА (САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)

Указана необходимость анализа коренных глин нижнего кембрия и верхнего венда как трещиновато-блочной среды и учета влияния микро- и макротрещиноватости толщи в расчетах устойчивости. Рассмотрено влияние размера образца верхнекотлинских глин верхнего венда на величину сцепления и модуля общей деформации в зависимости от уровня напряженного состояния.

Рекомендовано влияние микротрещиноватости на показатели механических свойств глин изучать в лабораторных условиях, а влияние макротрещиноватости – при полевых испытаниях либо расчетным методом.

**Ключевые слова:** коренные глины, оценка устойчивости, расчетное сопротивление, осадка, прочность, параметры сопротивления сдвигу, масштабный эффект, трехосные испытания.

## GEOTECHNICAL ENGINEERING PROVIDING OF STABILITY ANALYSIS OF BUILDINGS AND STRUCTURES ERECTED ON THE UPPER VENDIAN CLAYS (SAINT PETERSBURG)

The need to analyze clays of the Lower Cambrian and the Upper Vendian as the crack-block structure, taking into account the influence of micro- and makrojointing of rocks in the calculation of stability, is indicated. The influence of sample size of the Upper Vendian clays on the value of cohesion and modulus of total deformation, depending on the level of stress and strain conditions, was analyzed. The influence of microcracks on the mechanical properties of clays is recommended to study under laboratory conditions, makrocracks – through field testing or calculation method.

**Key words:** pre-quaternary clays, sustainability assessment, design strength, sediment, strength, shear strength parameters, the scale effect, triaxial tests.

Надежность расчетов длительной устойчивости сооружений, проектируемых по II либо I предельным состояниям во многом зависит от достоверности показателей сопротивления сдвигу и деформационных свойств пород основания.

При проектировании зданий по II предельному состоянию для оценки возможно-

сти использования модели линейно-деформируемой среды определяется расчетное сопротивление, в формуле которого основными параметрами свойств грунтов служат сцепление и угол внутреннего трения несущего слоя. Для оценки осадок зданий и сооружений и их неравномерности как основных критериев при проектировании

по II предельному состоянию, необходимо использовать величину модуля общей деформации.

В разрезе территории Санкт-Петербурга при проектировании капитальных и уникальных зданий, а также реконструкции старинных зданий и архитектурно-исторических памятников особое внимание следует уделять слабым водонасыщенным четвертичным грунтам и коренным глинам верхнего венда и нижнего кембрия, залегающим под ними. История геологического развития данной территории во многом определяет особенности их строения дочетвертичных глин. Для них характерна трещиноватость различного генезиса, интенсивность которой меняется по глубине и зависит от положения тектонических разломов.

Зона основания, представленная дочетвертичными глинами, должна рассматриваться как трещиновато-блочная среда, от трещиноватости которой зависят показатели сопротивления сдвигу и деформационная способность пород.

Строительство сооружений, в основании которых залегают трещиноватые нижнекембрийские глины, неоднократно сопровождалось переходом здания в аварийное или предаварийное состояние. В Пушкине в конце XX в. произошла авария девятиэтажного жилого здания, связанная с выпором пород из-под фундамента. При проектировании сооружения в расчетах использовались показатели сопротивления сдвигу синих глин, но не учитывалась их трещиноватость. Сцепление и угол внутреннего трения устанавливались по результатам испытаний в срезных приборах, что не позволяло оценить влияние даже микротрещиноватости. Результатом стало значительное завышение расчетных сопротивления и предельного давления на основание. Так как проектное давление от здания было ниже этих значений, никаких опасений по поводу потери устойчивости не возникло. Начало развития значительных и неравномерных осадок наблюдалось уже при возведении шестого этажа, а дальнейшее увеличение этажности привело к выпору породы из-под фундамента. Тем не менее здание было подведено под крышу и дало крен 27°, после чего было взорвано как не подлежащее ремонту.

При анализе причин аварии были выполнены расчеты сопротивления и предельного давления на основание с использованием параметров сопротивления сдвигу, полученных при проведении неконсолидированно-недренированных испытаний в условиях трехосного сжатия, которые позволили учесть микротрещиноватость глин. Влияние макротрещиноватости на снижение сцепления оценивалось с помощью коэффициента структурного ослабления. Расчетное сопротивление и предельное давление на основание, определенные с учетом трещиноватости глин, вполне согласовывались с реальными давлениями от сооружения, при которых началось развитие незатухающих деформаций и при дальнейшем росте давлений интенсивное выдавливание грунта.\*

Для верхнекотлинских глин венда данные по влиянию трещиноватости на их прочность и деформационную способность практически отсутствуют.

Влияние микротрещиноватости возможно оценить в лабораторных условиях путем исследования образцов различного размера с учетом масштабного эффекта одноосного сжатия. Здесь приведены результаты изучения влияния напряженного состояния на изменение прочности образцов верхнекотлинских глин венда различного размера в приборах трехосного сжатия. Образцы имели максимально возможную сохранность естественного сложения и прочности структурных связей, поскольку отбирались из подземной выработки на глубине 60 м (20 м от кровли вендских глин) вне зоны тектонических разломов.

---

\* Дашко Р.Э. Механика горных пород: Учебник для вузов. М., 1987.

Dashko R.E. Rock mechanics: Textbook. Moscow, 1987.

Дашко Р.Э. Инженерно-геологические особенности коренных глин Санкт-Петербурга как среды для размещения подземных сооружений / Р.Э.Дашко, А.А.Еремеева // Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий: Мат. Междунар. симп. Екатеринбург, 2001. Т.1.

Dashko R.E., Eremeeva A.A. Engineering geological peculiarities of Pre-Quaternary clays of Saint-Petersburg as surroundings for underground structures// Engineering geological problems of urbanized territories: Materials of international symposium. Ekaterinburg, 2001. Vol.1.

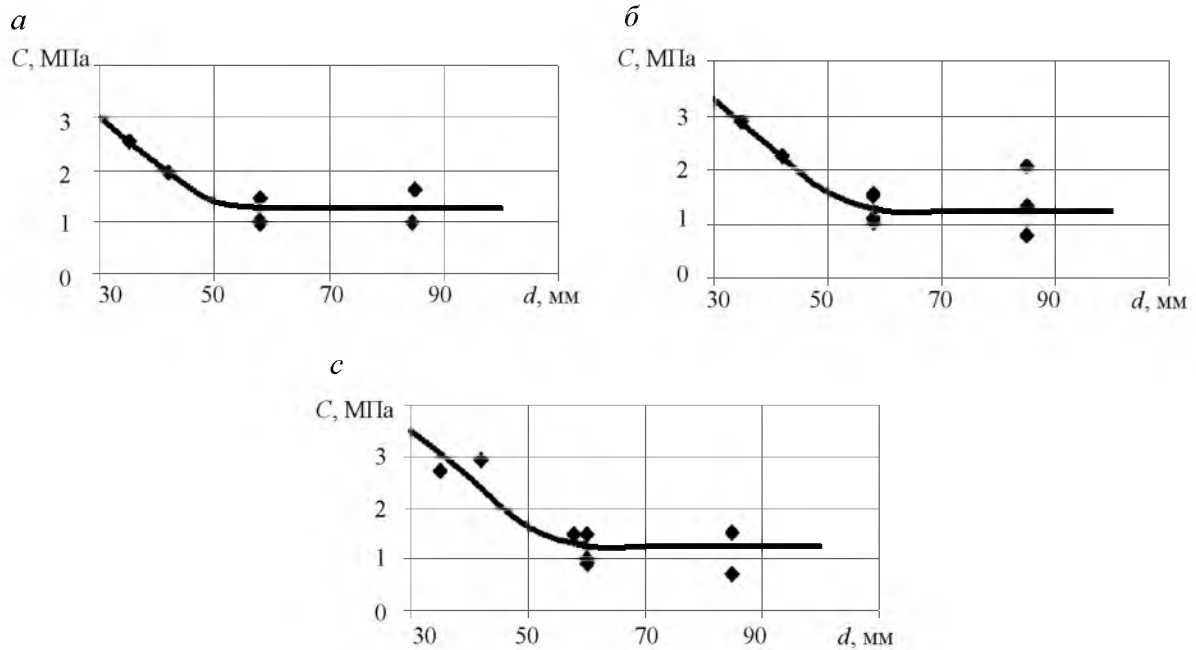


Рис. 1. Зависимость сцепления верхнекотлинских глин верхнего венда от диаметра исследуемого образца  $d$ :  
 $a$  – при  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ;  $b$  – при  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0,5$  МПа;  $c$  –  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0,75$  МПа

Все исследованные образцы имели близкие показатели физических свойств (влажность 11-12 %, плотность 2,27-2,28 г/см<sup>3</sup>). Для оценки масштабного эффекта испытывались образцы диаметром от 35 до 85 мм с соотношением диаметра к высоте 1:2 при всестороннем давлении 0; 0,5 и 0,75 МПа, соответствующем напряженно-деформированному состоянию таких пород в массиве, а также в основании тяжелого сооружения.

Для каждого из образцов было рассчитано сцепление. Угол внутреннего трения определялся методом «плашка по плашке» и составил 18° при естественной влажности образцов, а при увлажнении поверхности скольжения 15°. Увлажнение поверхности трещин в толще глин может происходить за счет восходящего перетекания вод высоконапорного нижнекотлинского водоносного горизонта (напор до 100 м). Установлено, что влияние такого перетекания наблюдается во всех перегонных тоннелях метрополитена, которые пройдены в средней или нижней частях разреза верхнекотлинских глин, особенно под тальвегами погребенных долин.

Данные экспериментов позволили сде-

лать два принципиальных вывода (рис. 1):

- при увеличении диаметра испытуемого образца более 60 мм величина  $C$  стремится к постоянному значению. Следовательно, для определения прочности с учетом микротрещиноватости оптимальный диаметр должен составлять 60 мм, испытание образцов большего размера не имеет смысла;

- напряженное состояние не влияет на изменение прочности образцов и величину  $C$ , полученную на образцах диаметром около 60 мм. Для оценки масштабного эффекта в таких породах достаточно произвести опыты в условиях одноосного сжатия.

По данным испытаний была получена также зависимость модуля общей деформации  $E_0$  от объемного напряженного состояния, позволяющая выявить определенные закономерности (рис.2). С ростом объемного напряжения соответственно увеличивается  $E_0$ , при этом наиболее высокие значения  $E_0$  получены для образцов наименьшего размера. Результаты испытаний образцов диаметром 35-42 мм показывают достаточно высокую сходимость, но при диаметре об-

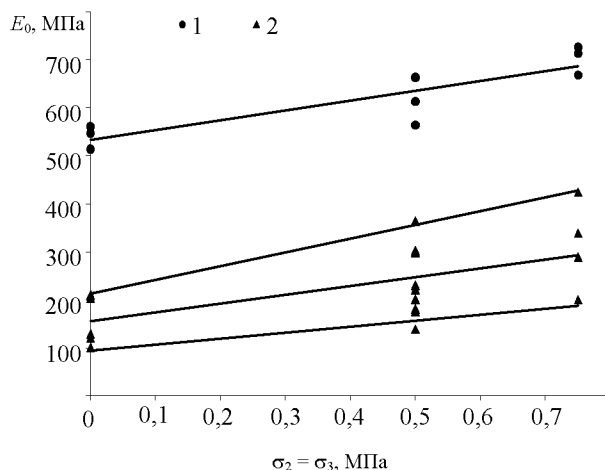


Рис. 2. Зависимость модуля общей деформации верхнекотлинских глин верхнего от напряженного состояния для образцов диаметром  $d = 38$  мм (1) и  $d = 60-85$  мм (2)

разца более 60 мм – наблюдаются большой разброс данных испытаний. Эта тенденция объясняется ростом количества дефектов и неоднородностей в образце с увеличением его объема.

Наиболее эффективным способом учета влияния макротрещиноватости на прочность и деформируемость пород являются полевые испытания. Поскольку кровля глин верхнего венда вскрывается на значительной глубине (от 15 до 120 м в зависимости

от положения погребенных долин), полевые методы ограничиваются прессиометрическими испытаниями, позволяющими получить деформационные характеристики на ограниченной глубине.

Для учета влияния макротрещиноватости на величину сцепления может быть использован коэффициент структурного ослабления, который зависит от петрографического типа пород, трещиноватости, мощности зоны деформируемости. Для определения модуля общей деформации  $E_0$  трещиноватого массива можно воспользоваться подходом, рекомендованным К.В. Руппнейтом, позволяющим определить  $E_0$  в массиве в зависимости от параметров трещиноватости.

Таким образом, при проектировании сооружений по II предельному состоянию величина расчетного сопротивления  $R$  при использовании лабораторных данных, полученных на образцах небольшого диаметра (до 60 мм), может превышать величину  $R$ , полученную с учетом микро- и макротрещиноватости в 5 раз, а величина осадки при использовании  $E_0$  с учетом трещиноватости глин может превосходить прогнозируемые деформации в условиях пренебрежения трещиноватостью в 10 раз.

Научный руководитель проф. *Р.Э. Дашко*