

Исследование механического поведения протерозойских глин Карасев М. А.¹, Петров Д. Н.²

¹Карасев Максим Анатольевич / Karasev Maxim Anatolievich – кандидат технических наук, доцент;

²Петров Дмитрий Николаевич / Petrov Dmitri Nikolayevich – кандидат технических наук, доцент,
кафедра строительства горных предприятий и подземных сооружений, строительный факультет,
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация: в статье представлены результаты изучения деформационных свойств протерозойских глин. Установлено, что они обладают анизотропией механических свойств. Получены зависимости изменения деформационных свойств от достигнутой величины напряжений и деформаций.

Ключевые слова: деформационные свойства, протерозойские глины, слоистость, анизотропия, малые деформации, лабораторные испытания.

Строительство подземных сооружений всегда сопряжено с изменением напряженного состояния породного массива, что приводит к проявлению различных геомеханических процессов. Это выражается в виде деформаций породного массива, которое влечет за собой смещение породного контура, формировании нагрузки на обделку подземного сооружения, оседании земной поверхности и в виде других негативных процессов. Прогноз геомеханических процессов должен быть выполнен заранее на стадии проектирования, что снизит риски при строительстве подземных сооружений, при этом должны быть учтены современные представления о деформировании грунтов.

В последнее время все более интенсивно в практику проектирования подземных сооружений входят численные методы анализа, которые позволили не только выполнять расчеты с учетом пространственной конфигурации подземных сооружений и учетом последовательности их строительства, но и учитывать различные особенности механического поведения пород, которые раньше невозможно было учесть. Несмотря на то, что область решения практических инженерных задач значительно расширилась с внедрением численных методов и современных моделей сред в практику проектирования подземных сооружений, существенно изменились и требования к исходным данным, в частности к изучению механических свойств грунтов [1-5].

Основное внимание при изучении механических свойств уделяется вопросам оценки допредельной стадии деформирования грунтов, а также предельным прочностным показателям, так как именно поведения грунтов на данной стадии в основном определяет те геомеханические процессы, которые происходят в окрестности подземных сооружений. Изучение механического поведения в запредельной стадии также является важным для грунтов, которые испытывают хрупкий характер разрушения, однако данные особенности поведения не нашли на настоящий момент широкого внедрения в существующих моделях поведения геоматериалов. Важной особенностью механического поведения грунтов является анизотропия, которая вносит значительный вклад в те геомеханические процессы, которые происходят в грунтовом массиве под воздействием строительных работ и должны учитываться при выполнении расчетов.

Исследования механического поведения протерозойской глины выполнялись в лабораторных условиях на различном прессовом оборудовании. Исходным материалом для изготовления образцов служили монолиты протерозойской глины, отобранные из забоя центрального станционного тоннеля станции метрополитена «Бухарестская» и станции метрополитена «Проспект славы» в городе Санкт-Петербург, а также некоторые данные, полученные при изучении механических протерозойских на образцах, отобранных из забоя станции «Международная», и были предоставлены специалистами «Ленметрогипротранс». Глубина заложения участка отбора проб составляла приблизительно 60 м от поверхности земли. Отобранные монолиты включали в себя протерозойскую глину (станция метрополитена «Бухарестская») и протерозойскую глину с включением прослоек песчаника (станция метрополитена «Проспект славы»). Монолиты, которые преимущественно состояли из песчаника, отбраковывались, и образцы для последующих лабораторных испытаний из таких кусков не изготавливались.

Изучение механического поведения протерозойских глин осуществлялось через комплекс стандартных лабораторных испытаний, которые включали в себя испытания при одноосном сжатии, косвенные испытания для определения прочности на одноосное растяжение, сдвиговые испытания и испытания в условиях объемного напряженного состояния. Полученные результаты лабораторных исследований дополнялись результатами изучения механических свойств, полученных авторами работы ранее, при изучении механических свойств протерозойских глин на образцах, отобранных на других площадках.

Анализ результатов лабораторных испытаний образцов протерозойской глины в условиях одноосного сжатия позволил установить следующее. Нелинейная взаимосвязь между напряжениями и деформациями установлена на начальной стадии деформирования образца, в диапазоне малых деформаций и на

заключительном участке допредельной стадии деформирования. Средний модуль деформации после обработки 16 испытаний составил 277 МПа в направлении перпендикулярно слоистости и 567 МПа в направлении параллельно слоистости. Средний модуль упругости, полученный по кривым разгрузки, составил 610 в направлении перпендикулярно слоистости и 1393 в направлении параллельно слоистости. Коэффициент поперечной деформаций равен 0.1 и 0.2 соответственно в направлении перпендикулярно и параллельно слоистости. Средняя прочность на одноосное сжатие в направлении перпендикулярно слоистости равна 2.7 МПа, в направлении параллельно слоистости - 3.0 МПа.

Таким образом, коэффициент анизотропии деформационных свойств, выраженный через отношение модуля деформации параллельно слоистости к модулю деформации перпендикулярно слоистости, равен 2.05. Коэффициент анизотропии деформационных свойств, выраженный через отношение модуля упругости параллельно слоистости к модулю упругости перпендикулярно слоистости, равен 1.91. Коэффициент анизотропии прочностных свойств, выраженный через отношение прочности породы на одноосное сжатие параллельно слоистости к прочности на одноосное сжатие перпендикулярно слоистости, равен 1.12. Отношение модуля упругости к модулю деформации протерозойской глины в направлении перпендикулярно и параллельно слоистости соответственно равно 2.20 и 2.06.

Полученные результаты достаточно хорошо соотносятся с предыдущими исследованиями. Однако величина анизотропии деформационных свойств несколько меньше, что может объясняться наличием значительного включения песчаника в тело протерозойской глины.

В диапазоне малых деформаций наблюдалось нелинейное поведение глины (рисунок 1), которое удобно представить в виде зависимости касательного модуля деформаций от величины достигнутых продольных относительных деформаций. Величина касательного модуля деформаций имеет наибольшее значение в начальной стадии деформирования с постепенным его уменьшением до постоянного значения, соответствующего модулю деформации при величине напряжений, равных 50% от предела прочности. Такие результаты были получены при испытании всех 16 образцов протерозойской глины, как в направлении перпендикулярно слоистости, так и параллельно слоистости, что подтверждает не случайность данного эффекта, а присущее данной породе поведение. При этом начальное значение модуля деформации отличалось от модуля деформации на 50% предела прочности примерно в 4-7 раз. Граничная величина деформаций, после которой касательный модуль в диапазоне малых деформаций не изменяется, приблизительно равна 0.02-0.025 д.е. Максимальное значение начального модуля деформации определить локальными датчиками деформаций не представляется возможным, так как находится за пределами точности локальных датчиков и должно выполняться одним из динамических методов. Такие испытания при выполнении настоящей работы не рассматривались.

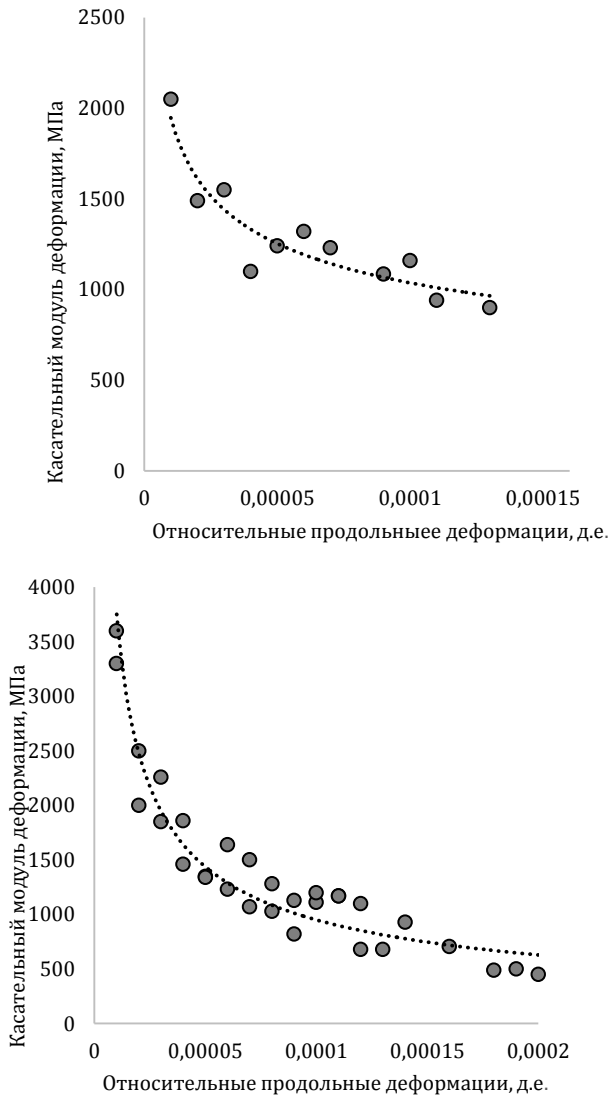


Рис. 1. Изменение касательного модуля деформации протерозойской глины в зависимости от достигнутой величины относительных продольных деформаций (приведены типовые зависимости)

Результаты обработки испытаний протерозойских представлены в виде диаграмм изменения модуля деформации от минимальных главных напряжений (рисунок 2). Из представленных зависимостей видно, что увеличение напряжений способствующих обжатию пород показателей деформационных свойств возрастают. Данный эффект характерен как для испытаний, проводимых в направлении перпендикулярно слоистости, так и для испытаний в направлении параллельно слоистости. Более ярко рост деформационных свойств можно наблюдать при испытании в направлении перпендикулярно слоистости. Так увеличение минимальных главных напряжений с 0.5 до 5.0 МПа увеличивает модуль деформации с 500 МПа до 1100, то есть в 2.2 раза. В рассматриваемом диапазоне изменения минимальных главных напряжений модуль деформации в направлении параллельно слоистости увеличился в 1.35 раза с 1200 до 1620 МПа. Схожие результаты были получены и при обработке результатов испытаний протерозойской глины, образцы которой были отобраны со станций метрополитена «Бухарестская» и «Международная».

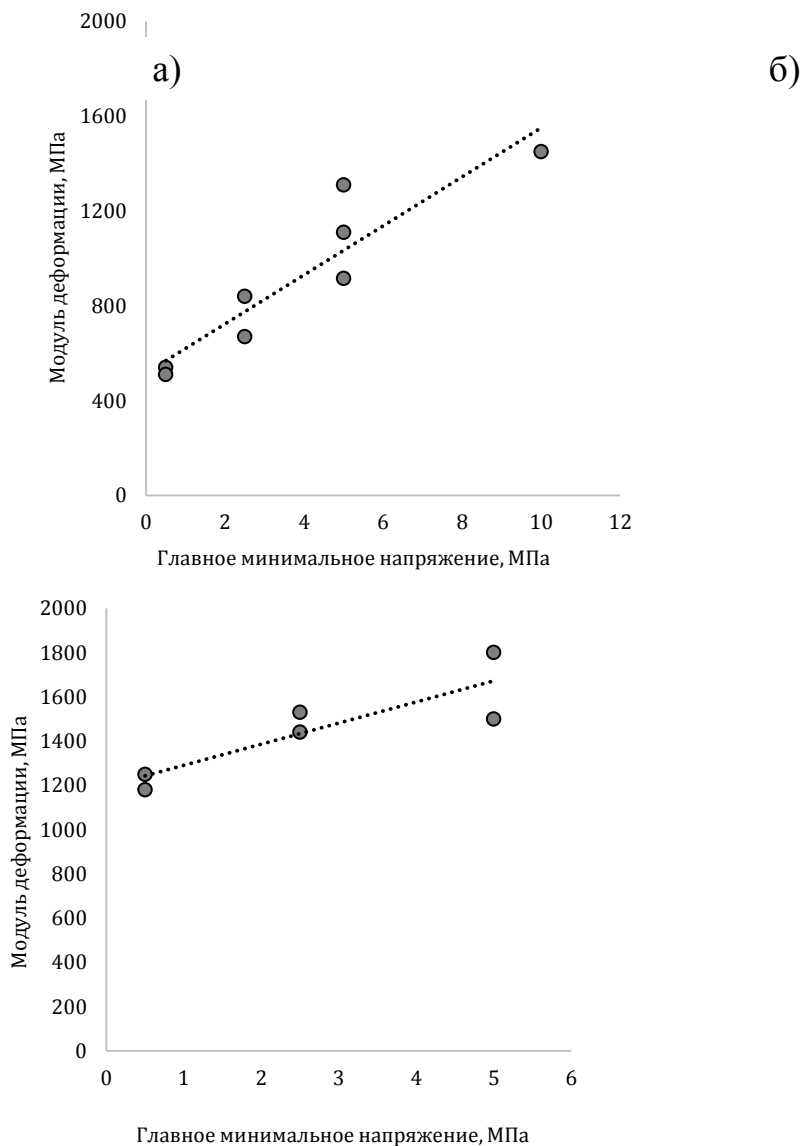


Рис. 2. Зависимость модуля деформации породы от величины всестороннего обжатия (ст. метрополитена «Проспект Славы»): а – испытания в направлении перпендикулярно слоистости; б – в направлении параллельно слоистости

Полученные результаты лабораторных исследований позволили более полно получить представление о деформировании и разрушении протерозойских глин и могут быть использованы в качестве материала для изучения ее поведения, разработки новых или адаптации существующих уравнений состояния материала, а также на стадии проектировании подземных сооружений в рассматриваемых глинах.

Литература

1. Ломтадзе В. Д. Инженерно-геологическая характеристика и оценка пород Ленинграда. Отчет по НИР. Фонды СПбГТИ, 1967.
2. Дашко Р. Э. Геотехническая диагностика коренных глин Санкт-Петербургского региона (на примере нмжнекембрийской толщи). // Реконструкция городов и геотехническое строительство, 2000. № 1. Стр. 24-28.
3. Безродный К. П., Сильвестров С. Н., Карташов Ю. М. Особенности деформирования протерозойских глин. / Ж. Метрострой. № 6, 1982.
4. Бажин Н. П., Петров В. А., Карташов Ю. М., Баженов А. И. Результаты исследования физико-механических свойств кембрийских глин. // Горное давление, сдвигание горных пород и методика маркшейдерских работ: Труды ВНИМИ. Л., 1964 г. Вып. LIII. С. 49-63.

5. Жукова А. М. Инженерно-геологическое обоснование строительства высотных зданий в г. Санкт-Петербурге.