

УДК 624.131

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЛЕССОВЫХ ПОРОД

Садовенко И. А., Деревягина Н. И.
(ГВУЗ "НГУ", г. Днепрпетровск, Украина)

На підставі експериментальних досліджень оцінено зміни, що відбуваються в лесових породах при їх насиченні і фільтрації ґрунтового потоку. Виявлено стадії розвитку ерозійних розмивів.

Based on the experimental studies changes in loesses when saturated and filtrated by groundwater flow are evaluated. Stages of erosion cavities are identified.

В работе [1] нами были оценены изменения, происходящие в лессах при их насыщении и фильтрации техногенного грунтового потока, которые провоцируют процесс перехода структуры лесса в качественно новый с изменением характера структурных связей и новыми геомеханическими показателями. По результатам экспериментов в приборе трехосного сжатия TriSCAN, VJTech Великобритании, была установлена инверсия фильтрационной анизотропии лессов в сравнении с ее природным положением. При радиальной нагрузке $\sigma_3 = 300$ кПа наблюдалась суффозия, переходящая в эрозионный размыв с предваряющей фазой формирования гидравлически инертных полостей. Исходя из полученных результатов была проведена дополнительная серия испытаний лессовых пород с целью установления механизма протекания перестройки структуры породы при фильтрации, а также для представления количественного характера процесса выноса грунтового материала и его изменениях в различных условиях. Для этого также были проведены гранулометрические анализы как породы в целом, так и выносимого материала.

Аналогично [1] в процессе испытаний исследовалось воздействие на грунт фильтрационного потока в направлении сверху вниз и перпендикулярно поверхностям наслоений, однако основное внимание уделялось фильтрации, которая формируется параллельно напластованию. Учитывая отсутствие прямых доказательств того, что при схеме фильтрации сверху-вниз, не происходит формирования эрозионных размывов, были проведены испытания для этой схемы фильтрации. Образцы лессовых пород четвертичного возраста балок Тоннельная и Тополиная (г. Днепропетровск) исследовались в режиме трехосного сжатия. Для того чтобы уточнить диапазоны нагрузки, при которой появляются эрозионные промоины, геостатическое давление должно составлять от 250-300 до 350 кПа. Гидравлический градиент в образце – 20 кПа, что соответствовало реальным условиям грунтового массива. Строгих диапазонов времени не устанавливалось, эксперимент прерывался при установлении постоянного затухающего характера объемных изменений в образце и затухании выноса материала или возникновения эрозионного размыва.

Первая серия испытаний отвечала условиям фильтрации по схеме сверху-вниз. На рисунке 1 приведены результаты лабораторных испытаний, которые показывают изменение объемной деформации во времени. Статистическая достоверность оценивается значениями $R^2 = 0,98...0,99$.

Отмечена суффозия с небольшим процентом вынесенных частиц и наибольшей активностью в первые часы после начала фильтрации (первые 4-5 часов). Как видно по значениям объемной деформации, определенные импульсы выноса материала пришлись на период до 2 часов, затем вынос приобрел минимальный характер, с затуханием в течение 12 часов, что соответствовало постепенной перестройке структуры образца. При последующем визуальном обследовании испытанных образцов нарушений, каверн, пустот, а также видимых зон разрыхления обнаружено не было.

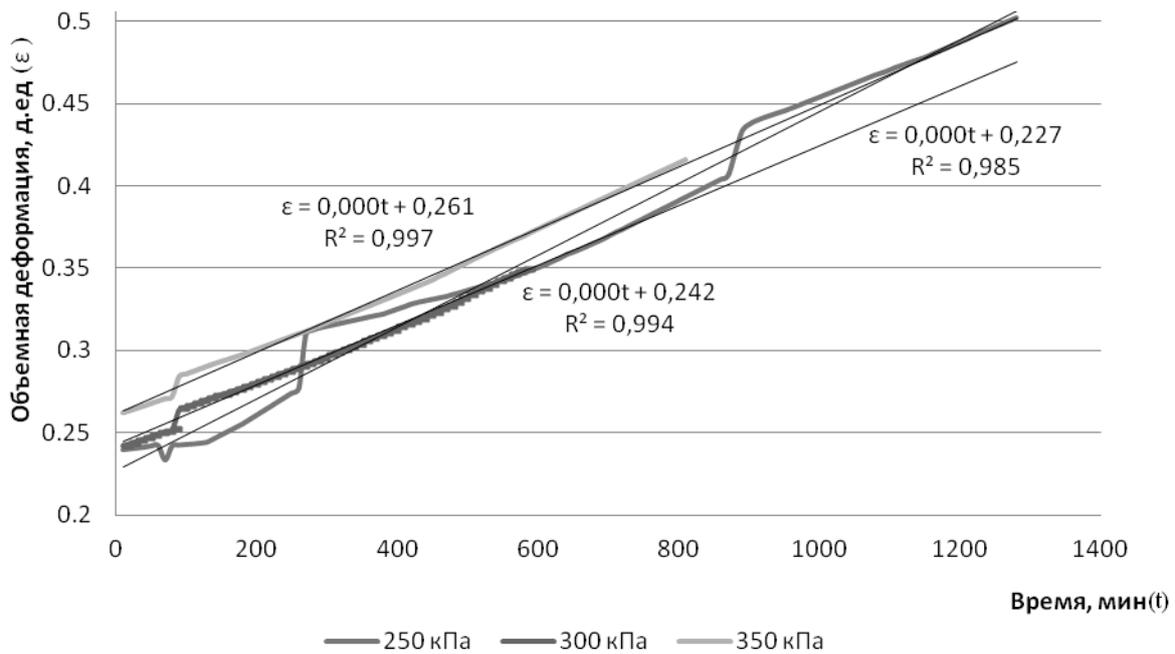


Рис. 1. Результаты испытаний лессовых пород четвертичного возраста при направлении фильтрации сверху – вниз: 250, 300, 350 кПа – радиальные нагрузки

Существенно отличаются результаты, полученные при схеме испытания параллельно напластованию. На рисунке 2 приведены изменения объемной деформации во времени для нагрузок 250 и 300 кПа соответственно. Статистическая достоверность оценивается значениями $R^2 = 0,92 \dots 0,96$.

Для всех образцов, испытанных при $\sigma_3 = 300$ кПа и для одного при $\sigma_3 = 250$ кПа, было визуально зафиксировано образование эрозионной промоины, выходящее на поверхность образца, после 6–8 часов после начала фильтрации. Зафиксировано количество выходящих частиц во время опыта и проведен гранулометрический анализ (по Сабанину) как исходного, так и вынесенного породного материала (рис. 3). Видимые изменения образцов показаны на рисунке 4.

Наиболее интенсивный вынос частиц (72 % от общей массы) происходил в период от 2,5 до 6,0 часов от начала фильтрации. На рисунке 2 видно, что в большинстве случаев, на этот промежуток времени приходятся заметные изменения значений объемной деформации образца.

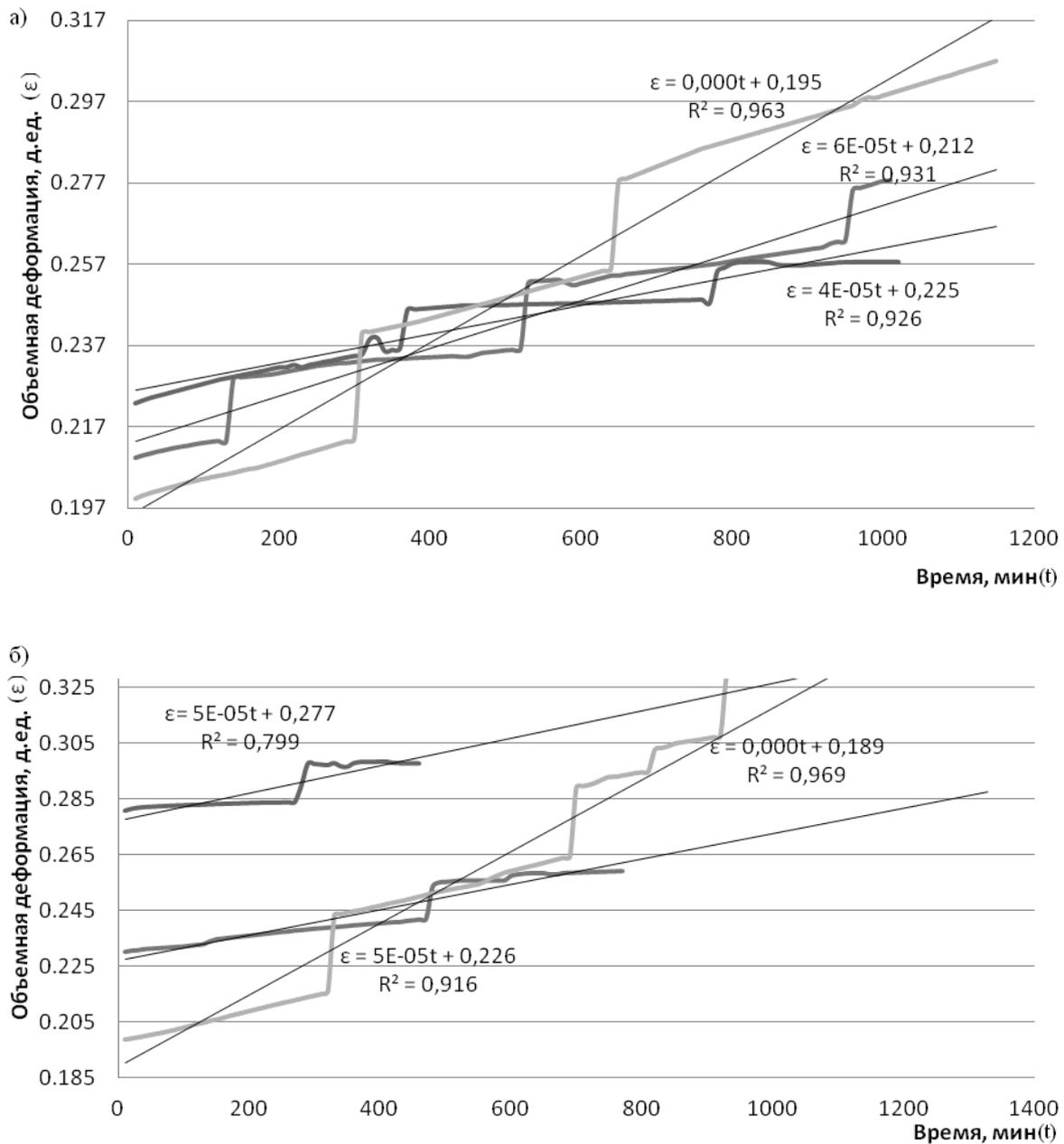


Рис. 2. Результаты испытаний лессовых пород четвертично-го возраста при фильтрации параллельно напластованию со значением геостатического давления 250 кПа (а), 300 кПа (б): 1, 2, 3 – номера образцов

Характер распределения вынесенных частиц в лессовых породах можно объяснить следующим образом. В глинистых грунтах возникновение суффозии определяется размерами пор в этих грунтах, а в лессах (прямыми микроскопическими исследованиями Астапова С. В.) выявлены отдельные поры, диаметр которых

может превышать 0,01 мм (в данном случае имеет значение также то, что фильтрация формируется параллельно напластованию).

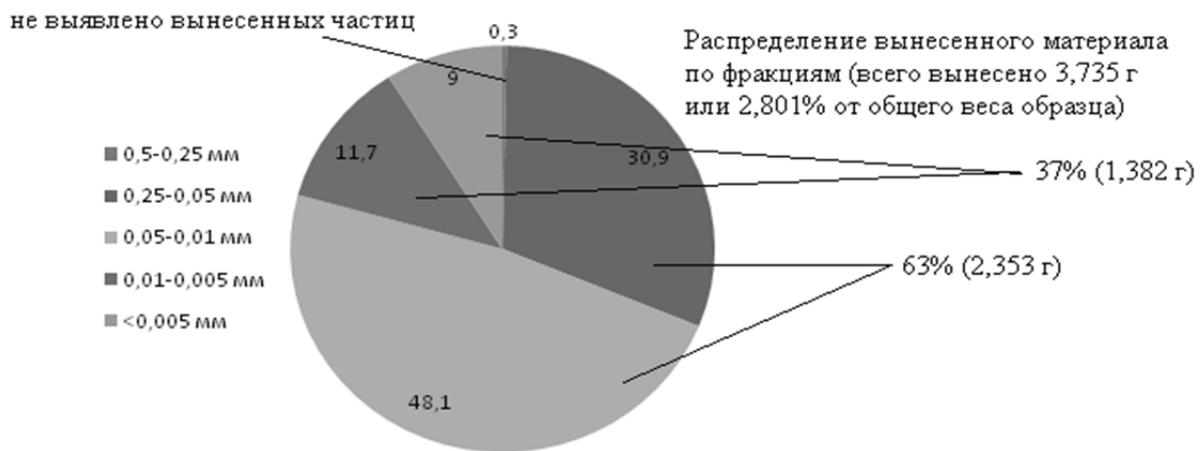


Рис. 3. Осредненные результаты гранулометрического анализа исследуемой лессовой породы в процессе суффозии

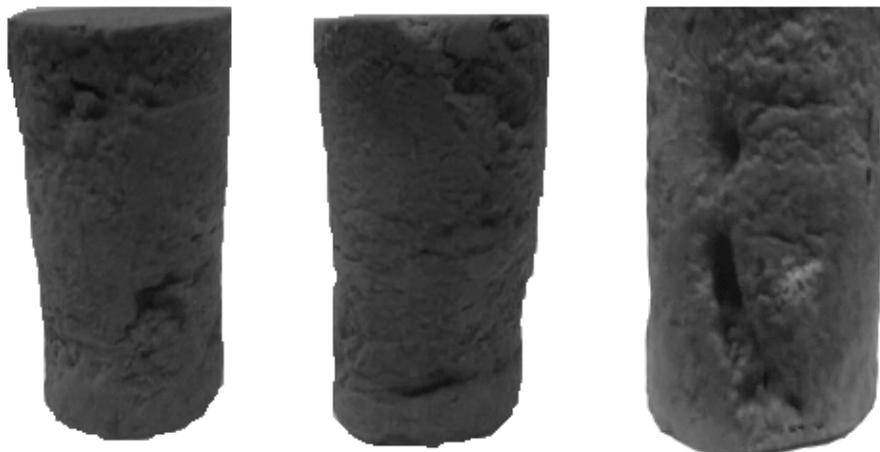


Рис. 4. Эрозионные нарушения в образцах лессовых пород для схемы фильтрации параллельно напластованию

Исходя из этого, вследствие недостаточных размеров пор, агрегаты превышающие их, не могут быть вытолкнуты из толщи грунта и для отрыва частиц меньших размеров требуются большие напряжения. Отрыв агрегатов частиц грунта (при значительном молекулярном сцеплении между агрегатами) может произойти при градиентах значительно меньших, чем для явления выноса из грунта отдельных частиц [2].

По гранулометрическому соотношению выходящих частиц, а также их периодичности и изменениям объемных деформаций можно сделать вывод, что в исследованных лессовых породах имеет место отрыв агрегатов грунта, а не отдельных частиц. Это становится возможным за счет образования микротрещин (начиная с раскрытия трещин в $0,2-5 \mu$, а возможно и меньшего), фильтрация по которым подчиняется гидравлическим закономерностям напорного движения воды [3] и соответственно начинается процесс размыва. Именно на начальных стадиях фильтрации происходил вынос относительно одинаковой фракции грунта, а впоследствии фракционный состав выноса соответствует суммарному, то есть, если бы имел место лишь отрыв отдельных частиц, то структура бы перестраивалась, образуя зону разрыхления, а не эрозионную полость.

Анализ полученных результатов изменения объемных деформаций, количественные диапазоны вынесенных частиц, а также визуальные наблюдения дали возможность выделить прогнозную зону перехода суффозии в первую стадию размыва и образования замкнутого канала с инертной стоковой поверхностью (рис. 5).

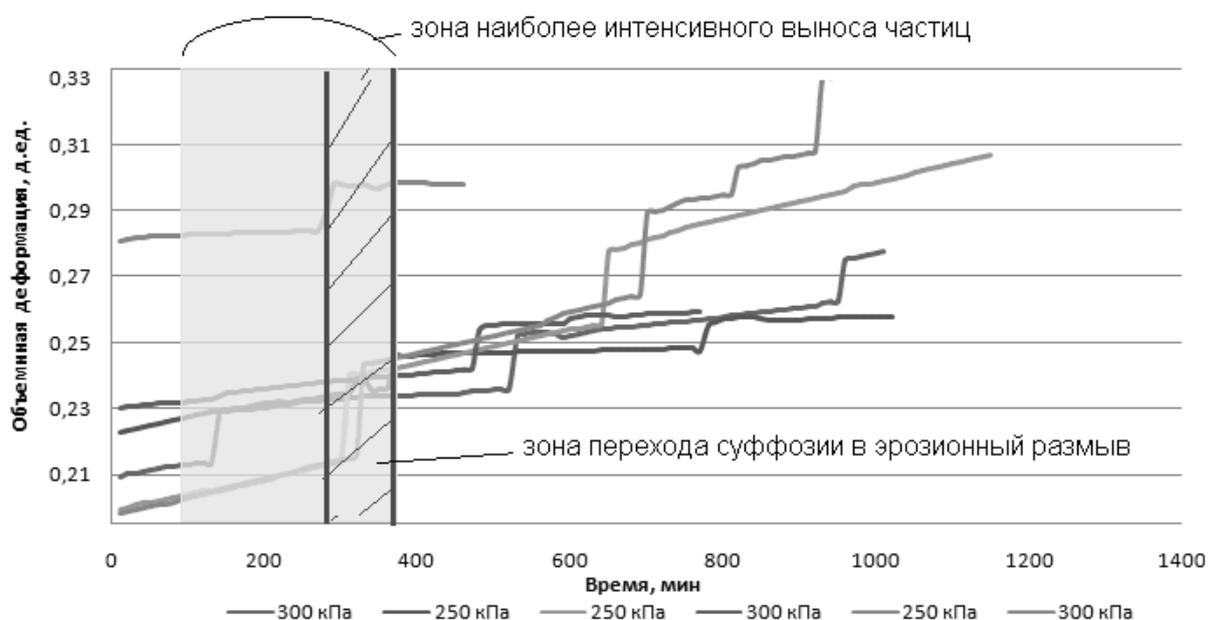


Рис. 5. Обобщенные результаты испытаний лессовых пород при направлении фильтрации параллельно напластованию: 250, 300 кПа – диапазоны нагружения

Выводы. На основании экспериментальных исследований фильтрационного движения воды в приборе трехосного сжатия оценены изменения структуры, происходящие при этом, а также установлен механизм образования эрозионных промоин в образцах. Серия испытаний фильтрационных параметров пород проведена в условиях трехосного сжатия при различных значениях нагрузок и направлениях фильтрации, геостатическое давление принималось в диапазоне 250-350 кПа, гидравлический градиент контролировался давлением в образце 20 кПа. При фильтрации в вертикальном направлении эрозионные процессы не формируются, а при фильтрации параллельно напластованию, по изменению объемной деформации, а также количества и периодичности выноса частиц, установлены прогнозные границы перехода суффозионных процессов в эрозионные. Получены средние значения выноса частиц, а также их гранулометрический состав для Приднепровского лессового суглинка (2,801 % от веса образца). Проведенные испытания являются основой для прогнозирования т.н. оползней течения, возникающих при техногенном фильтрационном нагружении склонов.

СПИСОК ССЫЛОК

1. И. А. Садовенко, Н. И. Деревягина Экспериментальные исследования суффозионных и эрозионных деформаций лессовых пород. // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 2013, № 4 (81). — С. 126—131.
2. Истомина В. С. Фильтрационная устойчивость грунтов / В. С. Истомина. — М. : Гос. изд-во лит-ры по строительству и архитектуре, 1957. — 295 с.
3. Ломизе Г. М. Фильтрация в трещиноватых породах. / Г. М. Ломизе. — М. : Госэнергоиздат, 1951. — 127 с.