

таллургии и зол гидроудаления для укрепления типичных грунтов Московского региона могут быть следующими: грунт (68,66%) — шлак (30%) — цемент (2—4%); грунт (62%) — зола (30%) — цемент (8%).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безрук В. М., Гурячков И. Л., Луканина Т. М., Агапова Р. А. Укрепленные грунты//Состав и применение в дорожном и аэродромном строительстве. М., 1982.
2. Поляков С. С. Сравнительная характеристика некоторых типичных грунтов Московской области антропогенного (четвертичного) возраста: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1952.

Поступила в редакцию  
31.05.89

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 4, ГЕОЛОГИЯ. 1990. № 4

УДК 624.131

В. А. Королев, М. А. Рашед, Т. С. Филимонова

#### ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОСАДКИ

В большинстве работ по изучению механизма и прогноза просадочности лёссовых пород значительное внимание уделяется анализу активного объема пор в грунте, определяющего основную долю просадочных деформаций. В связи с этим были предложены различные способы определения активной пористости в лёссах [1, 3, 7], однако чаще всего тот или иной способ дает удовлетворительные результаты лишь для лёссовых пород определенного региона. С другой стороны, весьма слабо изученным остается вопрос о кинетике изменения соотношения твердой, газовой и жидкой фаз в лёссовом грунте в процессе его замачивания и просадки. Обычно в опытах по определению просадочности контролируются лишь исходные и конечные (после просадки) значения пористости, плотности и влажности образца, по которым можно рассчитать исходные и конечные соотношения объемов твердой, жидкой и газовой фаз. При этом остается неясной кинетика изменения соотношения фаз на всех стадиях замачивания образца и развития просадочных деформаций.

В связи с этим в данной работе приводятся результаты исследования изменения фазового состава лёссовых грунтов в процессе их просадки. Эксперименты проводились обычным способом по методу одной и двух кривых, с той лишь разницей, что в течение всего опыта контролировалось изменение массы и объема образца, а анализ полученных данных проводился с помощью треугольных диаграмм фазового состава, отражающих процентное соотношение в грунте объемных долей твердой ( $\Delta_{тв}$ ), жидкой ( $\Delta_{ж}$ ) и газообразной ( $\Delta_{г}$ ) фаз по методике, разработанной в [5].

Обработка с помощью фазовых диаграмм большого числа опубликованных и собственных данных по фазовому составу лёссовых и лёссовидных пород из разных регионов СССР показала, что просадочные и непросадочные образцы лёссовых и лёссовидных пород различного возраста и генезиса характеризуются закономерным соотношением твердой, жидкой и газовой фаз (рис. 1). При этом разброс точек на

диаграмме отражает области возможных соотношений объемных долей фаз лёссовых пород в их природном состоянии. Из полученных данных следует, что просадочные и непросадочные разности лёссовых и лёссовидных пород существенно отличаются по своему фазовому составу: для непросадочных разностей независимо от пористости пород характерно относительно низкое ( $<20\%$ ) содержание газовой фазы — воздуха в порах. Эти результаты согласуются с имеющимися данными о том, что для непросадочных лёссовых пород характерна степень водонасыщения  $K_w > 0,75$  [4, 6].

С другой стороны, одна лишь степень влажности не может являться показателем потенциальной просадочности или непросадочности лёссовых пород, поскольку величина просадочных деформаций опреде-

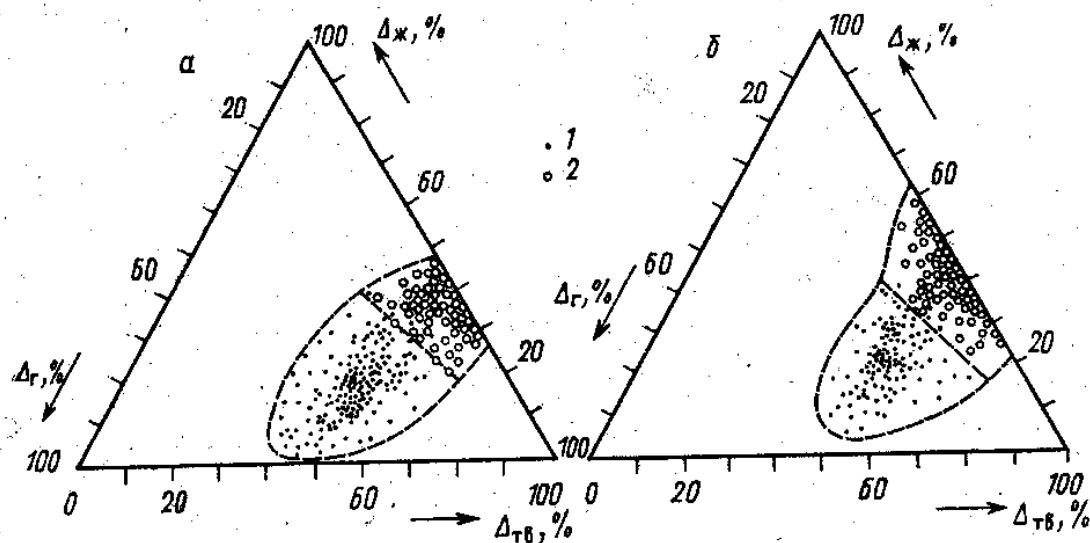


Рис. 1. Диаграммы фазового состава лёссовых (а) и лёссовидных (б) пород из различных регионов СССР: 1 — просадочные разности; 2 — непросадочные

ляется не только внутренними факторами (составом и структурными особенностями породы, исходной влажностью и степенью водонасыщения, активной пористостью и т. д.), но и внешними факторами (величиной давления, условиями замачивания, температурой, составом поступающего в грунт раствора и т. д.). Кроме того, величина  $K_w$ , отражающая соотношение объема воды и объема пор, не характеризует полный фазовый состав грунта: одно и то же значение  $K_w$  может соответствовать различному соотношению твердой, жидкой и газовой фаз в данном грунте. Поэтому анализ изменения фазового состава лёссового грунта в процессе его просадки должен основываться не на анализе изменения пористости, коэффициента пористости или  $K_w$  (так как каждый из этих показателей характеризует лишь одну фазу), а на анализе соотношения объемных долей каких-либо двух фаз, так как объемная доля третьей фазы определяется соотношением первых двух фаз [5].

На рис. 2 представлены диаграммы изменения фазового состава лёссовых грунтов из районов р. Сурхоб (ТаджССР) и Кинг-Мариут к югу от г. Александрия (АРЕ), испытываемых по методу одной кривой. Как следует из полученных данных, замачивание образцов до полной влагоемкости при отсутствии внешней нагрузки (линия 1 на рис. 2, стрелки показывают направление изменения фаз) приводит при неизменной пористости ( $\Delta_{тв} = \text{const}$ ) к уменьшению объемной доли

газовой фазы ( $d\Delta_r < 0$ ) и соответственно к увеличению объемной доли жидкой ( $d\Delta_{ж} > 0$ ). При замачивании образцов, находящихся под нагрузкой, характер изменения соотношения фаз зависит от уплотняющего давления, однако общим для всех испытываемых образцов является то, что начало уменьшения их пористости при замачивании (т. е. начальные просадочные деформации) происходит лишь при достижении влажности максимальной молекулярной влагоемкости ( $W_{ммв}$ ). На значения критической влажности, равной  $W_{ммв}$ , при которой начинается начальное просадочное уплотнение лёссовых пород, указывали Н. Я. Денисов [4], В. И. Крутов [6] и др. По мере дальнейшего увеличения влажности (сверх  $W_{ммв}$ ) в лёссовых грунтах, находящихся под

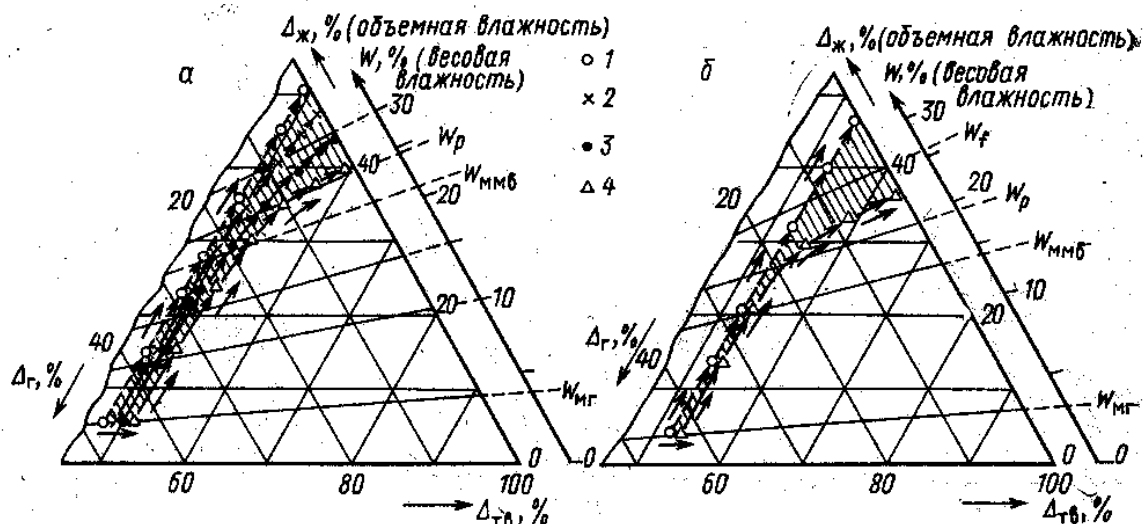


Рис. 2. Изменение в процессе просадки фазового состава лёссовых грунтов из района р. Сурхоб (а), района Кинг-Мариут (ARE) (б) при испытаниях по методу одной кривой. Нагрузка при замачивании: 1 — 0; 2 — 0,1; 3 — 0,2; 4 — 0,3 МПа

нагрузкой, происходит закономерное изменение объемных долей всех трех фаз: увеличивается содержание твердой фазы,  $d\Delta_{тв} > 0$  (уменьшается пористость), уменьшается содержание газовой фазы ( $d\Delta_r < 0$ ) и возрастает объемная доля жидкой фазы ( $d\Delta_{ж} > 0$ ). Важно отметить, что при нагрузках 0,3 МПа основные просадочные деформации в лёссовых грунтах происходят при практически постоянной весовой влажности (но увеличивающейся объемной влажности, см. рис. 2), близкой или несколько превышающей влажность нижнего предела пластичности  $W_p$ . В соответствии с этим послепросадочная весовая влажность лёссовых грунтов оказывается также близкой к  $W_p$ . Разность между начальной и послепросадочной пористостью лёссового грунта соответствует «активной» пористости и легко определяется по диаграмме. Это, в частности, согласуется с данными Л. Г. Балаева [2] по исследованию послепросадочной влажности лёссовых пород Предкавказья. Аналогичные зависимости, приведенные на фазовых диаграммах (рис. 2), получены нами и на различных других лёссовых породах из Средней Азии, Западной Сибири, Украины. Таким образом, при испытании лёссовых пород на просадочность по методу одной кривой весовая влажность образца в течение всего опыта сначала возрастает, а затем, в период основных просадочных деформаций, остается почти постоянной.

Совсем иной характер имеет изменение фазового состава лёссовых грунтов при испытаниях по методу двух кривых. На рис. 3 представ-

лена фазовая диаграмма лёссовидного суглинка дельты р. Акча-Дарьи (Каракалпакская АССР), построенная по результатам компрессионных испытаний шести образцов, имеющих одинаковую пористость, но разную исходную влажность и степень водонасыщения (стрелки на рис. 3 отражают направление изменения объемных долей фаз при компрессии). Как следует из полученных данных, компрессионное уплотнение образцов, имеющих исходную влажность  $< W_{\text{мвб}}, \approx W_p$ , при нагрузках от 0,1 до 0,3 МПа происходит при практически постоянной весовой влажности, равной исходной. Очевидно, при  $W < W_{\text{мвб}}$  внешнее давление практически не передается на поровую воду, находящуюся в «стыковом» разобленном состоянии и заземленную воздухом. К тому же наличие связанной воды и «стыковой» капиллярной влаги в лёссовом грунте лишь незначительно уменьшает его структурную прочность вследствие гидратационного понижения прочности структурных связей на контактах частиц. При  $W > W_{\text{мвб}} \approx W_p$  часть внешнего уплотняющего

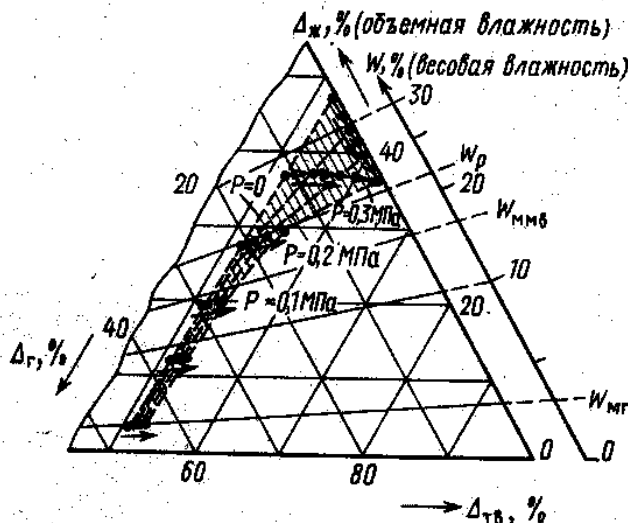


Рис. 3. Изменение фазового состава лёссовидного суглинка из района дельты р. Акча-Дарьи при компрессионном уплотнении образцов различной исходной влажности

давления постепенно передается на воду в порах и под действием возникающего гидростатического давления часть воды отфильтровывается, в связи с чем весовая влажность снижается по сравнению с исходной (рис. 3), и это снижение тем больше, чем выше исходная степень водонасыщения образца. Таким образом, при испытаниях лёссовых пород по методу двух кривых в замачиваемом образце происходит изменение соотношения каких-либо двух фаз: весовая влажность образца сначала увеличивается в результате его насыщения вплоть до полной влагоемкости (при  $\Delta_t = \text{const}$ ), а затем снижается в результате компрессии и отжима влаги ( $\Delta_t \approx 0 = \text{const}$ ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьев В. П., Воляник Н. В., Гусов С. В. Активная компрессионная пористость лёссовых грунтов // Генезис, просадочность лёссовых пород и методы их изучения. Ташкент, 1985. С. 130—133.
2. Балаев Л. Г., Царев П. В. Лёссовые породы Центрального и Восточного Предкавказья. М., 1964.
3. Воляник Н. В. Оценка просадочности лёссовых толщ по их термодинамическим характеристикам // Инж. геол. 1989. № 1. С. 19—27.
4. Денисов Н. Я. Природа прочности и деформаций грунтов. М., 1972.
5. Королев В. А. Термодинамические закономерности формирования фазового состава немерзлых дисперсных грунтов // Инж. геол. 1989. № 3. С. 17—32.
6. Крутов В. И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах. Киев, 1982.
7. Финаев И. В., Канаков Г. В., Рудченко Э. Г., Токарев В. Д. К вопросу о границе активной пористости лёссовых пород при оценке их просадочности // Генезис, просадочность лёссовых пород и методы их изучения. Ташкент, 1985. С. 179—182.

Поступила в редакцию  
23.06.89