

Н. А. ПЛАТОВ, И. М. ГОРЬКОВА

ТИПЫ ДЕФОРМАЦИОННОГО И РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 16 VII 1974)

Комплексная оценка осадочных пород позволила научно-обоснованно определить деформационное и реологическое поведение песчаных пород по совокупности прямых количественных классификационных показателей, таких как характеристики дисперсности, типа структурных связей, плотности, влажности, прочности и т. д.

Исследовались образцы песчаных пород пяти геолого-генетических типов: аллювиальные, морские и эоловые песчаные породы (районы гг. Сабиле и Энгуря ЛатвССР), нерасчлененные флювиогляциальные и озерноледниковые (район г. Загорска) и древнеаллювиальные (район г. Львова).

Систематическими исследованиями (¹⁻⁴) было установлено, что среди изученных песчаных пород необходимо различать несколько типов деформационного и реологического поведения — пльвуности, тиксотропности и дилатантности. Эти исследования проводились следующим образом: 1) при помощи копического пластометра с углом заострения индентора 30° определялась структурная прочность пород (P_m); 2) на усовершенствованном приборе Литвинова определялось сопротивление песчаных пород одноплоскостному сдвигу без вертикальной нагрузки, т. е. по методу получения кривых кинетики развития деформации чистого однородного сдвига под действием постоянных напряжений, возрастающих от опыта к опыту; 3) на вибровискозиметре конструкции НИЛФХММ и ТП исследовались реологические свойства пород — для определения реологических характеристик при вибрационном воздействии использовались уравнения гидродинамики Навье — Стокса, поскольку все системы при вибрации становятся близкими к ньютоновским (⁵).

Использование методов физико-химической механики и комплексной оценки структурно-механических свойств осадочных пород позволило среди изученных пород выделить три типа деформационного и реологического поведения.

Дилатантные песчаные породы практически лишены сцепления, основную роль в них играет внутреннее трение, разупрочнение при вибрации в них кратковременно, но они сильно уплотняются после механического воздействия. Примером могут служить эоловые песчаные породы ($\delta_{ск} = 1,44$ г/см³), которые обладают весьма слабыми структурными связями (капиллярными) в естественном состоянии и относительно слабой степенью разупрочнения (в водонасыщенном состоянии при вибрации находятся в разупрочненном состоянии менее 1 мин. — рис. 1а; виброчувствительность к нарушению структуры в этот момент составляет 1,2—1,5). По составу хорошо отсортированные мелкозернистые пески содержат обычно менее 1% тонкодисперсной фракции (минералы высокодисперсного кварца и типа гидрослюды). Частицы преобладающей фракции 0,25—0,1 мм имеют округлую, сглаженную форму, по характеру поверхности зерна ровные и полуровные, с мелкими углублениями (рис. 2, 1а, 1б). Данные пески обладают низкими значениями прочности. В воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях при ненарушенном сложении имеют

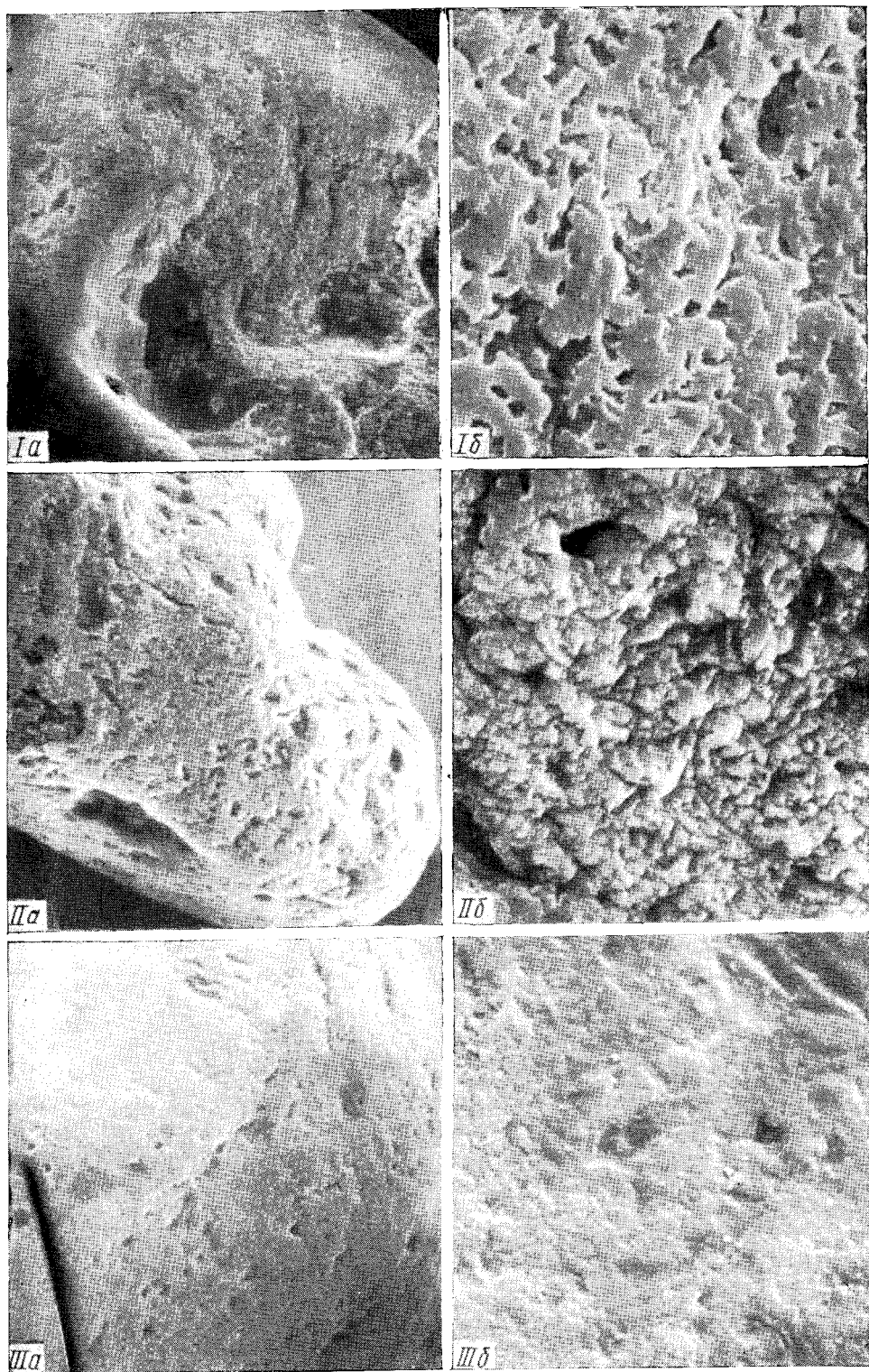


Рис. 2. Форма и характер поверхности частиц 0,25–0,1 мм песчаных пород золотого (I), морского (II) и древнеаллювиального (III) генезиса. а – 300×, б – 3000×

прочность менее 100 г/см^2 , в естественновлажном — не более 170 г/см^2 (^{3, 4}). Чувствительность к нарушению во всех влажностных состояниях колеблется от 2 до 3. Развитие деформаций сдвига протекает очень быстро (10—30 сек). Этим породам свойственна малая величина условного предела текучести, предела прочности, при напряжениях выше которого происходит лавинное разрушение структуры.

Тиксотропно-дilatантные песчаные породы отличаются выраженным сцеплением, коагуляционными структурными связями, разупрочняются при вибрации, но затем тиксотропно упрочняются в покое. К ним относятся аллювиальные и морские песчаные породы ($\delta_{\text{ск}}=1,27-1,45 \text{ г/см}^3$), которые обладают средней степенью разупрочнения (в водонасыщенном состоянии при вибрации находятся в разупрочненном состоянии 1—2 мин. — рис. 1б, при этом виброчувствительность к нарушению структуры колеблется от 1,5 до 2,5). Им свойственны коагуляционно-цементационные структурные связи в естественно-влажном и воздушно-сухом состояниях. По своему составу средне- и плохо отсортированные мелко- и среднезернистые пески содержат до 3% тонкодисперсной фракции (минералы типа гидрослюда, есть каолинит, много гидрокислов железа). Частицы преобладающей фракции 0,25—0,1 мм имеют угловатую и полукруглую форму, по характеру поверхности — неровные и шероховатые (рис. 2, IIа, IIб). Прочность этих пород при естественной влажности в ненарушенном состоянии достигает 425 г/см^2 и более, при высыхании прочность их выше, чем при водонасыщении (^{3, 4}). Условно-мгновенный модуль упругости и модуль эластичности в процессе деформирования снижаются (в 5—10 раз) во всех влажностных состояниях, предел прочности наибольший в естественно-влажном состоянии. Развитие деформации при каждом напряжении сдвига протекает не более 1 мин., после чего прекращается. Величина вибровязкости в водонасыщенном состоянии уменьшается в 2 раза по сравнению с исходной.

Плывунно-тиксотропные песчаные породы отличаются наибольшей связностью, но наименьшим внутренним трением за счет присутствия значительного количества тонкодисперсной составляющей и органического вещества. Они легко разупрочняются при вибрации и относительно долго остаются в таком состоянии. К этому типу относятся флювиогляциальные и озерно-ледниковые ($\delta_{\text{ск}}=1,76-1,82 \text{ г/см}^3$) и древнеаллювиальные ($\delta_{\text{ск}}=1,55 \text{ г/см}^3$), которые обладают высокой степенью разупрочнения (в водонасыщенном состоянии при вибрации они находятся в разупрочненном состоянии 5—10 мин. и дольше — рис. 1в; виброчувствительность к нарушению в этом состоянии высокая — от 2,0 до 5,5). Им свойственны пластифицированно-коагуляционно-цементационные структурные связи (в естественном состоянии преобладают пластифицированно-коагуляционные связи, в воздушно-сухом —

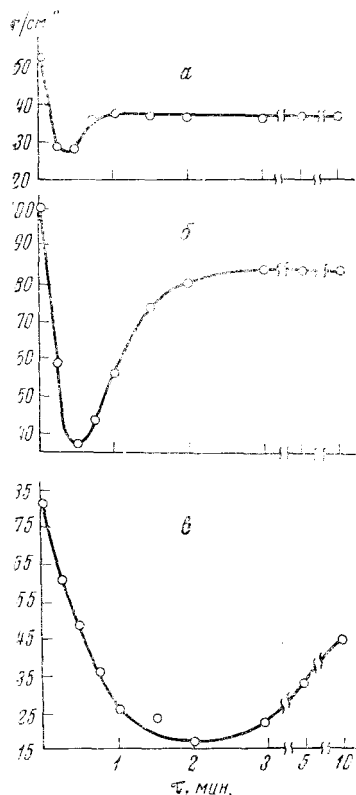


Рис. 1. Изменение структурной прочности водонасыщенных песчаных пород от времени вибрации (режим колебаний: частота 30 гц, амплитуда 1 мм). а — эоловые песчаные породы (содержание до 1,0% фракции $<0,005 \text{ мм}$); б — морские (1,0—3,0%); в — древнеаллювиальные (до 6,5%)

Плывунно-тиксотропные песчаные породы отличаются наибольшей связностью, но наименьшим внутренним трением за счет присутствия значительного количества тонкодисперсной составляющей и органического вещества. Они легко разупрочняются при вибрации и относительно долго остаются в таком состоянии. К этому типу относятся флювиогляциальные и озерно-ледниковые ($\delta_{\text{ск}}=1,76-1,82 \text{ г/см}^3$) и древнеаллювиальные ($\delta_{\text{ск}}=1,55 \text{ г/см}^3$), которые обладают высокой степенью разупрочнения (в водонасыщенном состоянии при вибрации они находятся в разупрочненном состоянии 5—10 мин. и дольше — рис. 1в; виброчувствительность к нарушению в этом состоянии высокая — от 2,0 до 5,5). Им свойственны пластифицированно-коагуляционно-цементационные структурные связи (в естественном состоянии преобладают пластифицированно-коагуляционные связи, в воздушно-сухом —

конденсационные связи). Это — неотсортированные песчаные породы, которые содержат свыше 3% структурообразующей фракции (минералы типа гидрослюд, каолинит, Mg-силикаты, Са-монтмориллонит, присутствует органическое вещество). Преобладающая фракция в составе 0,25—0,1 мм имеет полуокруглую и округлую форму, характер поверхности зерен в основном ровный и полуровный (рис. 2, *IIIa*, *IIIб*). Прочность песчаных пород этого типа при естественной влажности обычно ниже 400 г/см², еще меньше в водонасыщенном состоянии, но при высушивании возрастает до значительных величин — до 5200 г/см². При напряжениях, превышающих условный предел текучести в естественно-влажном и водонасыщенном состоянии, проявляется течение типа ползучести в определенном интервале времени, после чего деформации прекращаются. Величина вибровязкости в водонасыщенном состоянии уменьшается в 4—5 раз по сравнению с вязкостью, полученной до вибрации (0,13 и 0,60·10⁶ пз соответственно).

Производственный и научно-исследовательский
институт инженерных изысканий в строительстве
Москва

Поступила
4 VII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. М. Горькова, Тр. совещ. по инж.-геол. свойствам горных пород и методам их изучения, т. 1. Изд. АН СССР, 1956. ² И. М. Горькова, Колл. журн., т. 23, № 1 (1961). ³ Н. А. Платов, И. М. Горькова, ДАН, т. 206, № 5 (1972). ⁴ Н. А. Платов, И. М. Горькова, Колл. журн., № 1 (1973). ⁵ П. А. Ребиндер, Тр. совещ. по инж.-геол. свойствам горных пород и методам их изучения, т. 1, Изд. АН СССР, 1956.