

66,7 млн м³, имеется более 110 месторождений песчано-гравийной смеси и песка с разведанными запасами 637 млн м³, в т.ч. по промышленным категориям 332 млн м³. На территории области находится 2,7 тыс. торфяных месторождений, площадь которых в нулевых границах составляет 223 тыс. га. Запасы торфа в границах промышленной глубины залежи оцениваются в 599 млн т. В разрабатываемый фонд отнесено 23 торфяных месторождения (56 участков) площадью 34 тыс. га с промышленными запасами торфа 114,6 млн т [2].

Добыча всех рассмотренных полезных ископаемых ведется как правило карьерным способом.

В связи с принадлежностью к различным геоморфологическим районам, дифференциацией по составу, свойствам и условиям залегания общераспространенных полезных ископаемых имеют место определенные особенности воздействия открытой разработки на окружающую среду и здоровье занятых в производстве людей.

Заключение. В настоящее время одной из основных задач в регионе является выявление зависимостей добычи минерального сырья от инженерно-геологических, гидро-геологических, экологических особенностей различных территорий его размещения, оценка глубины и масштабов воздействия на окружающую среду, разработка эффективных предложений по снижению негативного воздействия и рациональному использованию природных ресурсов, а также предложения по минимизации этих воздействий на компоненты природной среды.

1. Геоэкологический мониторинг: учеб. пособие: в 2 ч. / В.В. Вершинин, Д.А. Шаповалов, В.А. Широкова и др. – М., 2017. – Часть 1. – 290 с.

2. Физическая география Витебской области / Под ред. А.Н. Галкина. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2021. – 235 с.
URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/30798> (дата обращения: 25.09.2025).

ИЗУЧЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ПЕСКОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОДИНАМИКИ

Матвеев В.В.,

*магистрант 2 года обучения Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация
Научный руководитель – Королев В. А., доктор геол.-минер. наук, профессор*

Ключевые слова. Работа диссипации, работа деформирования, площадь петли гистерезиса.

Keywords. Dissipation energy, strain energy, hysteresis loop square.

При ведении строительной и хозяйственной деятельности грунты могут подвергаться попеременному уплотнению и разуплотнению. Поэтому изучению закономерностей циклического уплотнения-разуплотнения грунтов, особенно глинистых, посвящено относительно много работ [1–6], однако исследование этих процессов в песках почти не проводилось [7].

Между тем механизм компрессионного уплотнения-разуплотнения в песках совсем иной, чем в глинах. Поэтому целью настоящего исследования являлось выявление особенностей и закономерностей механического поведения песчаных грунтов при их компрессии-декомпрессии на основе термодинамики, позволяющей установить энергетические закономерности этого процесса [8].

Материал и методы. Экспериментальные исследования проводились с использованием модельных песчаных грунтов. Объектом экспериментальных исследований являлся песчаный грунт нарушенного сложения аллювиального генезиса.

Для оценки влияния фактора крупности песка (среднего диаметра частиц) на закономерности уплотнения и разуплотнения были изготовлены модельные образцы путем смешивания в определенных пропорциях отдельных фракций. Распределение размера частиц песков в миллиметрах задавалось как логнормальное с параметрами $\mu = -0,5 = \log_2(0,71 \text{ мм})$; $-1,5 = \log_2(0,35 \text{ мм})$; $-2,5 = \log_2(0,18 \text{ мм})$ и $\sigma = 0,5$, что соответствует однородным пескам от мелких до крупных по ГОСТ 25100-2020 (Таблица, рисунок 1). Образцы формировались непосредственно в одометре с заданным коэффициентом пористости $e = 0,73$. Далее образцы водонасыщались перед испытанием до достижения полной влагоемкости $w_{sat} = 28 \%$ ($S_r = 1$).

Таблица – Заданный гранулометрический состав модельных грунтов

Модельный грунт	Параметр μ	Гранулометрический состав, %					Коэф. неодн. C_u	Разновидность грунта
		> 2 мм	1–2 мм	0,5–1 мм	0,25–0,5 мм	< 0,25 мм		
C ₁	–0,5	—	—	2,3	94,4	2,3	1,4	песок ср. кр. одн.
B ₁	–1,5	—	2,3	94,4	2,3	—	1,4	песок круп. одн.
A ₁	–2,5	0,1	96,7	2,3	—	—	1,4	песок круп. одн.

Изучение деформационных свойств образцов песчаных грунтов проводилось в ходе компрессионных испытаний с многократной циклической нагрузкой до 1,5 МПа и разгрузкой до 0,025 МПа по ГОСТ 12248.4-2020 в приборах конструкции ООО «НПП ГеоТек» (Пенза) [9].

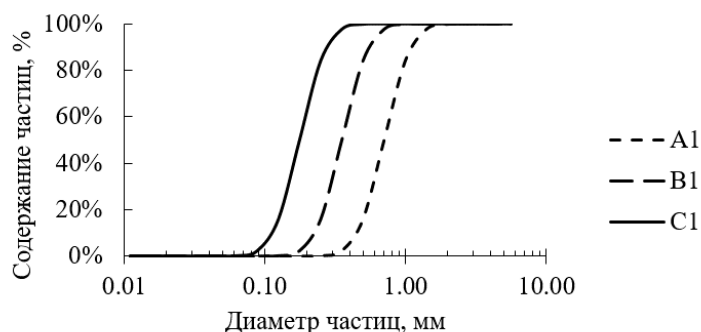


Рисунок 1 – Кумулятивные кривые гранулометрического состава испытываемых модельных грунтов

Обработка результатов испытаний проводилась путем оценки величины работы деформации (A) для описания механического поведения грунтов, что весьма удобно, поскольку величина работы уплотнения позволяет одним интегральным значением этого параметра охарактеризовать деформируемость на любом интервале напряжений. Таким образом, это позволяло каждый цикл уплотнения и разуплотнения оценивать одним числом и сравнивать циклы между собой. Величина работы деформации i -ого цикла на этапе рекомпрессии A_i и декомпрессии A_i^e определялась как площадь под компрессионной кривой $A = \int \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$, где σ – вертикальное напряжение, ε – относительная деформация.

ция. Также вычислялась работа диссипации, определяемая как $A_i^p = A_i - A_i^e$ и площадь петли гистерезиса $H_i = A_{i+1} - A_i^e$.

Результаты и их обсуждение. В ходе проведенных опытов по многократной компрессии-рекомпрессии песков различной крупности (среднего диаметра частиц) было показано, что работа деформации значительно снижается лишь после первого цикла, далее колеблется около примерно одних и тех же значений.

В мелком песке (модельный грунт С₁) удельная работа диссипации A_p снижается с 10,6 до 2,6 кДж/м³, а в крупном песке (А₁) – с 6,9 до 1,4 кДж/м³ (рисунок 2). Для мелкого песка работа диссипации A_p в 1,8 раза выше на соответствующих циклах, чем для крупного песка.

Площадь петли гистерезиса закономерно уменьшается при увеличении количества циклов от 5,2 до 2,6 кДж/м³ для мелкого песка (модельный грунт С₁) и от 2,3 до 1,4 кДж/м³ для крупного песка (А₁) (рисунок 2). Площадь петель гистерезиса в 1,8 раз больше в мелком песке, чем в крупном песке на одних и тех же циклах.

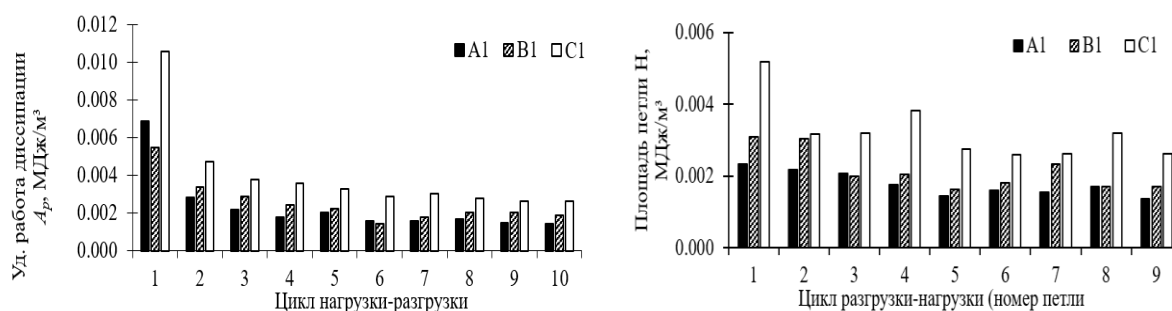


Рисунок 2 – Зависимость энергетических параметров компрессии-декомпрессии и рекомпрессии модельных песчаных грунтов

Полученные закономерности могут быть объяснены тем, что сжимаемость несвязных грунтов происходит в основном за счет уплотнения их зернистой структуры и возможного частичного дробления наиболее крупных зерен, которые уменьшают удельную работу деформирования грунта.

Заключение. Таким образом, анализ полученных экспериментальных данных позволяет выявлять закономерности уплотнения-разуплотнения в песчаных грунтах, а также давать количественную сравнительную характеристику деформационных свойств исследуемых грунтов с использованием интегральных параметров, отражающих весь нелинейный процесс деформирования во всем интервале действующих напряжений. Установлено, крупность песчаного грунта оказывает существенное влияние на удельную работу упругого и упругопластического деформирования, а также работу диссипации, причем чем меньше крупность песков, тем выше значения величин перечисленных удельных работ.

1. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов : учеб. пособие / С.С. Вялов. – М.: Высш. шк., 1978. – 447 с.
2. Зянгинов, Р.С. Объемная деформируемость глинистых грунтов / Р.С. Зянгинов. – М.: Наука, 1979. – 164 с.
3. Кульчицкий, Л.И. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород / Л.И. Кульчицкий, О.Г. Усыров. – М.: Недра, 1981. – 178 с.
4. Физико-химическая механика природных дисперсных систем / под ред. Е.Д. Шукина, Н.В. Перцова, В.И. Осипова, Р.И. Злочевской ; [Ю.П. Акимов, Е.А. Амелина, С.Д. Воронкевич и др.]. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 266 с.
5. Термодинамические аспекты механики мерзлых грунтов / под ред. С.С. Вялова. – М.: Наука, 1988. – 103 с.
6. Suddeepong, A. Deformation behaviour of clay under repeated one-dimensional unloading-reloading / A. Suddeepong, J. Chai, S. Shen, J. Carter // Canadian Geotechnical Journal. – 2015. – Vol. 52, № 8. – P. 1035-1044.
7. Песчаные грунты России : в 2 т. Т. 1 / под ред. В.Т. Трофимова; [В.Т. Трофимов, В.А. Королев, С.Д. Балыкова и др.]. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2021. – 394 с.
8. Королев, В.А. Термодинамика грунтов : учебник / В.А. Королев. – М.: ООО «Сам полиграфист», 2016. – 258 с.
9. Лабораторные работы по грунтоведению : учеб. пособие / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева ; [В.А. Королев, В.Т. Трофимов, Е.Н. Самарин и др.]. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: КДУ, 2017. – 654 с.