

ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЯ

Н. Г. Ахназарян, С. Р. Месчян

Об одном факторе, влияющем на уплотнение
глинистого грунта

К. Лангер [1], исследовав влияние скорости загрузки на сжимаемость грунтов, показал, что чем меньше скорость приложения нагрузки, тем меньше величина деформации.

Влияние скорости загрузки на компрессионные свойства глинистых грунтов исследовано также Н. Я. Денисовым [2].

М. И. Гольдштейн [3] отмечает, что по причине медленного роста напряжений сжимаемость грунта в естественных условиях значительно меньше, чем в компрессионных приборах. Для правильного учета явления вторичной консолидации он предлагает компрессионные опыты проводить над образцами большой высоты при ступенях нагрузки в $0,1 \text{ кг/см}^2$.

В. А. Флорин [4] теоретически показал, что при весьма малой деформации или скорости нарастания деформации ползучести, уплотнение происходит без ощутимого повышения давления в поровой воде, а время уплотнения может совсем не зависеть от толщины уплотняемого слоя или же зависеть, но в степени меньшей, чем вторая.

С. А. Роза [5] считает, что при достаточно медленном нарастании нагрузки фильтрационное уплотнение не будет иметь значения и осадка грунта под нагрузкой будет обусловлена, в основном, деформацией ползучести скелета.

С. Р. Месчян [6] показал, что медленное ступенчатое нагружение может привести к тиксотропному упрочнению грунта нарушенной структуры и к нарушению той закономерности деформирования, которая присуща ему при высоких темпах загрузки. Он указывает, что процесс деформирования в большой степени зависит от соотношения структурной прочности грунта, величины ступени и скорости приложения нагрузки. Им исследовано [7] также влияние скорости загрузки на деформативные характеристики глинистых грунтов.

В. М. Павилонский [8] на основании экспериментального исследования порового давления в глинистых грунтах, выполненного при сравнительно больших значениях ступеней нагрузки, показал влияние темпа нарастания внешней нагрузки на величину порового давления.

В докладе Леонарда и Гиrolта [9] (1961), опубликованном в трудах V международного конгресса по механике грунтов и фундаменто-

строению, приведены результаты экспериментального исследования влияния величины ступени нагрузки и бокового трения на процесс одномерной консолидации, протекающей с изменением порового давления. Им установлено, что характер кривой деформация-логарифм времени зависит от отношения приращения нагрузки к предыдущей и только при его больших значениях рассеивание порового давления протекает согласно теории К. Терцаги.

Из практики гидротехнического строительства известно, что нарастание внешней нагрузки на основание сооружений происходит довольно медленно. Обычно скорость возведения земляных плотин колеблется в пределах от 0,09 до 0,4 м в сутки [10], что соответствует скорости нарастания напряжений от 0,02 до 0,07 кг/см² в сутки. Указанные скорости нарастания нагрузок в 10—20 и более раз меньше, чем те скорости, с которыми обычно мы имеем дело в лабораторной практике. Скорость нарастания напряжения будет еще меньше если учесть быстрое затухание напряжений по глубине грунтовой толщи [3].

Следовательно, очевидна важность исследования уплотнения глинистых грунтов при малых значениях ступеней нагрузок.

Для теории уплотнения будет представлять особый интерес изучение деформации во времени глинистых водонасыщенных грунтов при малых значениях нагрузок. Оно позволит выяснить влияние факторов ползучести скелета [4] и фильтрации поровой воды на продолжительность деформирования указанных грунтов.

Насколько нам известно, влияние факторов фильтрации и ползучести скелета на длительность деформирования при малых значениях нагрузок не изучено, поэтому мы и выполнили настоящую работу, преследующую цель несколько восполнить этот пробел*.

Настоящая работа является продолжением выполненного ранее [11] исследования влияния высоты образца на процесс деформирования глинистых водонасыщенных грунтов при уплотнении их ступенями нагрузки 0,125—0,25 кг/см².

В целях изучения характера деформирования образцов разной высоты и перераспределения напряжений между скелетом и поровой водой мы воспользовались сопоставлением кривых деформация—время (определенных испытанием образцов грунта различной толщины), примененным ранее одним из авторов настоящей работы [12].

Для определения участков, в пределах которых процесс деформирования протекает только в результате ползучести скелета, предположено, что при отсутствии влияния фактора фильтрации, относительная деформация не должна зависеть от высоты образца.

Имея в виду невозможность достижения абсолютно точного совпадения результатов параллельно выполненных опытов, мы считали, что влияние высоты образца на продолжительность деформирования отсутствует, если: 1) расхождение между кривыми деформация—время не пре-

* Эксперименты выполнены Н. Г. Ахизаряном.

вышает точности измерения; 2) указанное расхождение не больше, чем разница между деформациями в параллельно выполненных опытах и 3) скорости деформирования образцов различной толщины равны между собой, т. е. кривые параллельны друг другу.

Были выполнены три серии опытов на трех различных видах глинистого грунта в малых и больших компрессионных приборах, при высоте образцов 20 и 60 мм и диаметре их 70 и 210 мм соответственно.

Опыты проводились на образцах нарушенной структуры, предварительно уплотненных нагрузками 0,125—0,25 кг/см² в течение 11—30 дней. Повторность опытов трехкратная. Испытания проводились при одностороннем движении поровой воды (снизу вверх).

Рассмотрим результаты опытов каждой серии в отдельности.

Серия первая. Исследован суглинок под лабораторным № 2-57, основные физические свойства которого сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Лабор. № грунта	Удельный вес г/см ³	Влажность пасты %	Степень влажности	Пределы пластичности		
				граница текучести	граница пластичности	число пластичности
2-57	2,66	34,5	0,97	31,3	18,6	12,7

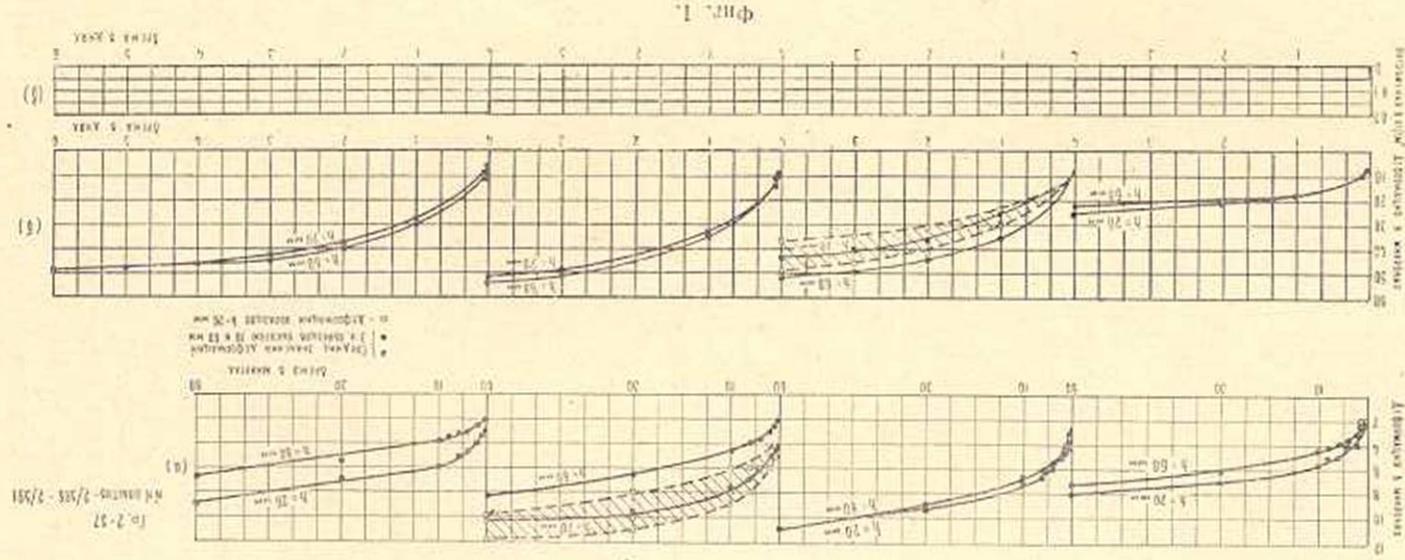
Из пасты с влажностью, примерно равной влажности грунта при пределе текучести (таблица 1), были приготовлены шесть образцов высотой 20 и 60 мм. Все образцы вначале были подвергнуты предварительному уплотнению нагрузками $P = 0,125 \text{ кг/см}^2$ в течение 20 дней, после чего было изучено влияние высоты образца. Нагрузки прикладывались ступенями по 0,05 кг/см² через каждые четверо суток. Деформации измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,002 мм.

На графиках фиг. 1 приведены кривые деформация — время указанных выше образцов всех четырех ступеней нагрузок в интервалах времени 60 мин (фиг. 1-а) и 4—6 суток (фиг. 1-б) от момента приложения ступеней нагрузок. На фиг. 1-в приведена схема загрузки.

Для определения влияния высоты образца на продолжительность и перераспределение приложенного к грунту напряжения между скелетом и поровой водой, необходимо было построить графики относительная деформация — время. Мы нашли целесообразным, для сопоставления результатов опытов, деформации образцов высотой $h = 60 \text{ мм}$ привести к высоте 20 мм. Это дало нам возможность определить абсолютную величину расхождения между кривыми деформация — время образцов высотой 60 и 20 мм и сравнивать ее с точностью наших измерений.

Рассмотрим результаты экспериментов.

Сопоставление кривых деформация — время образцов высотой 60 и 20 мм, приведенных на графиках фиг. 1-а, показывает, что, за исключением третьей ступени нагрузки, они практически совпадают, так как расхождение между ними не превышает точности измерений деформаций.



Аналогичная картина наблюдается и на фиг. 1-б (за исключением второй ступени загрузки).

Из практического совпадения кривых деформация—время образцов различной высоты следует, что причиной деформирования во времени исследованных образцов является *ползучесть скелета* — вязкое перемещение частиц и агрегатов друг относительно друга, а приложенная к грунту внешняя нагрузка полностью воспринимается его скелетом. Это говорит о том, что поровая вода движется быстрее, чем происходит взаимное перемещение частиц и агрегатов грунта.

Что же касается случаев, где все же имеет место некоторое расхождение между кривыми деформация—время образцов исследованных размеров, то нетрудно показать, что оно является результатом погрешностей эксперимента. Для подтверждения сказанного достаточно нанести на графики результаты испытания всех образцов и построить зону разброса опытных точек (на графиках указанных двух случаев штриховкой показаны зоны разброса опытных точек трех образцов $h = 20$ мм). Как видно из графиков, кривые деформация—время образцов $h = 60$ мм, построенные по осредненным значениям деформаций трех образцов, параллельны граничным линиям зон разброса. Иначе говоря, скорость деформирования одного из образцов $h = 20$ мм равна средней скорости деформирования образцов $h = 60$ мм. Следовательно, имеющее место расхождение между кривыми деформация—время обусловлено не влиянием высоты образца, а различием результатов между параллельно выполненными экспериментами.

Сопоставление полученных результатов с результатами опытов, выполненных при величине ступени нагрузки, равной $P = 0,25$ кг/см² [12], показывает, что скорость загрузки существенно меняет характер деформирования грунта. Достаточно сказать, что после предварительного уплотнения образцов нагрузками $P = 0,125$ кг/см² уплотнение грунта под нагрузкой $0,25$ кг/см² в течение первых четырех часов протекает при совместном действии факторов фильтрации и ползучести скелета, тогда как при величине ступени нагрузки $P = 0,05$ кг/см² процесс деформирования во времени (первая ступень загрузки, фиг. 1) обусловлен только ползучестью скелета.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что при переходе от первой ступени нагрузки ко второй имеет место (фиг. 1) существенное увеличение величины деформации, несмотря на то, что величины ступеней нагрузок равны. Увеличение деформации при переходе от одной ступени нагрузки к другой свидетельствует о том, что деформации грунта от предыдущих ступеней нагрузок (ввиду их малости) не уплотнили его настолько, чтобы существенно изменить его механические свойства. Такой случай был рассмотрен ранее [6], где было показано, что увеличение деформации от последующей ступени нагрузки, по величине равной предыдущей, обусловлено разрушением ранее образованной структуры в глинистой пасте. Помимо разрушения структуры, имеет место увели-

чение скорости перемещения частиц и агрегатов грунта друг относительно друга под суммарным воздействием всех ранее приложенных нагрузок.

Серия вторая. Исследована глина под лабораторным № 4-57, основные физические свойства которой сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Лабор. № грунта	Удельный вес г/см ³	Влажность пасты %	Степень влажности	Пределы пластичности		
				граница текучести	граница пла- стичности	число пла- стичности
4-57	2,7	42,7	0,95	41,2	23,2	18,0

Методика приготовления образцов и точность измерения деформации прежние. Все образцы вначале были подвергнуты предварительному уплотнению нагрузками 0,25 кг/см² в течение 11 дней, после чего были проведены исследования их деформативных свойств во времени при ступенчатом загрузении нагрузками 0,05 кг/см² через каждые семь суток.

На графиках фиг. 2 приведены результаты испытания шести образцов высотой 20 и 60 мм в интервалах времени 60 мин и 7 суток от момента приложения ступеней нагрузок. В целях сопоставления результатов опытов, как и выше, деформации образцов высотой 60 мм были приведены к высоте 20 мм.

Сопоставление кривых деформация — время образцов высотой 20 и 60 мм, построенных по осредненным значениям деформации трех образцов, показывает, что в интервале времени до 60 мин (фиг. 2-а) расхождение между указанными кривыми не превышает точности измерения деформации, а расхождения, которые существуют между кривыми деформация — время (фиг. 2-б), практически не меняются до момента приложения следующей ступени нагрузки.

Полученные результаты дают нам полное основание считать, что и здесь продолжительность деформирования практически не зависит от высоты образца, следовательно, деформация образцов протекает только в результате ползучести скелета.

Сравнение полученных результатов с результатами подобных же опытов, выполненных испытанием образцов при ступенях нагрузки 0,25 кг/см² [12], показывает, что в последнем случае (при равных начальных условиях опыта) для перехода в зону чисто ползучих деформаций скелета было необходимо около 24 часов.

Сопоставление кривых ползучести от разных ступеней нагрузок показывает, что по мере перехода от одной ступени нагрузки к другой, по изложенной выше причине, величина деформации ползучести постепенно, медленно возрастает.

Серия третья. Была исследована часов-ярская глина под лабораторным № 6-57, основные физические свойства которой сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Лабор. № грунта	Удельный вес g/cm^3	Влажность пасты %	Степень влажности	Пределы пластичности		
				граница текучести	граница пластичности	число пластичности
6-57	2,65	63,0	0,98	59,07	21,2	37,87

В отличие от рассмотренных выше случаев, все образцы третьей серии были предварительно уплотнены нагрузками $0,25 \text{ кг/см}^2$ в течение 15 дней, а величина последующих ступеней нагрузок была равна $0,025 \text{ кг/см}^2$.

Результаты экспериментального исследования приведены на графиках фиг. 3. На фиг. 3 не приведены графики начальных участков деформирования в более крупном масштабе, ввиду того, что небольшие деформации и большой разброс опытных точек (до 10 микрон) не дали возможности сопоставить результаты, полученные испытанием образцов высотой 20 и 60 мм.

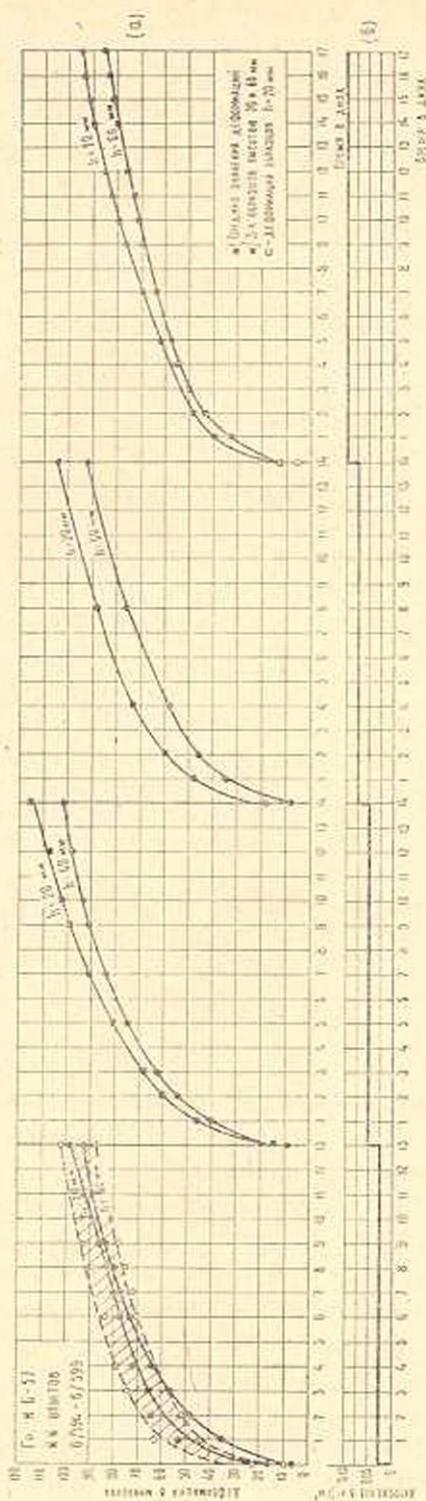
Из графиков фиг. 3 следует, что расхождение между кривыми деформация — время образцов высотой 20 и 60 мм едва превышает 10 микрон, тогда как точность параллельно выполненных опытов такого же порядка.

На одном примере (фиг. 3) (первая ступень загрузки) показано, что расхождение осредненной кривой деформации образцов $h = 60 \text{ мм}$ от зоны разброса опытных точек (построенной по результатам испытания трех образцов $h = 20 \text{ мм}$) незначительно. Следовательно, и в этом случае деформация практически протекает без влияния высоты образца, без участия фактора фильтрации.

Если теперь сопоставить кривые первых ступеней загрузки, полученные испытанием образцов нагрузками $0,025$ и $0,25 \text{ кг/см}^2$ (после их предварительного уплотнения нагрузками $0,25 \text{ кг/см}^2$), то нетрудно заметить, что десятикратное уменьшение ступени нагрузки в корне изменило характер деформирования. А именно, если при величине нагрузки $P = 0,25 \text{ кг/см}^2$ (фиг. 4) [12] для перехода в зону чисто ползучих деформаций скелета и рассеивания давления в поровой воде необходимо было около десяти суток, то в случае испытания образцов ступенями нагрузок, равными $0,025 \text{ кг/см}^2$, длительность деформации не зависит от высоты образца, а деформация с самого начала является результатом ползучести скелета.

Изложенные выше результаты исследования показывают, что внешняя нагрузка полностью воспринимается скелетом грунта. Следовательно, для прогноза деформации во времени в данном случае нельзя использовать теорию фильтрационного уплотнения.

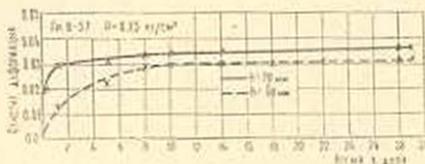
Учитывая малую структурную прочность испытанных нами образцов грунтов, — можно утверждать, что в грунтах, обладающих более прочным структурным каркасом, уплотнение должно протекать только за счет ползучести скелета и при высоких значениях ступеней нагрузок. В работе [8] показано, что, действительно, при испытании кинельской глины



Фиг. 3.

ненарушенной структуры нагрузками 7 кг/см^2 давления в поровой воде не возникало.

Все это говорит о том, что показатель консолидации (n), которым пользовались в работе [13] для выявления картины перераспределения напряжений между скелетом и поровой водой, не инвариантен относительно величины ступени нагрузки. Разумеется, этот показатель не инвариантен и относительно высоты образца [14]. Поэтому все наши выводы относятся к образцам рассмотренных размеров.



Фиг. 4.

Вопрос о том, как будет изменяться уплотнение при переходе к образцам более крупных размеров, нуждается в экспериментальном исследовании.

Изложенное выше дает нам возможность считать, что при расчете осадок сооружений, в большинстве случаев можно будет пренебречь влиянием фактора фильтрации на продолжительность деформирования, ввиду достаточной структурной прочности глинистых грунтов, с которыми нам приходится сталкиваться в природе.

Институт математики и механики
АН Армянской ССР

Поступила 3 XII 1962

Ն. Գ. Հախնազարյան, Ս. Ռ. ՄԵՇԿՅԱՆ

ԿԱՎԱՅԻՆ ԳՐՈՒՆՏԻ ԽՏԱՑՄԱՆ ԲՆՈՒՅՅԻ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ՄԻ ԳՈՐԾՈՆԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ սովորաբար բեռերի տճը կատուցվածքների հիմնատակների վրա տեղի է ունենում բավականին դանդաղ, իսկ լարորատոր պայմաններում դրուձտի նմուշների բեռնավորման արագությունը 10—20 և ավելի անգամ մեծ է, քան իրականում գոյություն ունեցող բեռնավորման արագությունները, փորձարկման պայմանները գոյություն ունեցողին մոտեցնելու համար անհրաժեշտ է լարորատոր փորձարկումները կատարել նմուշների բեռնավորման փոքր արագությունների պայմաններում: Նմուշների աստիճանաձև բեռնավորման ժամանակ, բեռնավորման աստիճանի մեծ լինելը կարող է հանդիսանալ դրուձտի ստրուկտուրայի բայթայթմանը, նրա դեֆորմացիայի մասին սխալ պատկերացում կազմելուն:

Այդ իսկ պատճառով չափազանց կարևոր է իմանալ դրուձտի խտացման բնույթը փոքր լարումների դեպքում, որը հնարավորություն կտա կատուցել նրա խտացման ստույգ տեսությունը:

Ելնելով վերոհիշյալից, կատարված է տարբեր բարձրություններ ունեցող նմուշների խտացումը, նրանց կողային բնդարձակման բացակայության պայ-

մաններում, երբ բեռնավորման աստիճանի մեծությունները շատ փոքր են և հավասար են $0,025$ և $0,05$ կգսմ²:

Երեք տարբեր կալվային գրունտների 20 և 60 մմ բարձրություն ունեցող նմուշների փորձարկումները փոքր և մեծ սեղմման սարքերում՝ ցույց տվեցին, որ հիշյալ նմուշների ժամանակի ընթացքում տեղի ունեցող դեֆորմացիաները կախված չեն նրանց բարձրություններից: Դա նշանակում է, որ նրանց դեֆորմացիաներն ընթանում են միմիայն մեկ՝ գրունտի կմախքի սողքի, դորժոնի առկայության պայմաններում:

Այն դեպքում, երբ հիշյալ նմուշների փորձարկումները կատարվել են $0,25$ կգսմ² մեծություն ունեցող բեռներով փորձարկման ժամանակ, նրանց դեֆորմացիաները սկզբնական ժամանակաշրջանում ընթանում են երկու կմախքի սողքի և ջրհաղորդականության գործոնների միաժամանակ աղղեցույթյան հետևանքով:

Չեղինակները եկել են այն եզրակացությանը, որ կալվային գրունտների դեֆորմացիայի բնույթը կախված է դորժող լարումների մեծությունից և նրանց աղղման արագությունից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1936.
2. Денисов Н. Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве. Стройиздат, М., 1956.
3. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов. Госстройиздат, М., 1952.
4. Флорин В. А. Одноразмерная задача уплотнения сжимаемой пористой ползучей земляной среды. Известия АН СССР, ОТН, № 6, 1953.
5. Роза С. А. и Котов А. И. О явлениях ползучести скелета грунта в процессе консолидации. Гидротехническое строительство, № 5, 1956.
6. Месчян С. Р. К вопросу о влиянии продолжительности нагружения на ползучесть связанных грунтов нарушенной структуры. ДАН АрмССР, 23, № 1, 1956.
7. Месчян С. Р. О влиянии скорости загрузки на деформативные свойства связанных грунтов. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 12, № 4, 1959.
8. Павиловский В. М. Экспериментальные исследования порового давления в глинистых грунтах. Информационные материалы, № 4, ВОДГЕО, М., 1959.
9. Proceedings of the V International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, 1961.
10. Проектирование и строительство больших плотин по материалам V международного конгресса по большим плотинам. Сборник статей под общей редакцией А. А. Борового. Госэнергоиздат, М.—Л., 1958, 175.
11. Месчян С. Р. О методике экспериментального исследования ползучести скелета связанных грунтов. ДАН АрмССР, 26, № 4, 1958.
12. Месчян С. Р. Исследование влияния высоты образца на деформативные свойства водонасыщенных грунтов. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 12, № 3, 1959.
13. Месчян С. Р. К вопросу о перераспределении напряжений между скелетом и поровой водой глинистого грунта. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 14, № 1, 1961.
14. Малышев М. Реферат № 10 В 290. Реф. журнал Механика, Сводный том, № 10, 1961.