

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА
Геологический факультет

На правах рукописи

Д. Б. САРҚИСЯН

НИЖНЕЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОЗЕРНЫЕ ГЛИНЫ
ЛЕНИНАКАНСКОЙ КОТЛОВИНЫ, ИХ СОСТАВ
И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель
доктор геолого-минералогических наук,
профессор И. В. Попов

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1963

Работа выполнена в Лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф. П. Саваренского АС и А СССР и в секторе механики грунтов и инженерной геологии Института геологических наук АН АрмССР.

Ученый совет геологического факультета Московского университета направляет Вам для ознакомления настоящий автореферат кандидатской диссертации Д. Б. Саркисяна.

Отзывы на автореферат просьба направлять по адресу: Москва, В-234, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет.

Защита назначается в конце сентября 1963 г.

Ученый секретарь
геологического факультета
МГУ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, когда весь советский народ своим самоотверженным трудом создает материально-техническую базу коммунизма, когда по всей стране в огромном масштабе ведутся строительные работы, особое значение приобретают инженерно-геологические исследования пород с целью получения необходимых характеристик для строительного проектирования.

В настоящей работе сделана попытка подойти к изучению инженерно-геологических свойств глинистых пород с точки зрения физико-химической механики.

Инженерно-геологическое изучение нижнечетвертичных озерных глин Ленинанканской котловины Армянской ССР проводилось в 1959—1962 гг. по теме «Нижнечетвертичные озерные глины Ленинанканской котловины, их состав и инженерно-геологические свойства».

Необходимость исследований озерных глин была продиктована специфичностью условий их формирования. В отличие от озерных глин платформенного происхождения формирование озерных глин Ленинанканской котловины происходило в условиях активной вулканической деятельности (столь характерной для территории Армении), которая оставила отпечаток на их инженерно-геологических свойствах.

В течение последних десятилетий на территории Ленинанканской котловины пробурено много скважин с целью выявления подземных вод для хозяйственного их использования. Однако несмотря на то, что большинство пройденных скважин во многих местах вскрыло нижнечетвертичные глинистые отложения, подробные петрографо-минералогические и инженерно-геологические исследования этих пород не проводились.

Полученные нами результаты будут использованы для количественной характеристики инженерно-геологических свойств пород района г. Ленинанкана, необходимой для составления инженерно-геологической карты города, а также послужат основой для инженерно-геологических прогнозов при

использовании озерных глин в народном хозяйстве (строительство водохранилищ, оросительных каналов, дорог и др.).

Таким образом, выбор озерных глин как объекта исследований обоснован научной и практической значимостью их.

Мы поставили перед собой следующие задачи:

1. Установить зависимость инженерно-геологических свойств озерных глин от условий их формирования.

2. Дать характеристику природы прочности озерных глин в свете современных представлений физико-химической механики дисперсных систем и установить зависимость их структурно-механических и реологических свойств от состава и состояния.

3. Изучить вещественный состав, дисперсность, физическое состояние, коллоидно-химические и структурно-механические свойства озерных глин.

4. Дать основу для инженерно-геологического прогноза при строительстве на озерных глинах.

Для инженерно-геологического изучения глин Ленинанканской котловины были проведены полевые и лабораторные исследования.

Полевые работы заключались в изучении условий залегания и распространения озерных отложений на территории Ленинанканской котловины и в отборе монолитов из шурфов в районе г. Ленинанкана (обр. 4600 и 4615), сел. Ахурик (обр. 4614) и из скважины у сел. Карибджаян (образцы 4625—4629). Всего было отобрано 47 монолитов*. Для каждого образца приводятся данные, среднеарифметические из 5—6 определений.

Лабораторные исследования заключались в комплексном изучении твердой и жидкой составляющих озерных глин.

Кроме химических анализов и рентгеноструктурных исследований, все экспериментальные работы выполнялись автором.

Диссертация имеет объем 147 страниц машинописного текста через 2 интервала, включая 19 таблиц и список использованной литературы (содержит 163 названия), иллюстрирована 81 рисунком. Работа состоит из введения, трех разделов и выводов.

При составлении первого раздела были использованы литературные работы и фондовые материалы Управления гео-

* Номера образцов (4600, 4614 и т. д.) присвоены группам монолитов, отобранных из одинаковых горизонтов и отличающихся чрезвычайно близкими свойствами.

логии и охраны недр при Совете Министров Армянской ССР. Второй и третий разделы составлены по данным экспериментальных исследований.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

В первом разделе, состоящем из четырех глав, дается краткая характеристика физико-географических условий, геологии и гидрогеологии изучаемого района.

Ленинаканская котловина расположена в северо-западной части Армении, примыкая к государственной границе с Турцией.

В орографическом отношении Ленинаканская котловина подразделяется на две части — равнинную и предгорную. Равнинная часть, являющаяся объектом наших исследований, охватывает средние течения р. Ахуриян и ее временных притоков.

Абсолютные отметки равнины колеблются от 1400 до 1500 м. К северу, востоку и юго-востоку от равнинной части рельеф постепенно повышается и переходит в предгорье (с абсолютными отметками 1500—2100 м).

Основная часть площади Ленинаканской котловины сложена четвертичными озерными отложениями, туфобрекчиями, туфами, андезитодацитами, дацитами и разнообразными аллювиально-делювиальными и пролювиальными накоплениями.

В Ленинаканской котловине развиты нижнечетвертичные озерные отложения, распространенные вдоль среднего течения р. Ахуриян. Большое распространение озерная толща имеет на турецком берегу реки, особенно в районе развалин древней столицы Армении гор. Ани. Озерная толща обнажается местами на территории г. Ленинакана, в районах селений Ахурик, Гетк, Карибджанян, Воскеаск. В остальных частях района озерная толща покрыта молодыми средне-верхнечетвертичными туфами, лавами, а вдоль русла р. Ахуриян — аллювиально-делювиальными отложениями.

К северу от г. Ленинакана и во все стороны от сел. Ахурик мощность озерной толщи закономерно уменьшается.

Залегание озерной толщи, известной в геологической литературе под названием «ленинаканская толща», на туфобрекчиях по данным глубинного бурения в районе сел. Ахурик установлена на глубине 316 м.

По данным бурения более тридцати скважин, озерная толща состоит из чередующихся слоев зеленовато-серых,

плотных, нередко жирных глин, в редких случаях, известняков, рыхлых галечников, гравия и песков, местами прослаивающихся внутриформационными потоками андезито-базальтовых лав, туфами, пемзовыми и туфовыми песками. Весь этот комплекс является вместилищем артезианских и субартезианских вод.

Прямым доказательством нижнечетвертичного возраста озерной толщи Ленинанканской котловины являются фаунистические и стратиграфические данные, а косвенными — остатки материальной культуры.

В изучаемом районе буровыми скважинами вскрыты минеральные и пресные фонтанирующие воды, для которых в равнинной части котловины водоупором являются озерные глины нижнечетвертичного возраста.

Выявленные воды отличаются содержанием сероводорода, горючих газов и специфичностью химического состава (гидрокарбонатно-натриевые воды высокой или повышенной минерализации).

В Ленинанканской котловине кроме пресных и минеральных вод распространены также грунтовые воды.

Все грунтовые воды равнинной части приурочены к аллювиально-пролювиальным отложениям и залегают на глубине от 0,0 до 30,0 м в зависимости от абсолютной отметки участка, рельефа, действия оросительной системы.

Они выступают на поверхность в виде мелких выходов вдоль р. Ахурян, на территории г. Ленинанкана в тальвеге оврагов Мурдара-чай (центральная часть города), ложбинках юго-западной части города.

Следовательно, в Ленинанканской котловине распространены напорные пресные, минеральные и грунтовые воды.

II. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИН ЛЕНИНАКАНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Химико-петрографическая характеристика глин

Поведение горных пород под влиянием различных сооружений определяется их инженерно-геологическими свойствами, которые зависят от истории формирования породы, ее петрографических особенностей и условий залегания.

Изучение вещественного состава нижнечетвертичных глин Ленинанканской котловины производилось путем просмотра шлифов, ориентированных перпендикулярно слоисто-

сти в поляризационном микроскопе при увеличении в 75 и 150 раз, и посредством химического, термического, электронномикроскопического и рентгеноструктурного анализов.

При изучении химико-минералогического состава озерных глин особое внимание было обращено на более полную характеристику глинистых минералов, определяющих их инженерно-геологические особенности и поведение во взаимодействии с водой.

Результаты исследований посредством всех вышеперечисленных методов позволяют исследованные глины характеризовать как гидрослюдисто-монтмориллонитовые, в которых преобладает монтмориллонит, обуславливающий в основном физические и химические свойства исследованных глин. Из других глинистых минералов в незначительном количестве присутствует каолинит.

Гранулометрический и микроагрегатный состав

Гранулометрический состав является одним из важнейших показателей при классификации пород и определяет многие их свойства.

Для характеристики степени дисперсности изучаемых глин были выполнены гранулометрический и микроагрегатный анализы влажных образцов методом пипетки (Качинский, 1943), отличающиеся друг от друга способом подготовки образца к анализу.

Для устранения воздействия различных солей на гранулометрический состав, перед анализом образцы промывались дистиллированной водой.

При микроагрегатном анализе подготовка породы осуществлялась двухчасовым взбалтыванием на встряхивательном аппарате в дистиллированной воде.

При гранулометрическом анализе подготовка породы осуществлялась 20-минутным растиранием ее в растворе пирофосфата натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) пальцем в фарфоровой чашечке для разрушения агрегатов до первичных частиц.

Сравнение результатов гранулометрического и микроагрегатного анализов показывает, что без введения диспергатора исследованные глины неполностью пептизируются и глинистая фракция попадает в пылеватую и, частично, песчаную фракции.

Среди глинистых частиц преобладает тонкая фракция (меньше 0,001 мм), составляющая больше 53% всей навески.

Пылеватая фракция (0,05—0,005 мм) составляет 10—24%.

Среди песчаных частиц преобладает фракция 0,1—0,05 мм (1,05—6,18%), а песчаные частицы диаметром меньше 0,1 мм составляют десятые и сотые доли процента.

У исследованных глин с глубиной наблюдается увеличение степени агрегированности.

Изученные образцы озерных отложений представляют собой высокодисперсные породы с содержанием фракций меньше 1 м от 53 до 70% (по данным анализа с пирофосфатом натрия) и являются типичными глинами.

Состав воднорастворимых солей и обменных катионов

При изучении глинистых пород важно выяснить состав и состояние воднорастворимых солей, оказывающих как в твердом, так и в растворенном виде большое влияние на их инженерно-геологические свойства.

В исследованных глинах содержание и состав легкорастворимых солей определялись с помощью водной вытяжки, среднерастворимых солей — с помощью солянокислой вытяжки, а труднорастворимых солей — с помощью кальциметрического анализа.

Данные о составе водной вытяжки показывают, что содержание легкорастворимых солей в среднем равняется 0,5%.

Реакция водных вытяжек исследованных образцов слабощелочная ($\text{pH} = 7,5\text{—}7,6$).

По данным водных вытяжек, нижнечетвертичные глины Ленинканской котловины имеют сульфатно-натриевое и гидрокарбонатно-натриевое засоление. При этом с глубиной в глинах уменьшается количество сульфатов и увеличивается содержание гидрокарбонатов.

Преобладание в водных вытяжках этих глин натрия и, следовательно, повышенное содержание солей натрия обусловлено в основном, гидрокарбонатно-хлоридно-натриевым химическим составом подземных вод, приуроченных к озерным отложениям.

Во всех исследованных образцах содержание гипса незначительно (сотые, реже десятые доли процента).

По данным кальциметрии, общее содержание карбонатов в нижнечетвертичных глинах, условно пересчитанное на CaCO_3 , довольно высокое и колеблется от 4,00 до 13,09%.

Таким образом, исследованные глины в основном можно считать слабозасоленными.

Кроме того, в исследованных глинах было определено суммарное содержание органического вещества по методу

И. В. Тюрина (содержание органического вещества колеблется от 0,205 до 1,210%).

Для исследования химического состава поровых вод проводилось отжатие поровых вод из исследованных глин в пресс-формах конструкции П. А. Крюкова под давлением 250 кг/см^2 .

Естественная влажность глин после отжатия поровых вод под давлением 250 кг/см^2 понижается на 24,77—32,69%, т. е. свободная вода, определяемая как разность между естественной влажностью породы и гигроскопичностью воздушно-сухой породы, из образца отжималась неполностью.

Общая минерализация поровых вод (по данным химического анализа) колеблется от 2,98 до 4,37 г/л; намечается тенденция уменьшения ее величины сверху вниз, т. е. по мере возрастания глубины отбора образцов.

По классификации А. М. Овчинникова, в основу которой положена величина общей минерализации вод, отжатые поровые воды относятся к солено-солонатовым.

По составу поровые воды относятся к хлоридно-сульфатно-магниевым.

В составе поровых вод преобладают ионы хлора и магния, т. е. больше всего в них содержится легкорастворимых солей (хлориды и соли магния). В водных же вытяжках больше всего содержится ионов SO_4 и Na. Этим и объясняется уменьшение общей минерализации поровых вод вглубь по разрезу Карибджанянской скважины по сравнению с минерализацией водных вытяжек.

Лишь содержание иона Cl в водных вытяжках и в поровых водах довольно близко между собой.

Вышеизложенным объясняется хлоридно-магниевый состав поровых вод, в то время как водные вытяжки имеют преимущественно сульфатно-натриевый состав.

Величины емкости поглощения исследованных образцов довольно близки и колеблются от 34,04 до 58,51 мг-экв на 100 г породы, что объясняется сравнительной однородностью минералогического и гранулометрического их состава.

В обменном комплексе исследованных глин присутствуют как двухвалентные (Ca^{2+} , Mg^{2+}), так и одновалентные (Na^+ , K^+) катионы.

Содержание двухвалентных катионов почти у всех образцов оказалось больше 90% от емкости поглощения, что обуславливает агрегированное состояние коллоидно-дисперсной части глин.

Обменный магний присутствует в исследованных глинах обычно в меньшем количестве, чем кальций.

Содержание Ca^{2+} составляет 43,49—58,14% от емкости поглощения, между тем содержание Mg^{2+} только 28,69—43,59%.

В поглощающем комплексе среди одновалентных катионов меньше всего содержится K^+ (1,73 — 4,77% от емкости поглощения). Содержание Na^+ составляет 1,92—25,13% от емкости поглощения.

Интересно сопоставить состав обменных катионов с составом поровых вод в исследованных глинах.

В поровых водах всех образцов магний преобладает над натрием и кальцием. В составе обменных катионов большинства образцов кальций преобладает над магнием и особенно над натрием.

Следовательно, для большинства образцов исследованных глин наблюдается следующая взаимосвязь между составом поровых вод и составом обменных катионов: хлоридно-магниевому типу поровых вод (отношение $\frac{rNa}{rCl} > 1$) соответствует состав обменных катионов с преобладанием кальция и магния над натрием.

Физическое состояние и свойства глин

Физическое состояние глинистых пород обуславливает прочность глин и возможность их деформации.

Для исследованных глин были определены:

- 1) естественная влажность;
- 2) гигроскопическая влажность;
- 3) пределы пластичности.

Кроме влажности были определены также объемный вес породы (методом парафинирования) и удельный вес (в пикнометрах с водой).

Расчетным путем были установлены пористость, приведенная пористость, относительная влажность или коэффициент водонасыщенности K_w , показатель уплотненности K_d , показатель консистенции B , степень сжатия слоя породы в % от его начальной мощности K_c .

Естественная влажность исследованных глин, определенная весовым способом, колеблется от 38,55 до 59,91%.

Коэффициент водонасыщенности K_w всех исследованных образцов равен или близок к единице, что свидетельствует о полном насыщении пор водой.

Величина гигроскопической влажности исследованных глин составляет 5,46—10,55%.

Для исследованных глин удельный вес составляет 2,48—2,63 г/см³ и не испытывает значительных колебаний по глубине.

Величины объемного веса исследованных глин довольно близки (1,65—1,70 г/см³; объемный вес скелета—1,03—1,22 г/см³).

По разрезу Карибджаянской скважины (до глубины 30,45 м, образцы 4625—4629) объемный вес глин почти не меняется (1,68—1,69 г/см³; объемный вес скелета—1,12 г/см³) и только у образца 4629 (глубина 30,45 м) он несколько меньше—1,65 г/см³ (объемный вес скелета—1,03 г/см³).

Исследованные образцы отличаются высокой величиной пористости (51—60%).

Сколько-нибудь заметного изменения пористости с глубиной (до 30,45 м) по разрезу Карибджаянской скважины не наблюдается (в образцах 4625—4629 пористость составляет 56—59%).

Коэффициент пористости образцов имеет значение 1,130—1,590.

Важным свойством глинистых пород является их пластичность.

Исследованные породы относятся к глинам с высоким значением числа пластичности ($M_p = 35,0—49,7\%$).

Сопоставление пределов пластичности и естественной влажности породы дает возможность судить о том, в каком состоянии находится порода в природных условиях (Приклонский, 1955).

Для исследованных образцов (за исключением обр. 4600) естественная влажность больше нижнего W_p , но меньше верхнего W_f предела пластичности ($W_p < W < W_f$), следовательно, глины Ленинаканской котловины при нарушении их структуры могут перейти в пластичное состояние.

Показатель консистенции B исследованных глин колеблется от — 0,05 до 0,54. Следовательно, как и по результатам сопоставления пределов пластичности и естественной влажности, на основании значений показателя консистенции (кроме образца 4600, находящегося в твердом состоянии) все исследованные образцы относятся к пластичным ($0 < B < 1$).

Для всех исследованных образцов величина показателя уплотненности K_d меньше единицы и лежит в пределах от 0,47 до 0,88, т. е. они находятся в потенциально пластичном состоянии. По величине K_d глины Ленинаканской котловины сходны с хвалынскими глинами Прикаспия, для которых

средняя величина K_d по В. А. Приклонскому (1947), равна 0,80.

Для исследованных глин установлено, что в процессе уплотнения до современного состояния слой мощностью 100 м уменьшается (под действием веса вышележащих слоев и синергетического уплотнения) до 68,3 — 81,9 м.

Коллоидная активность K_p (Приклонский, 1949) озерных глин Ленинанканской котловины низкая (не превышает 0,63), что можно объяснить существующими структурными связями, агрегированностью глин, а также преобладанием кальция и магния в обменном комплексе.

Из приведенных характеристик физических свойств видно, что по разрезу Карибджанянской скважины (до глубины 30,45 м, образцы 4625—4629) объемный вес и пористость почти постоянны, и исследованные глины, являющиеся высокопластичными и среднеуплотненными, в естественном залегании находятся в потенциально пластичном состоянии. Последним и обусловлена способность этих глин к пластическим деформациям.

Несмотря на монтмориллонито-гидрослюдистый состав глин, последние в ненарушенном состоянии и при естественной влажности набухают ограничено (не более 3%), водостойчивы и при погружении в воду мало размокают, что можно объяснить существующими структурными связями, агрегированностью глин, а также преобладанием кальция и магния в обменном комплексе.

III. ПРИРОДА ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛИН ЛЕНИНАКАНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Природа прочности и деформационные особенности озерных глин изучались при помощи компрессионных, трехосных, структурно-механических и реологических исследований.

Исследование компрессионных свойств и определение коэффициента фильтрации изучаемых глин проводились в компрессионно-фильтрационном приборе конструкции Г. И. Тер-Степаняна (1956) на образцах с ненарушенной структурой и с естественной влажностью.

Для выяснения степени восстановления пористости пород по глубине для образцов из Карибджанянской скважины (обр. 4625—4629) осуществлялись опыты по постепенной разгрузке монолитов, по результатам которых построены кривые декомпрессии.

Нижнечетвертичные глины Ленинанканской котловины по величине коэффициента сжимаемости a в интервале нагрузок от 1 до 2 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ относятся к среднесжимаемым породам (величина a порядка 0,01 $\text{см}^2/\kappa\Gamma$).

Начинают обжиматься образцы этих глин при нагрузке 0,25 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$. Возможность обжатия (нарушения межчастичных связей) при небольшом значении приложенной нагрузки (0,25 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$) объясняется наличием значительного количества грубодисперсных частиц в агрегатном составе исследованных образцов.

Вследствие нарушения структурных связей между частицами и их агрегатами, приводящего к перемещению частиц и изменению их взаимного расположения, наблюдается частичное необратимое уменьшение пористости, т. е. возникновение остаточных деформаций у образцов после снятия приложенной нагрузки. Поэтому после разгрузки коэффициент пористости породы оказывается меньше коэффициента пористости до сжатия.

Увеличение объема образца при разгрузке характеризует упругие деформации (88,96—99,25% от начальной пористости при $P=0$), а разность объемов образца до и после разгрузки — остаточные деформации (0,75—11,04%).

Коэффициент фильтрации исследованных глин в среднем порядка 10^{-6} — 10^{-7} $\text{см}/\text{сек}$, следовательно, по величинам коэффициента фильтрации они практически являются водупорными породами.

Одним из важнейших свойств глинистых пород является сопротивление их сдвигу.

Для определения сопротивления сдвигу нижнечетвертичных глин Ленинанканской котловины нами использован метод трехосного сжатия.

Испытание на трехосное сжатие осуществлялось на приборе «Империал-Колледж» (Англия), подробное описание которого и методики проведения испытаний приведено в работе А. Бишопа и Д. Хенкеля (1961).

Для исследованных глин применялись монолиты диаметром 38 и высотой 75 мм.

По результатам исследований, нижнечетвертичные глины Ленинанканской котловины отличаются довольно высоким значением величин сцепления ($C=0,22$ — $1,20$ $\kappa\Gamma/\text{см}^2$). Угол внутреннего трения ϕ исследованных глин колеблется от $12^\circ 24'$ до $27^\circ 28'$. Довольно высокое значение ϕ зависит от наличия большого количества вулканического стекла, столь характерного для пород Армении.

Показатели сопротивления сдвигу изменяются с глубиной в небольших пределах. Это, по-видимому, можно объяснить постоянством вещественного состава исследованных пород и небольшими изменениями их физических и коллоидно-химических характеристик по разрезу скважины. У исследованных глин наблюдается возрастание сопротивления сдвигу с глубиной, несмотря на увеличение при этом их влажности. Причина этого явления состоит в том, что структурные связи по глубине диагенетически упрочняются во времени в результате цементации при диагенезе.

Природа прочности и деформационное поведение пород наиболее полно и количественно характеризуются их структурно-механическими свойствами и реологическими особенностями.

Структурно-механические свойства озерных глин были изучены методом получения семейства кривых кинетики развития деформации при различных постоянных напряжениях сдвига на приборах Толстого (при нарушенной структуре) и Маслова (при естественной структуре). Этот метод позволяет характеризовать поведение глин с естественной и нарушенной структурами в широком диапазоне влажности при малых напряжениях сдвига в области P_{k-1} (условный предел упругости) — P_r (предел ползучести), соответствующей наименьшей степени разрушения структуры.

Значения модулей упругости исследованных образцов довольно близки и равны в среднем 10^6 дин. см⁻² для нарушенной структуры и 10^7 дин. см⁻² для естественной структуры. С возрастанием напряжений намечается закономерный спад значений условного мгновенного модуля E_1 и равновесного модуля E вследствие разрушения структурных связей в процессе деформирования.

Влияние глинистых частиц на деформационные свойства пород заключается в уменьшении различия между естественными и нарушенными структурами и увеличении их эластичности. Действительно, пасты исследованных глин при влажности, близкой к естественной, по деформационному поведению близки к естественным структурам.

Как показали исследования, отчетливо наблюдается нарастание упругих свойств у образцов с нарушенной структурой при уменьшении влажности. У паст исследованных образцов при влажности, близкой к границе текучести, упругие свойства или практически не прослеживаются (хорошо выражена эластичность), или они выражены в интервале напряжений до 6—7 Г/см²; при влажности, близкой к естествен-

ной, отчетливо проявляется упругость в области напряжений до $13,6—20,0 \text{ Г/см}^2$.

Естественные структуры исследованных глин проявляют упругие свойства в большем интервале напряжений по сравнению с пастами тех же глин, а именно до 50 Г/см^2 .

Исследованные образцы отличаются достаточно высокой вязкостью (пасты имеют вязкость в среднем 10-го порядка, а образцы с естественной структурой — 11-го порядка) и обладают способностью к течению типа ползучести без заметного разрушения структуры, причем в них при этом развиваются остаточные деформации.

Период релаксации для структур исследованных глин в нарушенном состоянии в среднем равняется $10^3—10^4 \text{ сек}$, а глин с естественными структурами — 10^4 сек .

Анализ результатов структурно-механических исследований показал, что значения модулей упругости исследованных образцов зависят от глубины их залегания.

Озерные глины до глубины $10—15 \text{ м}$, несмотря на выветривание, выражающееся в меньшей влажности и большей величине показателя уплотненности K_d ($0,60—0,88$), отличаются низкими значениями модулей упругости, эластичности, мало выраженной способностью к ползучести. Структурные связи их диагенетически мало упрочнены. Слабому диагенетическому упрочнению озерных глин способствовала также их малая агрегированность в верхних горизонтах (до $10—15 \text{ м}$).

В пределах проведенных испытаний с увеличением значений приложенных постоянных нагрузок наблюдается спад величин модулей упругости до одного порядка вследствие разрушения структурных связей в процессе деформирования.

В интервале глубин до $10—15 \text{ м}$ глины отличаются малыми значениями упругих деформаций.

Глубже $10—15 \text{ м}$ в глинах, несмотря на увеличение естественной влажности и уменьшение значений показателя уплотненности K_d ($0,47—0,60$), наблюдается возрастание значений показателей структурно-механических свойств.

Глубже $10—15 \text{ м}$ увеличиваются модули упругости ($10^8 \text{ дин} \cdot \text{см}^{-2}$). Упругие деформации довольно значительны. Глины диагенетически весьма упрочнены, о чем свидетельствуют возрастающие значения сопротивления глин сжатию, сдвигу, угла внутреннего трения глубже $10—15 \text{ м}$. По мере упрочнения во времени, степень агрегированности с глубиной увеличивается, что в свою очередь повышает прочность структурных связей.

При увеличении приложенной постоянной нагрузки связи постепенно нарушаются, модули упругости снижаются на два порядка, образцы приобретают подвижность и в дальнейшем происходит срыв образца.

Реологические особенности пород изучались методом получения полных реологических кривых и кривых зависимости эффективной вязкости от действующего напряжения сдвига при помощи вискозиметра Воларовича.

Этот метод характеризует поведение глин с нарушенной структурой при влажности, близкой к границе текучести во всем интервале напряжений $P_{k-1} - P_m$, в особенности при наибольшей степени их разрушения.

Для всех образцов реологические свойства определялись при трех влажностях:

- 1) при влажности ниже границы текучести;
- 2) при влажности близ границы текучести;
- 3) при влажности выше границы текучести.

Как показали исследования, нижнечетвертичные озерные глины отличаются выраженными прочностными пределами P_{k-1} , P_{k-2} и P_r . Исключение составили только испытания образца 4614, у которого наглядно выражен только бингамовский предел текучести P_{k-2} .

Породы отличаются выраженной ползучестью в области $P_{k-1} - P_r$ с постоянной высокой пластической вязкостью. Они обнаруживают лавинное разрушение структуры при напряжениях выше P_{k-2} с величиной отношения вязкости наименее и наиболее разрушенных структур $\eta_{P_{k-1}}/\eta_m$ от 4,5 до 200, в среднем 50.

Для большинства исследованных образцов характерно достаточно резкое разрушение структуры при напряжениях выше предела ползучести P_r , мало отличающегося от бингамовского предела текучести P_{k-2} .

Как показали вискозиметрические определения, реологическое поведение глин зависит также и от глубины их залегания.

До 10—15 м в довольно узком диапазоне напряжений образцы разрушаются выше динамического предела текучести, величина вязкости падает на два порядка; глины характеризуются мало выраженной способностью к ползучести — область $P_{k-1} - P_r$ на полных реологических кривых выражена слабо.

О резком изменении реологического поведения глин в узком интервале напряжений до глубины 10—15 м говорит так-

же небольшое отличие значений $\frac{P_r}{P_{k-1}}$ (1,4—2,3) и $\frac{P_r^j}{P_{k-1}}$ (1,1—2,4).

Глины, залегающие до глубины 10—15 м, характеризуются отсутствием петель гистерезиса на графиках зависимости эффективной вязкости η от действующего напряжения P .

Глубже 10—15 м глинам свойственна способность к ползучести: область $P_{k-1} - P_r$ на графиках выражена четко. Наблюдается увеличение значения шведовской постоянной наибольшей вязкости. Изменение реологического поведения глин происходит в значительно большем диапазоне напряжений; довольно существенно отличаются значения отношений $\frac{P_r}{P_{k-1}}$ (3,4—4,4) и $\frac{P_r^j}{P_{k-1}}$ (2,1—2,4). На графиках зависимости

$\eta - P$ наблюдается падение вязкости на два порядка при разрушении структуры и характерные петли гистерезиса.

Для определения пластической прочности (предельного напряжения сдвига) P_m исследуемых образцов применялся метод конического пластометра акад. П. А. Ребиндера.

С помощью конического пластометра определялась прочность нижнечетвертичных глин с естественной (при влажности отбора образца) и нарушенной (при различных влажностях) структурами.

Сравнение полученных данных показывает, что пасты изученных глин по прочности различаются меньше, чем естественные структуры. Глины с естественной структурой отличаются значительно большей прочностью, чем пасты при близких влажностях. Чувствительность, т. е. отношение прочности естественной и нарушенной структур, колеблется от 2,42 до 26,72. Для образцов из Карибджанянской скважины (№ 4625—4629) с глубиной наблюдается нарастание чувствительности от 5,07 (№ 4625) до 26,72 (№ 4629). Все это свидетельствует о большой прочности сцепления частиц естественных структур.

Из вышеизложенного ясно, что при нарушении структуры прочность глинистых пород резко снижается, на что необходимо обратить внимание в инженерно-геологической практике.

Подытоживая все изложенное о структурно-механических свойствах и реологическом поведении озерных глин, можно прийти к выводу, что до глубины 10—15 м в этих глинах преобладают коагуляционные структурные связи, усиленные



под действием процессов выветривания. Глубже 10—15 м в глинах существенную роль играют конденсационные связи, упрочняющие породу наряду с синергетическим упрочнением коагуляционных связей.

Следовательно, до глубины 10—15 м в озерных глинах существенную роль играют коагуляционные связи, а глубже 10—15 м — коагуляционно-конденсационные.

ВЫВОДЫ

На основании изучения вещественного состава и природы прочности и деформационного поведения нижнечетвертичных озерных глин Ленинанской котловины автор пришел к следующим выводам:

1. Исследованные озерные глины отличаются однородностью минерального состава — гидрослюдисто-монтмориллонового с преобладанием монтмориллонита.

2. В настоящее время глины сохранили высокую влажность (38—60%), пористость (51—60%), приведенную влажность (0,5—0,8), имеют высокую дисперсность (содержание частиц < 5 м до 88%), малую засоленность, высокую емкость поглощения (до 58 мг-экв) с преобладанием двухвалентных катионов в обменном комплексе; содержание органического вещества в них не более 1,2%, аморфного кремнезема в основном более 1% (в двух случаях — до 4%), карбонатов 4—13%, рН пород около 7,6 (слабощелочная среда).

3. Природа прочности и деформационные особенности озерных глин по глубине изменяются.

До 10—15 м глины под влиянием выветривания обладают меньшей влажностью, большей пластической прочностью ($P_m = 5—31$ кг/см²), высоким значением K_d (0,6—0,9). Но они диагенетически мало упрочнены, имеют меньшие значения модулей упругости, эластичности, ползучесть слабо выражена, резко разрушаются в узком интервале напряжений, в них преобладают коагуляционные структурные связи. На графиках зависимости эффективной вязкости η от действующего напряжения P отсутствуют характерные петли гистерезиса, и по этим признакам исследованные глины относятся к группе пластично-вязких пород.

Глубже 10—15 м в глинах, несмотря на увеличение влажности, уменьшение пластической прочности ($P_m = 1—9$ кг/см²) и значение K_d (0,47—0,6), наблюдается увеличение модулей упругости, вязкости; разрушение структуры происходит в значительно большем интервале напряжений, увеличивается

сопротивление глин сжатию, сдвигу (увеличиваются значения сцепления и угла внутреннего трения), возрастает степень агрегированности, имеются характерные петли гистерезиса на графиках зависимости η — P . Все это свидетельствует о существенном диагенетическом упрочнении пород и важной роли в них конденсационных структурных связей. По своему деформационному поведению эти глины относятся к группе упруго-пластично-вязких пород.

4. Озерные глины, являясь однородными с литологической точки зрения, неоднородны в реологическом отношении.

Сказанное наглядно видно из различия деформационного поведения озерных глин с разных глубин (до 10—15 м и глубже 10—15 м).

5. Решающим фактором при формировании структурно-механических свойств озерных глин являются своеобразные условия отложения осадка; отложение происходило при активной вулканической деятельности, что приводило к обогащению осадка вулканическим материалом, послужившего для образования монтмориллонита и аморфного кремнезема в глинах. Эти специфические условия определили особенности пород.

6. Установленная зависимость структурно-механических свойств озерных отложений от условий их формирования дает возможность обоснованного прогноза деформационного поведения озерных глин, находящихся на разных стадиях литогенеза; в этом заключается основное инженерно-геологическое значение работы.

7. Сравнительный анализ озерных глин Ленинканской котловины и других осадочных пород показал, что по своим специфическим структурно-механическим свойствам они имеют свои отличия. По своему поведению озерные глины сходны с глинистыми мергелями, изученными в ЛГГП на образцах из Белоруссии.

Подобную характеристику могут также иметь глинистые породы Араратской котловины и бассейна оз. Севан, образовавшиеся в аналогичных условиях.

8. Закрепление пород, т. е. управление их структурой и механическими свойствами, должно базироваться на представлениях физико-химической механики дисперсных систем. Поэтому изучение структурно-механических свойств пород с выявлением типа структуры (коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные) является важной предпосылкой для улучшения их свойств, т. е. качественного изменения последних в определенном направлении.

9. С помощью методов классической механики грунтов

могут быть получены представления о поведении породы в определенном статическом состоянии, в то время как физико-химическая механика учитывает изменение физико-механических свойств породы во времени и в меняющихся условиях, т. е. дают полную картину кинетики явления.

Поэтому при оценке поведения озерных глин при длительном взаимодействии с инженерными сооружениями необходимо учитывать, что оно реагирует с развитием процессов ползучести и других свойств, определяемых реологической природой пород.

Сравнение данных, полученных нами с помощью обычно применяемой методики (компрессия и трехосные испытания) и методами физико-химической механики, показало несовершенство классических методов для исследования озерных глин.

Таким образом, расчет устойчивости сооружений, возводимых на подобных породах, должен базироваться на схемах взаимодействия пород с сооружениями, учитывающих реологические свойства этих пород.

Основные положения диссертации изложены в статьях автора:

1. Саркисян Д. Б. О структурно-механических свойствах нижнечетвертичных глинистых пород Ленинанканской котловины. «Изв. АН АрмССР», сер. геологич. и географич. н., 16, № 1, 1963.

2. Саркисян Д. Б. О взаимоотношении составов нижнечетвертичных глин и их поровых вод (Ленинанканская котловина). ДАН АрмССР, 36, № 2, 1963.

3. Саркисян Д. Б. Вещественный состав и структурно-механические свойства нижнечетвертичных глинистых пород Ленинанканской котловины АрмССР (тезисы доклада). Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1963.

4. Саркисян Д. Б. О вещественном составе и инженерно-геологических свойствах озерных нижнечетвертичных глин Ленинанканской котловины АрмССР. Сб. «Формирование инженерно-геологических свойств глинистых пород в процессе литогенеза». Лаборатория гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского. Изд-во АН СССР, 1963 (в печати).

505