Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIV, вып. 2, 1958 г.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВНЕАЛЛЮВИАЛЬНЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД НИЖНЕЙ ЧАСТИ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ЭМБЫ (УРОЧИЩЕ АРАЛ-ТЮБЕ)

В. Н. Новожилов

Введение

В 1954 и 1955 гг. в лаборатории инженерной геологии кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Ленинградского горного института проводилось изучение физико-механических свойств древнеаллювиальных глинистых пород с целью их рекомендации в качестве строительного материала для возведения земляной плотины на р. Эмбе в районе урочища Арал-Тюбе. Работа была выполнена по заданию Ленинградского государственного института по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства.

В процессе лабораторных исследований были проведены: а) изучение вещественного состава, свойств и состояния глинистых пород; б) определение изменений свойств этих пород в связи с нарушением естественного сложения и длительным погружением их в воду; в) выяснение характера их уплотняемости.

В изучении физико-механических свойств участвовали В. Н. Новожилов, И. Н. Шульц, Л. И. Истомина, Л. Г. Машнева, Е. Л. Заседателева, А. В. Фролова и Т. И. Матюкова. Петрографическое исследование пород проведено П. М. Борковским, термические испытания тонкодисперсной части суглинков и глин — В. Д. Никитиным, рентгеноскопическое изучение пород — И. В. Михеевой и А. И. Калининым, химические исследования — Н. Н. Ивановым-Скобликовым, Л. А. Караманенко, Р. Я. Эпштейн и А. И. Тарасовой (под руководством П. Я. Сальдау).

Обобщение всех материалов исследований по древнеаллювиальным глинистым породам произведено автором настоящей статьи под руководством В. Д. Ломтадзе.

1. Краткие сведения об условиях залегания древнеаллювиальных пород

Месторождения строительных материалов, представленных древнеаллювиальными породами, расположены в нижней части среднего течения р. Эмбы в районе урочища Арал-Тюбе (рис. 1).

Рельеф исследуемого района[1] — холмистый, осложненный соляно-купольными структурами: Джусалысай, Намаз-Такыр, Жанбике, Казбек, Арал-Тюбе, Бакачи и Кульджан. В пределах этого района в рель-

[1] По данным геолога Ленгипровозхоза А. В. Ромейко.

ефе отчетливо прослеживаются три террасы: пойменная и две древнеаллювиальных — первая и вторая надпойменнные.

Река Эмба в районе урочища Арал-Тюбе имеет хорошо разработанную долину. Склоны долины симметричные, пологие. Современное русло Эмбы расположено у левого склона долины; берег реки, представляющий собой уступ первой надпойменной террасы, обрывистый, высотой 1,5—2 *м*. Старое русло находится у правого склона долины, непосредственно примыкая к уступу второй надпойменной террасы.

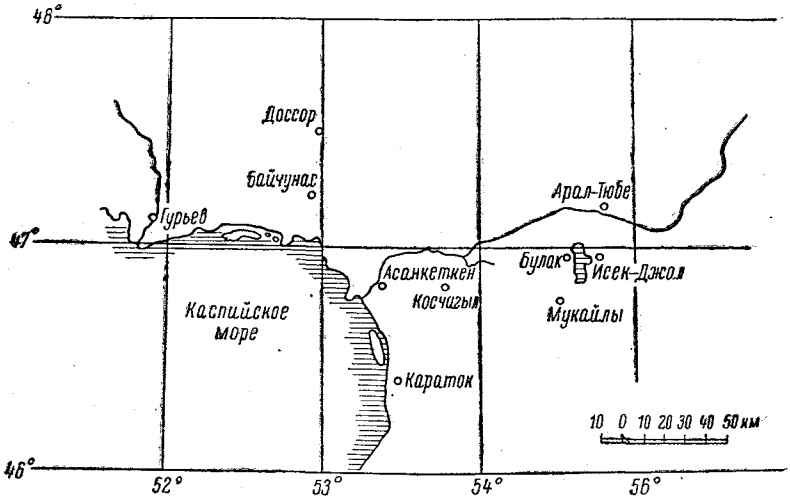


Рис. 1. Обзорная карта района исследований

Пойма шириной до 2 *км* имеет неровную бугристую поверхность и сложена песками. В тех местах, где пойма не покрыта растительностью, пески образуют барханы. Мощность песчаных отложений поймы достигает 10—14 *м*.

Первая надпойменная терраса прослеживается только по левому берегу Эмбы в виде отдельных останцев. Ширина террасы около 100 *м*. Превышение ее над руслом реки достигает 3 *м*. Терраса сложена главным образом мелкозернистыми желтовато-серыми песками. В основании толщи пески чаще всего разнозернистые, а в кровле содержат прослои супесей и суглинков. Мощность песчаных отложений достигает 13 *м*.

Вторая надпойменная терраса развита по обоим берегам реки. Ширина ее на левобережье достигает 1,4 *км*, а на правобережье — 1,8 *км*. Она возвышается над первой террасой уступом высотой до 4 *м*. Поверхность террасы слабоволнистая и имеет пологий уклон в сторону реки, сопряжение ее с коренными породами в рельефе почти не выражено. Поверхность террасы сложена суглинками и супесями, иногда переходящими в пески; нижняя ее часть представлена глинами, в основании которых залегают пески и супеси.

Глины и суглинки, слагающие эту древнеаллювиальную террасу, и служили объектом наших исследований. Их предполагалось использовать в качестве строительного материала для возведения земляной плотины.

В основании аллювиальных и древнеаллювиальных отложений залегают породы верхнемелового возраста, представленные чаще всего мергелистыми глинами, реже мергелями и глинистыми мергелями.

В районе урочища Арал-Тюбе они вскрыты разведочными выработками на глубину 20—28 *м*. По литературным данным, мощность верхнемеловой толщи достигает 200—250 *м*.

Изучению подлежали породы двух месторождений — правобережного и левобережного.

Правобережное месторождение разведано [1] посредством 41 буровой скважины и 10 шурфов. Глубина скважин от 7 до 10 *м*. Шурфы пройдены до глубины 3 *м*; разведочными работами освещена площадь около 7 *км*^{2}. Из горных выработок отобран 31 монолит пород естественного сложения и влажности.

В геологическом строении правобережного месторождения принимает участие песчано-глинистый комплекс пород. На поверхности залегают легкие, средние и тяжелые суглинки светло-бурого и светло-коричневого цвета; среди них встречаются прослои тощих глин. В ряде случаев суглинки с глубиной переходят в легкие супеси или тонкозернистые пески зеленовато-бурой окраски, которые отделяют суглинки от нижележащей толщи глин. Мощность суглинков изменяется от 1,5 до 3 *м*, резко достигая 4 *м*.

Ниже суглинков залегает толща глин светло-бурой и светло-серой окраски. Часто среди глин встречаются тонкие прослойки пылеватого серого песка с гнездами кристаллического гипса и следами ожелезнения. Мощность толщи глин достигает 7—7,5 *м*.

В центре разведанного месторождения расположено небольшое понижение, в пределах которого глины выходят на дневную поверхность. Здесь глины сильно выветрелые, трещиноватые. Площадь этого участка составляет 2,1 *км*^{2}.

В основании толщи глин находятся легкие или тяжелые водонасыщенные супеси бурого цвета.

Левобережное месторождение освещено 16 скважинами и 5 шурфами. Глубина скважин 7—10 *м*, шурфов — до 3 *м*. Площадь, оконтуренная разведочными выработками, составляет 2 *км*.^{2} Из скважин и шурфов отобрано 28 монолитов пород естественного сложения и влажности.

Геологическое строение этого месторождения аналогично правобережному. Здесь на поверхности залегают легкие, средние и тяжелые суглинки с прослоями тощих глин; суглинки окрашены в светло-бурый и светло-коричневый цвета; толща суглинков иногда переходит в толщу легких супесей или тонкозернистых песков бурой окраски. Довольно часто в толще суглинков наблюдаются следы окислов железа и беспорядочные пятна и выцветы карбонатов. Мощность толщи суглинков в среднем 1,5—2 *м*.

На глубине от 4,5 до 6 *м* от поверхности земли под толщей суглинков лежат светло-бурые и светло-серые глины, аналогичные глинам правобережного участка. Мощность толщи глин 5—5,5 *м*,

В основании этих пород залегают супеси или тонкозернистые пески бурой окраски.

2. Внешние признаки, структура и текстура пород

Исходя из геологического строения месторождений строительных материалов, комплекс древнеаллювиальных отложений второй надпойменной террасы р. Эмбы в районе урочища Арал-Тюбе можно условно

[1] Правобережное и левобережное месторождения разведаны геологами Ленинградского государственного института по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства.

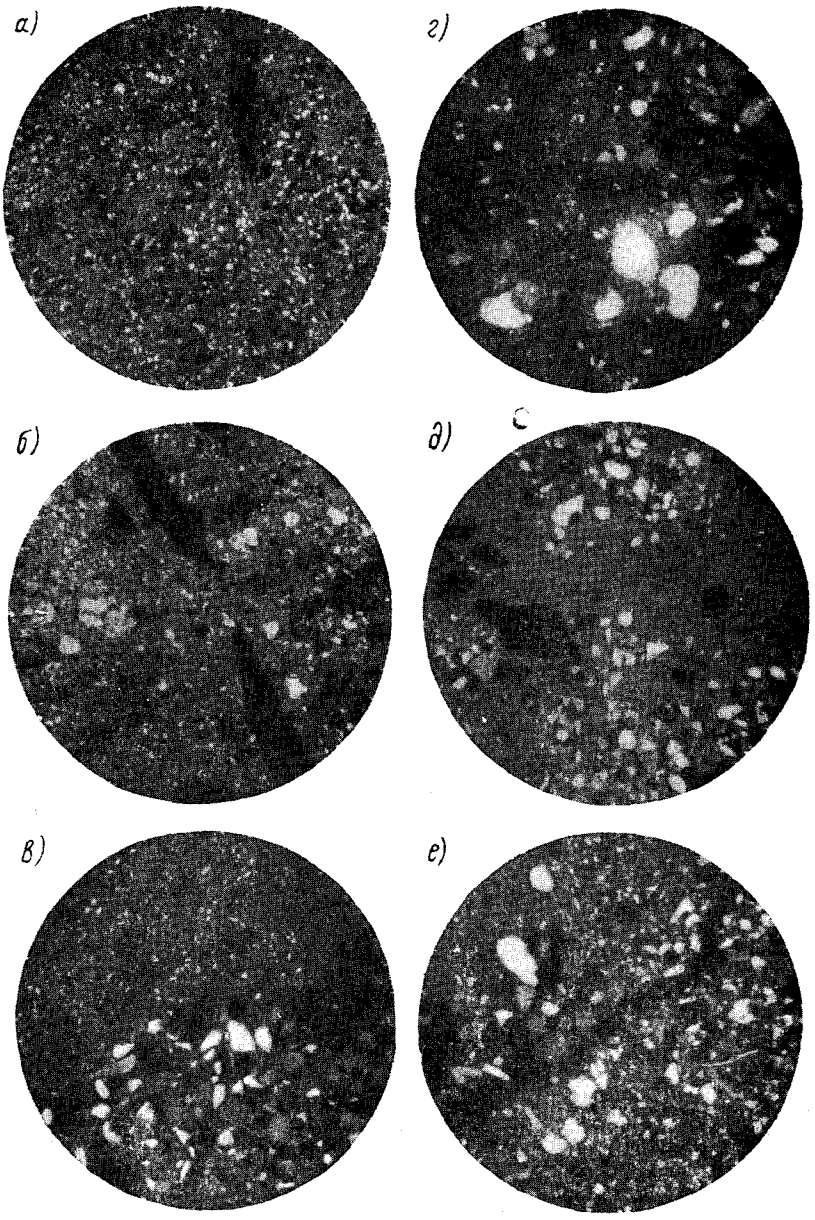


Рис. 2. Суглинок. Структура:

а — алевро-пелитовая; *б* — алевро-пелитовая (в центре шлифа — скопления мелких зерен микроволокнистого гипса); *в* — алевро-пелитовая, местами псаммито-пелитовая; *г* — псаммитовая (суглинок слабожелезистый); *д* — псаммито-пелитовая; *е* — псаммито-алевритовая (заметны обломки раковинок). Шлифы, николи +, × 8

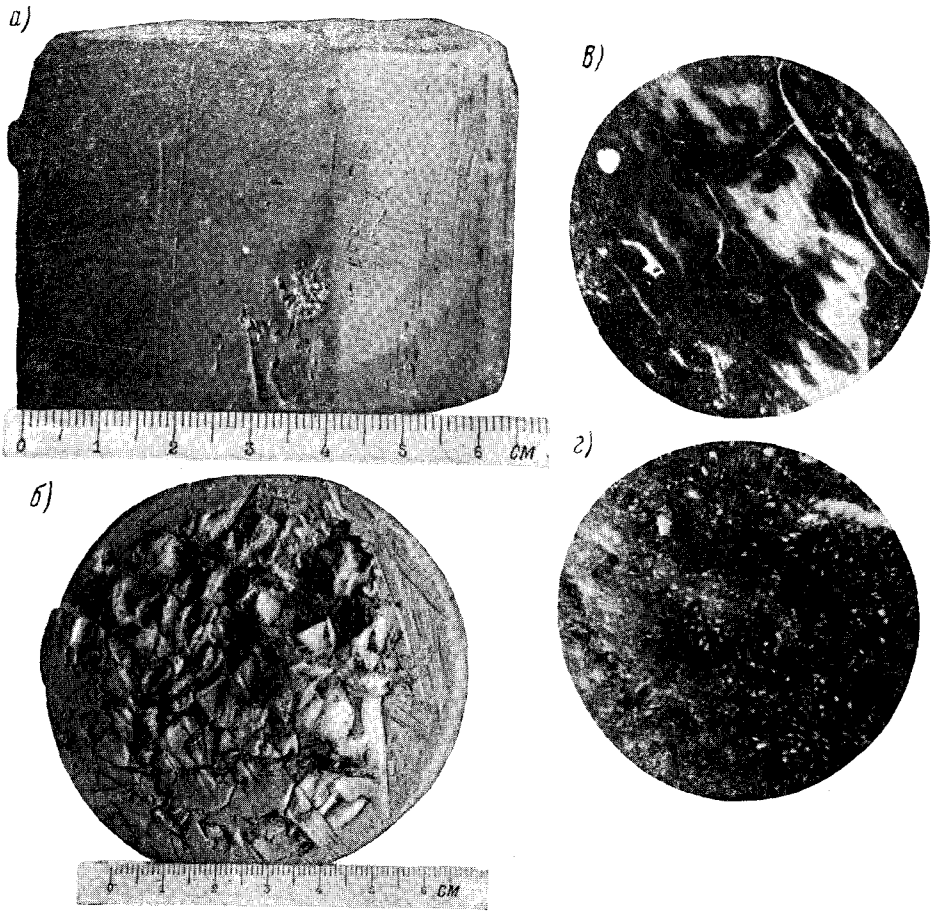


Рис. 3. Глина:

а — плотная, монолитная (видны отдельные кристаллики беловатого гипса); *б* — сильнотрещиноватая (естественная влажность 29,0%); *в* — слабо-песчанистая, пятнисто-железистая, структура пелитовая, местами — алевро-пелитовая, текстура пятнистая, шлиф, николи +, × 8; *г* — песчанистая, структура алевритовая, шлиф, николи +, × 8

разделить на три толщи пород: верхнюю — суглинков, среднюю — глин и нижнюю — песчаную. Породы нижней толщи лежат в зоне грунтовых вод и нами не рассматриваются.

Толща суглинков представлена легкими, средними и тяжелыми разностями. Реже встречаются прослои тощих глин, а также супеси и пески, которые слагают нижнюю часть толщи.

Суглинки обычно представляют собой породу светло-бурого или светло-коричневого цвета. Нередко встречаются пятна окислов железа, придающие породе своеобразную пятнистость, а также рельефные пятна, прожилки и выцветы карбонатов, наибольшее развитие которых наблюдается по плоскостям трещиноватости. Сложение суглинков обычно массивное, иногда слоистое (при переслаивании суглинков с тощими глинами). Излом всегда неровный, грубый. При растирании в руках они легко распадаются на отдельные грубые агрегаты, некоторые разности сильно мучнистые. Все разности суглинков хорошо вскипают с соляной кислотой, некоторые — весьма бурно. Все они, как правило, сухие, в большинстве случаев разбиты трещинками. Структура суглинков чаще всего алевро-пелитовая (рис. 2, *а, б, в*) и псаммитовая (рис. 2, *г*), реже — псаммито-пелитовая (рис. 2, *д*), псаммито-алевритовая (рис. 2, *е*) и алевритовая. Текстура суглинков обычно сплошная, реже — слоистая. Включения и примеси представлены стяжениями окислов железа и скоплениями обломков раковинок микроорганизмов.

По своему физическому состоянию суглинки представляют собой сухую, сравнительно неплотную породу, в верхних горизонтах — трещиноватую, при погружении в воду — очень быстро размокающую и теряющую облик связной породы. Толща глин представляет собой породу светло-бурого и светло-серого цвета. Присутствие бурых окислов железа придает им пятнистость.

Сложение глин массивное с неясно выраженной микрослоистостью. Прослои глин в 3, 5, 7, а иногда 8—10 *мм* чередуются с тонкими прослоями тонкозернистого сероватого песка. Слоистость отчетливо обнаруживается при погружении монолита породы в воду. К песчаным прослоям чаще приурочены пятна окислов железа, а также скопления мелких кристалликов гипса, иногда образующих своеобразные друзы. Значительно реже в толще глин встречаются песчаные прослои толщиной 3—5 *см*. Излом глин — неровный, грубый, часто раковистый. При естественной влажности они жирные на ощупь, плотные и монолитные (рис. 3, *а*). На правобережье в зоне выхода на дневную поверхность они сильно трещиноватые (рис. 3, *б*), имеют более темную окраску, легко рассыпаются на мелкие кусочки. При погружении в воду в течение 30—35 дней не «раскисают» и не теряют своей формы. Структура глин в основном пелитовая (рис. 3, *в*), реже — тонкопелитовая (гелевая) и алевритовая (рис. 3, г). Текстура глин чаще тонкослоистая, реже — пятнистая.

По физическому состоянию глины представляют собой монолитную плотную породу тугопластичной консистенции. В воздушно-сухом состоянии они очень твердые, мучнистые на ощупь.

3. Вещественный состав пород

Гранулометрический состав пород[1] *(рис. 4)*. Толща суглинков относится к тяжелым разностям, а в некоторых случаях — к тощим глинам.

[1] Гранулометрический состав суглинков и глин определялся методом пипетки. При подготовке грунта к анализу вводился пирофосфат натрия по методике, разработанной И. Н. Шульц и В. Н. Новожиловым [7].

Суглинки легкие и средние находятся в подчиненном количестве. Содержание глинистых фракций в толще суглинков изменяется от 7 до 40%, пылеватых — от 7 до 51%, а песчаных — от 14 до 86%. Некоторые суглинки относятся к пылеватым разностям. Преобладающей из песчаных фракций является самая тонкая (0,25—0,05 *мм*). Медианные значения по отдельным фракциям находятся в следующих соотношениях: глинистые 31%, пылеватые 31,5% и песчаные 54%.

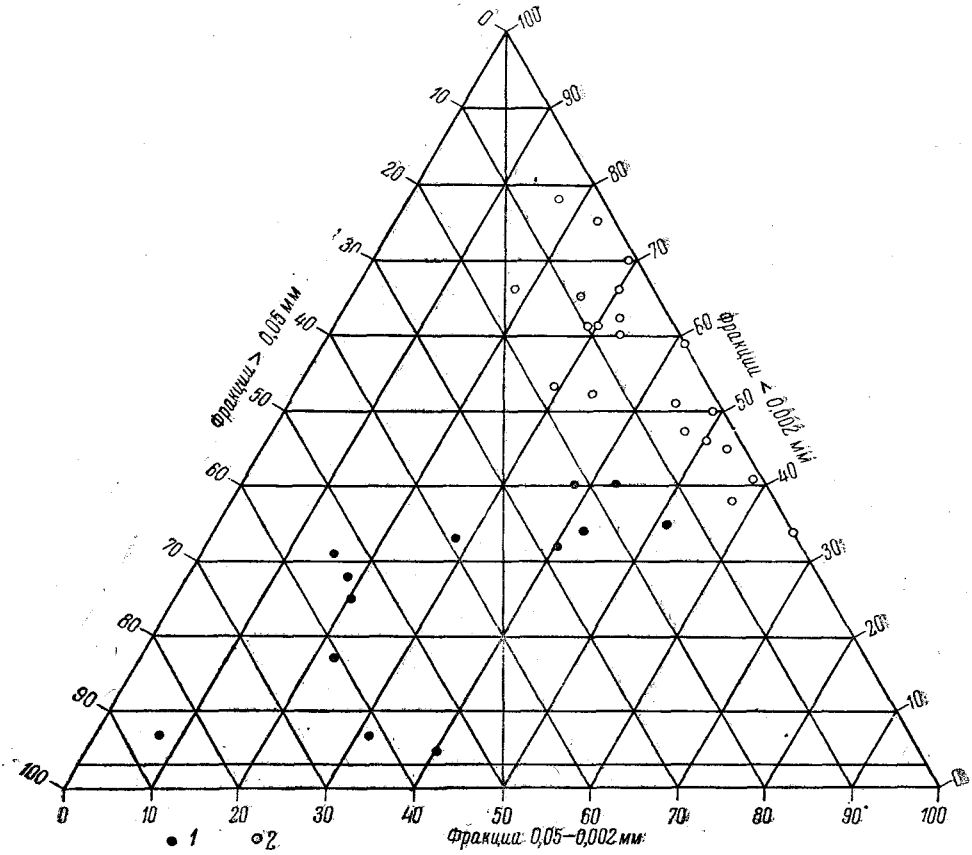


Рис. 4. График, характеризующий гранулометрический состав пород:
1 — суглинки; *2* — глины

Гранулометрический состав глин более постоянен, чем состав суглинков. Содержание глинистых фракций изменяется от 34 до 78%, пылеватых — от 17 до 58% и песчаных — от следов до 18%. Среди пылеватых фракций преобладают более мелкие (< 0,01 *мм*), а среди песчаных — тонкозернистые разности (< 0,25 *мм*). Медианные значения по отдельным фракциям находятся в следующих соотношениях: глинистые 59%, пылеватые 32% и песчаные 5%. Таким образом, толща древнеаллювиальных глин в своей основной массе относится к тяжелым пылеватым разностям.

Минеральный состав пород.[1] Преобладающую массу суглинков часто составляет микрозернистый пелитовый материал, играющий роль

[1] Минеральный состав пород охарактеризован по данным исследований суглинков и глин, в шлифах методами окрашивания, термометрии и рентгеноскопии.

базального цемента при явном подчинении равномерно рассеянного алевритового материала. Довольно часто порода представлена примерно равным соотношением кластического псаммитового материала — песчинок и микрокриптозернистой массы, играющей роль базального цемента. Встречаются и такие разности пород, где преобладает обломочно-зернистый кластический материал, представленный алевритовыми зернами при подчиненном содержании псаммитовых зерен. В этом случае цементирующая масса представлена бурым железисто-глинистым веществом, играющим роль цемента соприкосновения. В составе обломочного материала присутствуют кварц, полевые шпаты, обломки известковистых раковинок и известняка, рудного минерала, карбоната, реже слюда и хлорит, очень редко эпидот, халцедон и циркон. В одном шлифе встречен гипс.

Как показало изучение минерального состава глин, в большинстве случаев основная ткань породы представлена крипто- и микрозернистым глинистым (пелитовым) веществом, в котором неравномерно и редко рассеяны алевритовые зерна кварца, полевых шпатов, карбоната и рудного минерала. Довольно часто вся порода пропитана окислами железа, неравномерное распределение которых придает ей пятнистость. Иногда в шлифах наблюдается тонкорассланцованная криптозернистая тонкодисперсная масса бурой окраски, чередующаяся с микрозернистыми (пелитовыми) материалами более светлой окраски. Среди этой тонкослоистой массы рассеяны единичные зерна кварца, полевого шпата, рудного минерала и карбоната. Редко в составе породы преобладает мелкообломочный алевритовый материал в зернах размером до 0,1 *мм*, который слагается кварцем, полевыми шпатами, рудным минералом, обломками известняка и известковых раковинок. Наряду с обломочным материалом в заметном количестве присутствуют органические остатки. Цементирующая масса — глинистая, слабожелезистая находится в подчиненном количетве, играя роль цемента соприкосновения. Определение глинистых минералов методом окрашивания показало, что как в суглинках, так и в глинах главным минералом является гидрослюда, а в некоторых разностях присутствует, кроме того, минерал из группы монтмориллонита (возможно, бейделит).

Термический анализ глинистых фракций суглинков подтвердил наличие гидрослюды и бейделита, кроме того, отмечены монотермит и хлорит. В глинах главным минералом тонкодисперсных фракций является гидрослюда или монотермит, а иногда оба минерала вместе.

Минеральный состав тонкодисперсной части породы, по данным 14 термических анализов, следующий:

Глины	Суглинки
гидрослюда + монотермит	монотермит
гидрослюда	монотермит
монотермит	магнезиально-железистый хлорит + органическое вещество
гидрослюда	бейделит или гидрослюда
монотермит	магнезиально-железистый хлорит
монотермит + орг. вещество	магнезиально-железистый хлорит
гидрослюда	
гидрослюда	

Поданным рентгенографического исследования, в составе тонких фракций суглинков и глин преобладает монтмориллонит (65—75%) при подчиненном содержании кальцита (20%) и каменной соли (до

10—15%). В некоторых разностях присутствует небольшое количество кварца (до 5%).

При определении глинистых минералов И. В. Михеева отметила большую сложность расшифровки дебаеграмм указанных выше минеральных смесей и указала, что, несмотря на мономинеральный состав глин, основным минералом является минерал монтмориллонитового ряда.

Засоленность пород. Толщи глин и суглинков относятся к породам засоленным. Засоленность их установлена на основании макроскопического изучения керна и обнажений горных выработок, исследований шлифов, рентгенометрического исследования тонкодисперсных фракций, а также посредством солянокислых и водных вытяжек (табл. 1, 2). Кар-

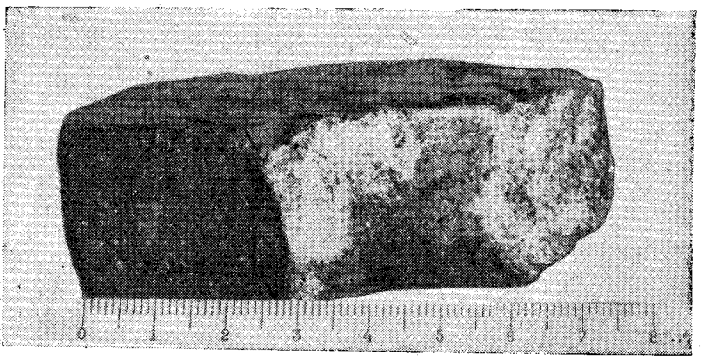


Рис. 5. Суглинок. Выцветы солей по трещинам

бонаты в основном в обеих толщах находятся в мелкодисперсном состоянии и представлены раковинами микроорганизмов, а также в виде псаммитовых и алевритовых зерен. Значительно реже в толще суглинков встречаются единичные зерна и скопления мелких зерен карбонатов. Гипс в виде псаммитовых зерен встречается весьма редко, чаще он представлен кристаллами, хорошо видимыми невооруженным глазом.

Визуально в толще суглинков почти всегда отчетливо наблюдаются выцветы солей, наибольшее скопление которых приурочено к плоскостям трещиноватости (рис. 5). По трещинкам можно наблюдать скопление мелких кристаллов гипса, редких и мелких кристалликов кальцита, а также сероватых кристаллов неизвестного минерала, который нерастворим в слабой соляной кислоте.

Водные вытяжки из толщи суглинков (табл. 2) показывают, что суммарное количество воднорастворимых солей по отдельным пробам изменяется от 0,6 до 1,8%; медианные значения содержания солей 1,1%. Среди воднорастворимых солей преобладает NaCl (медианное значение 0,55%) и Na_2SO_4 (медианное значение 0,12%). Солей $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$ и $MgSO_4$ соответственно содержится: 0,045; 0,035 и 0,015% (медианные значения). В ряде случаев единичные пробы содержат $Mg(HCO_3)_2$, $NaHCO_3$, $CaCl_2$, а также $MgCl_2$.

Анализ результатов солянокислых 2,5-процентных вытяжек из суглинков (табл. 2) показывает значительное содержание карбонатов при подчиненном присутствии гипса. Содержание в породе $CaCO_3$ изменяется от 6,49 до 25,48%. Медианное значение содержания $CaCO_3$ в су-

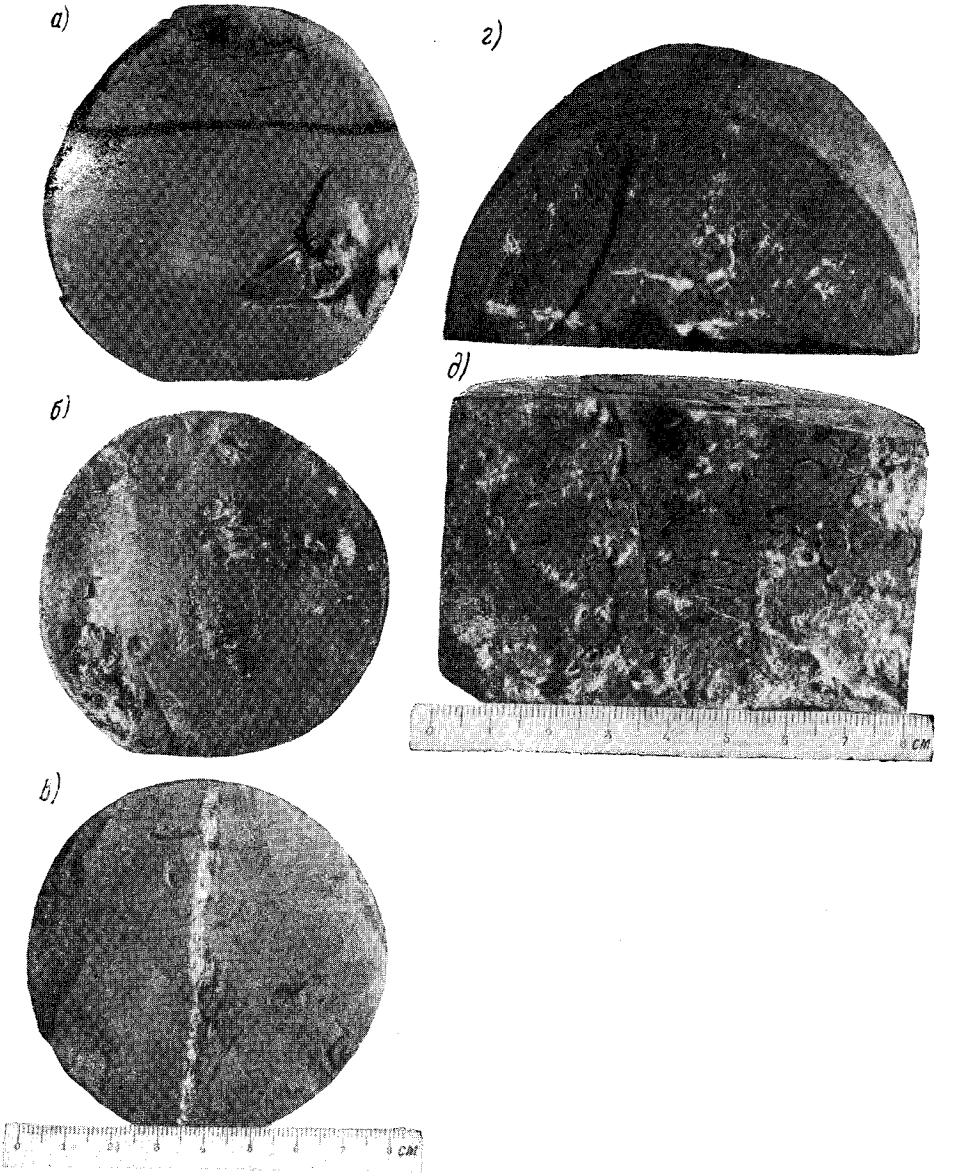


Рис. 6. Глина:

а — крупный кристалл гипса; *б* — многочисленные включения кристаллов гипса; *в* — скопления мелкокристаллического типа; *г* — скопление солей по трещинам, снимок сделан по длине керна; *д* — скопление солей по трещинам, снимок сделан перпендикулярно длине керна

глинках 16,5%. Значительно меньше в породе $MgCO_3$. Его содержание изменяется по отдельным пробам от 0,25 до 1,27%. Количество $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, как правило, не превышает 1% и только в одном случае достигает 7%. Медианное значение содержания $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ находится

Таблица 1

Результаты анализов 2,5-процентных солянокислых вытяжек из суглинков

(в пересчете на абсолютно сухую породу)

Глубина отбора проб, *м*	Содержание, %							Солевой состав, %			Доломитизация, %
	SO_3	CO_2	CaO	MgO	SiO_2	R_2O_3	нерастворимый остаток	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	$CaCO_3$	$MgCO_3$	
0,9 —1,1	0,24	7,66	9,20	0,48	0,74	1,35	80,05	0,50	16,16	1,00	5,83
1,6 —1,8	0,23	3,08	3,79	0,21	0,45	0,81	91,59	0,49	6,49	0,43	6,21
3,5 —3,7	0,68	7,60	9,84	0,21	0,58	1,29	79,60	1,45	16,75	0,43	2,50
1,45—1,6	0,13	6,45	7,44	0,61	0,62	1,58	82,83	0,27	13,14	1,27	9,47
1,0 —1,15	0,12	10,02	12,23	0,42	0,59	1,02	75,26	0,20	21,72	0,87	3,85
1,5 —1,65	0,30	6,20	7,65	0,32	0,69	1,75	83,49	0,66	13,30	0,66	4,73
1,0 —1,2	0,56	7,86	10,15	0,16	0,50	0,75	79,79	1,09	17,45	0,33	1,86
1,15—1,35	0,25	7,72	9,54	0,32	0,59	1,03	80,35	0,53	16,75	0,66	3,79
0,7 —0,85	3,29	11,51	16,51	0,23	0,45	1,05	66,74	7,04	25,48	0,48	1,85
2,5 —3,0	0,14	7,46	9,39	0,12	0,53	0,8 2	80,83	0,29	16,63	0,25	1,48

в пределах 0,5%. Суммарное количество карбонатов и гипса в суглинках изменяется от 7,4 до 35%, медианное значение 17,5%.

Макроскопически в толще глин наблюдается кристаллический гипс, а также выцветы солей по трещинам. Гипс встречается как в виде крупных кристаллов, так и в виде скоплений и единичных мелких кристалликов. Иногда его кристаллы достигают 2—3 *см* и образуют типичные формы «ласточкин хвост» (рис. 6, *а*). В ряде случаев гипс представлен друзами, диаметр которых достигает 1—1,5 *см* (рис. 6, *б*). Скопления мелкокристаллического гипса в основном приурочены к песчаным прослоям или участкам, обогащенным песчаным материалом (рис. 6, *в*). Довольно часто трещины в толще глин заполнены выцветами солей (рис. 6, *г, д*).

Как свидетельствует табл. 3, суммарное содержание воднорастворимых солей (медианное значение) в глинах по сравнению с суглинками возросло до 2%. Минимальное содержание солей в глинах 0,7%, максимальное 3,25%. Из солей преобладает NaCl, содержание которого по отдельным пробам изменяется от 0,27 до 2,19%, медианное значение 1,05%. Несколько меньше в глинах Na_2SO_4 и $CaSO_4$ — соответственно 0,45 и 0,15%. Кроме того, в некоторых пробах отмечено незначительное содержание солей: $Mg(HCO_3)_2$, $NaHCO_3$, $CaCl_2$ и $MgCl_2$.

Результаты анализов водных вытяжек из суглинков

Глубина отбора проб, м	Гигроскопическая влажность, %	Содержание, %										Содер	
		$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$K^{\cdot}+Na^{\cdot}$	$Cl^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$HCO_3^{\prime}$	SiO_2	R_2O_3	сухой остаток	окисляемость в O_2	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$
0,9—1,1	2,95	0,0321 1,103	0,0098 0,805	0,3744 16,279	0,4899 13,800	0,1686 3,497	0,0543 0,890	0,007	0,006	1,0934	0,0160	3,03	2,21
1,6—1,8	1,81	0,0242 1,208	0,0410 3,371	0,1372 5,969	0,2783 7,840	0,1028 2,121	0,0328 0,587	0,005	0,001	0,615	0,0144	5,72	15,9
3,5—3,7	1,84	0,1141 5,691	0,0032 0,262	0,3715 16,154	0,3656 10,300	0,5374 11,180	0,0382 0,627	0,002	0,001	1,400	0,0136	12,87	0,59
1,45—1,60	2,75	0,1129 5,636	0,0109 0,896	0,4878 21,211	0,3352 9,500	0,8516 17,717	0,0321 0,526	0,005	0,005	1,798	0,0120	10,16	1,61
1,0—1,15	2,63	0,0070 0,349	0,0022 0,179	0,0217 0,946	0,0007 0,0020	0,0164 0,341	0,0679 1,113	0,005	0,004	0,1110	0,0176	11,84	6,07
1,5—1,65	2,34	0,0721 3,603	0,0032 0,262	0,2882 12,544	0,3621 10,200	0,2714 5,642	0,0345 0,567	0,005	0,005	1,0294	0,0152	10,98	0,79
1,0—1,2	2,34	0,0914 4,563	0,0039 0,320	0,2840 12,349	0,3798 10,700	0,2920 6,079	0,0277 0,453	0,005	0,005	1,0846	0,0152	13,23	0,93
1,15—1,35	3,40	0,0771 3,849	0,0054 0,449	0,3098 13,470	0,5751 16,200	0,0493 1,001	0,0345 0,567	0,003	0,005	1,1283	0,0160	10,83	1,2
0,7—0,85	3,55	0,3072 15,337	0,0152 1,250	0,1053 4,847	0,6106 17,200	0,1510 3,768	0,0284 0,466	0,002	0,004	1,2407	0,0160	35,78	2,9
2,5—3,0	2,10	0,0092 0,409	0,0022 0,179	0,5476 23,810	0,1917 5,400	0,8968 18,654	0,0210 0,344	0,004	0,003	1,6290	0,0144	0,83	0,3

Примечания: 1. Опыты проходили при соотношении грунта в
ной температуре в течение 3 мин.; мутные фильтраты фильтровались
2. $CO_3^{\prime\prime}$ в растворе не оказалось.

Таблица 2

(% и *мг/экв* в пересчете на абсолютно сухую породу)

жание, *мг/экв*				Солевой состав, %								
$K^{+} + Na^{+}$	Cl^{-}	SO_4^{--}	HCO_3^{-}	$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$	$NaHCO_3$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	Na_2SO_4	NaCl	$CaCl_2$	$MgCl_2$
44,76	37,94	9,61	2,45	0,0720	Не обнаружено	Не обнаружено	0,0144	0,0483	0,1759	0,8073	Не обнаружено	Не обнаружено
28,30	37,16	10,05	2,79	0,0475	Не обнаружено	Не обнаружено	0,0420	0,0908	Не обнаружено	0,3480	Не обнаружено	0,0891
36,54	23,30	25,29	1,41	0,0515	Не обнаружено	Не обнаружено	0,3442	0,0157	0,4158	0,6028	Не обнаружено	Не обнаружено
38,23	17,12	31,93	0,95	0,0425	Не обнаружено	Не обнаружено	0,3474	0,0430	0,8314	0,5557	Не обнаружено	Не обнаружено
32,09	0,68	11,56	37,76	0,0282	0,0030	0,0490	Не обнаружено	Не обнаружено	0,0102	0,0001	Не обнаружено	Не обнаружено
38,23	31,08	17,19	1,73	0,0345	Не обнаружено	Не обнаружено	0,2164	0,0157	0,1664	0,5967	Не обнаружено	Не обнаружено
35,84	31,05	17,64	1,31	0,0369	Не обнаружено	Не обнаружено	0,2794	0,0191	0,1880	0,6259	Не обнаружено	Не обнаружено
37,91	45,59	2,81	1,60	0,0458	Не обнаружено	Не обнаружено	0,0680	Не обнаружено	Не обнаружено	0,7909	0,1265	0,0213
11,31	40,12	8,79	1,09	0,0377	Не обнаружено	Не обнаружено	0,2561	Не обнаружено	Не обнаружено	0,2834	0,6161	0,0595
48,80	11,06	38,23	0,71	0,0277	Не обнаружено	Не обнаружено	0,0044	0,0106	1,3066	0,3157	Не обнаружено	Не обнаружено

воде 1 : 5; навеска грунта взбалтывалась с водой, лишенной CO_2, при комнат- повторно до тех пор, пока раствор не становился совершенно прозрачным.

Результаты анализов водных вытяжек из глин (% и

Глубина отбора проб, м	Гигроскопическая влажность, %	Содержание, %										Соде	
		$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$K^{+}+Na^{+}$	Cl^{-}	$SO_4^{..}$	HCO_3^{-}	SiO_2	R_2O_3	сухой остаток	окисляемость в O_2	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$
2,5—2,65	4,85	0,4538 22,106	0,0174 1,417	0,5619 24,431	0,1704 4,800	2,0241 42,1421	0,01617 1,012	0,015	0,010	2,953	0,0176	23,05	1,4
3,3—3,5	4,51	0,242 1,208	0,0032 0,262	0,5583 24,276	0,6745 19,000	0,2576 5,350	0,0851 1,396	0,010	0,005	1,6029	0,0168	2,34	0,5
4,5—4,7	2,86	0,0214 1,068	0,0048 0,398	0,5107 22,207	0,5701 16,060	0,3206 6,702	0,0555 0,911	0,010	0,005	1,4781	0,0160	2,25	0,8
2,8—3,0	4,85	0,1170 5,841	0,0039 0,320	1,0600 46,088	0,6780 19,100	1,5633 32,542	0,0370 0,607	0,006	0,005	3,356	0,0152	5,59	0,3
1,5—1,7	3,92	0,3192 10,933	0,0191 4,041	0,8882 38,619	0,9940 28,000	1,2160 25,108	0,0296 0,486	0,005	0,006	3,469	0,0160	10,20	3,7
4,5—4,7	5,35	0,4820 24,063	0,0535 4,399	0,8792 38,228	1,1000 31,000	1,4974 35,123	0,0345 0,567	0,006	0,005	4,123	0,168	18,04	3,2
1,5—1,69	4,68	0,2608 13,020	0,0338 2,682	0,4935 21,894	0,4252 11,980	1,2095 25,171	0,0271 0,445	0,004	0,005	2,441	0,0136	17,32	3,57
8,0—8,19	3,49	0,0192 0,959	0,0022 0,179	0,2618 11,384	0,1597 4,500	0,3291 6,829	0,0691 1,133	0,010	0,006	0,8344	0,0144	3,85	0,72
5,15—5,35	3,87	0,0107 0,534	0,0011 0,089	0,2647 11,509	0,1675 4,720	0,2898 5,975	0,0876 1,437	0,008	0,004	0,8164	0,0152	2,20	0,37
6,0—6,2	3,50	0,0807 4,028	0,0141 1,151	0,4131 17,964	0,4643 13,080	0,4607 9,577	0,0296 0,486	0,010	0,004	1,4875	0,0160	8,71	2,49
4,4—4,58	4,51	0,0857 4,278	0,0131 1,077	0,5303 24,094	0,9856 27,800	0,0493 1,001	0,0395 0,648	0,008	0,005	1,7024	0,0160	7,26	1,83
2,25—2,45	3,23	0,3037 15,162	0,0273 2,245	0,6233 27,004	1,2993 36,600	0,3941 7,264	0,0333 0,547	0,005	0,005	2,6300	0,0168	17,08	2,52
4,45—4,6	4,60	0,0535 2,670	0,0120 0,986	1,2420 54,015	1,3840 39,000	0,8762 18,002	0,0407 0,067	0,005	0,005	3,5856	0,0136	2,31	0,85
6,5—7,0	3,32	0,0057 0,285	0,0011 0,089	0,2397 10,427	0,2378 6,700	0,1234 2,560	0,0937 1,538	0,010	0,004	0,6936	0,0144	1,32	0,41

Примечания: 1. Опыты проходили при соотношении грунта к воде 1:5; в течение 3 мин.; мутные фильтраты фильтровались повторно до тех пор, пока
2. $CO_3^{..}$ в растворе не оказалось.

Таблица 3

мг/экв **в пересчете на абсолютно сухую породу)**

жание, *мг/экв*				Солевой состав, %								
$K^{+} + Na^{+}$	Cl^{-}	SO_4^{--}	HCO_3^{-}	$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$	$NaHCO_3$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	Na_2SO_4	NaCl	$CaCl_2$	$MgCl_2$
25,47	5,00	43,94	1,06	0,0819	Не обнаружено	Не обнаружено	1,4343	0,0854	1,3937	0,2704	Не обнаружено	Не обнаружено
47,16	36,91	10,38	2,71	0,0966	0,0137	Не обнаружено	Не обнаружено	0,0045	0,3745	1,1115	Не обнаружено	Не обнаружено
46,91	33,92	14,16	1,92	0,0728	Не обнаружено	Не обнаружено	0,0038	0,0239	0,4434	0,9394	Не обнаружено	Не обнаружено
44,11	18,28	31,14	0,58	0,0491	Не обнаружено	Не обнаружено	0,3558	0,0192	1,9161	1,1173	Не обнаружено	Не обнаружено
36,03	26,13	23,42	0,45	0,0393	Не обнаружено	Не обнаружено	0,7103	0,2430	0,7539	1,5380	Не обнаружено	Не обнаружено
28,67	23,24	26,34	0,42	0,0458	Не обнаружено	Не обнаружено	1,5977	0,2645	0,5131	1,8135	Не обнаружено	Не обнаружено
29,11	15,93	33,48	0,59	0,0360	Не обнаружено	Не обнаружено	0,8551	0,1501	0,7038	0,7007	Не обнаружено	Не обнаружено
45,43	18,01	27,39	4,60	0,0766	0,0127	Не обнаружено	Не обнаружено	0,0003	0,4843	0,2632	Че обнаружено	Не обнаружено
47,43	19,41	24,67	5,92	0,431	0,0096	0,0683	Не обнаружено	Не обнаружено	0,4244	0,2761	Не обнаружено	Не обнаружено
38,80	28,26	20,69	1,05	0,0393	Не обнаружено	Не обнаружено	0,2408	0,0691	0,3467	0,7651	Не обнаружено	Не обнаружено
40,91	17,21	1,69	1,10	0,0528	Не обнаружено	Не обнаружено	0,0680	Не обнаружено	Не обнаружено	1,5094	0,0933	0,0512
30,40	41,20	8,18	0,62	0,0442	Не обнаружено	Не обнаружено	0,4938	Не обнаружено	Не обнаружено	1,5796	0,4079	0,1068
46,84	33,81	15,61	0,58	0,0539	Не обнаружено	Не обнаружено	0,1361	0,0592	1,036	2,1915	Не обнаружено	Не обнаружено
48,27	31,03	11,85	7,12	0,0223	0,0064	0,0977	Не обнаружено	Не обнаружено	0,1816	0,3919	Не обнаружено	Не обнаружено

навеска грунта взбалтывалась с водой, лишенной CO_2, при комнатной температуре раствор не становился совершенно прозрачным.

Анализ результатов 2,5-процентных солянокислых вытяжек из глин (табл. 4) показывает, что преобладающим является $CaCO_3$, а $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и $MgCO_3$ находятся в подчиненных количествах. Содержание

Таблица 4

Результаты анализов 2,5-процентных солянокислых вытяжек из глин (в пересчете на абсолютно сухую породу)

Глубина отбора проб, *м*	Содержание, %							Солевой состав, %			Доломитизация, %
	SO_3	CO_2	CaO	MgO	SiO_2	R_2O_3	нерастворимый остаток	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	$CaCO_3$	$MgCO_3$	
2,5—2,65	1,41	9,35	12,20	0,47	1,02	1,75	73,59	3,01	20,06	0,98	4,66
3,3—3,5	0,31	8,66	10,48	0,57	1,15	1,85	76,81	0,65	18,36	1,10	5,65
4,6—4,7	0,37	14,16	17,66	0,34	0,80	1,55	65,12	0,78	31,20	0,71	2,23
2,8—3,0	1,05	8,65	10,72	0,72	1,05	1,87	75,64	2,24	17,86	1,50	7,75
1,5—1,7	1,49	7,23	10,08	0,21	0,71	1,55	78,46	3,18	16,05	0,43	2,61
4,5—4,7	4,48	8,15	12,84	0,46	0,69	1,60	71,80	9,58	17,36	0,96	5,24
1,5—1,69	4,00	11,91	17,58	0,25	0,69	1,60	63,75	8,56	26,42	0,52	1,97
8—8,19	0,41	13,31	17,34	0,15	0,45	0,75	67,69	0,86	29,84	0,31	1,03
5,15—5,35	0,92	9,88	12,65	0,37	0,71	1,91	73,95	1,96	21,49	0,77	3,46
6—6,2	0,73	10,40	13,38	0,24	0,55	1,65	72,62	1,56	23,01	0,51	2,17
4,4—4,58	0,47	16,79	21,27	0,27	0,73	1,65	59,65	1,00	37,45	0,56	1,47
2,25—2,45	3,43	10,80	14,23	0,35	0,68	1,63	70,54	3,06	23,65	0,73	2,99
4,45—4,6	0,24	9,06	11,08	0,42	0,69	1,90	76,18	0,50	19,52	0,88	4,31
6,5—7,0	0,31	10,18	12,66	0,34	0,72	2,10	73,45	0,65	22,26	0,71	3,09

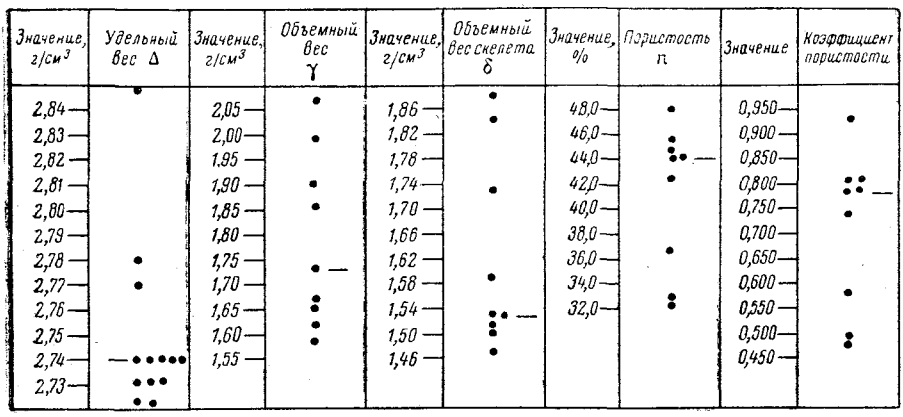
$CaCO_3$ по отдельным пробам изменяется от 16,05 до 37,45%, медианное значение 22,0%. Количество $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в породе варьирует от 0,5 до 9,58%, медианное значение находится в пределах 0,7%. В глинах находится в среднем около 0,7% $MgCO_3$ при максимальном содержании 1,5% и минимальном 0,31%. Суммарное количество солей в глинах достигает в среднем 25%.

4. Физические свойства пород

Объемный и удельный вес (рис. 7 и 8, табл. 5). Объемный вес суглинков и глин определялся по образцам естественного сложения и природной влажности. Удельный вес определялся параллельно для тех же образцов.

Большой диапазон отклонений значений удельного и объемного весов от медианных значений свидетельствует о неоднородности толщи суглинков. Объемный вес и объемный вес скелета суглинков показывает, что их плотность незначительна (рис. 7).

Как следует из приведенных данных, среднее медианное значение удельного веса глин 2,74 *г/см*^{3}. Отклонения в сторону максимума (2,82 *г/см*^{3}) и минимума (2,70 *г/см*^{3}) весьма незначительны, что подтверждает относительную однородность состава толщи тяжелых глин.



● – Местоположение медианного значения

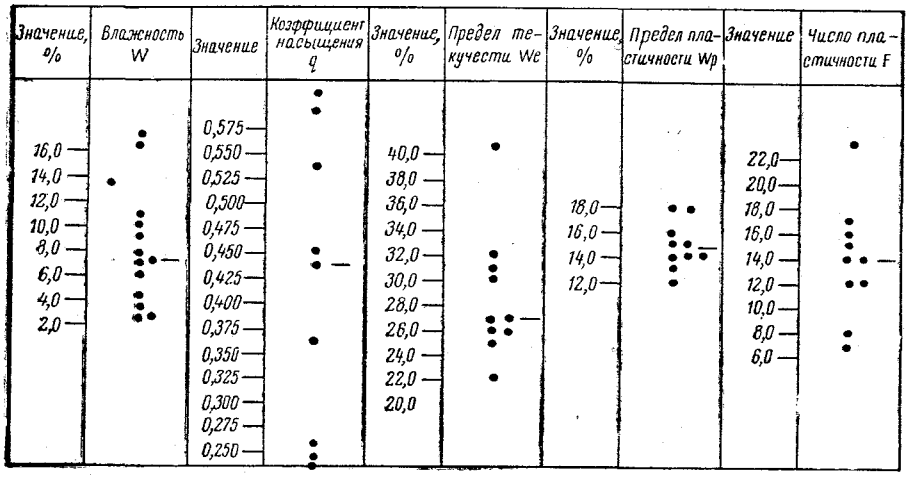


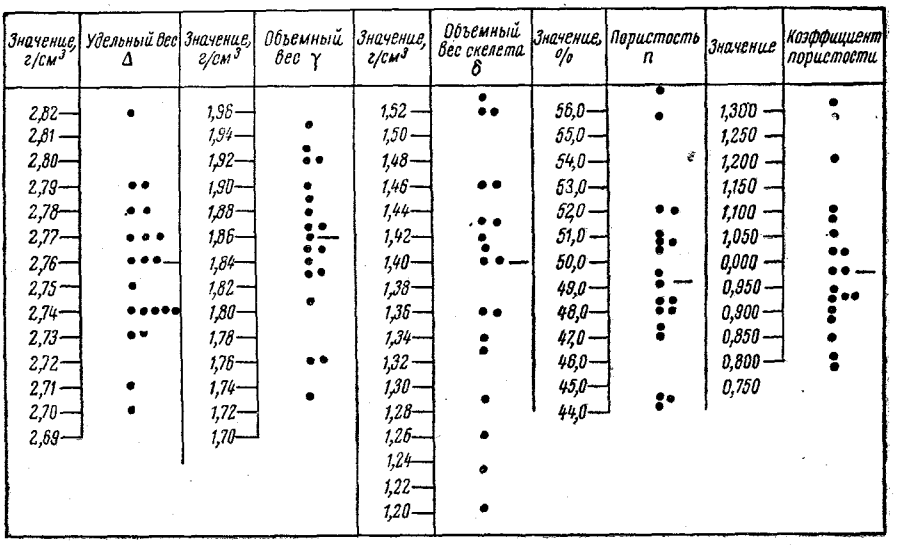
Рис. 7. График показателей физических свойств суглинков

Таблица 5

Значение	Удельный вес, г/см³	Объемный вес, г/см³	Объемный вес скелета, г/см³
Суглинки			
Медианное	2,74	1,73	1,54
Максимальное . . .	2,85	2,07	1,88
Минимальное	2,68	1,62	1,47
Глины			
Медианное	2,76	1,86	1,40
Максимальное . . .	2,82	1,95	1,53
Минимальное	2,70	1,73	1,20

Значения объемного веса глин и объемного веса их скелета свидетельствуют о сравнительно высокой плотности.

Пористость. Как показывают результаты определений пористости и коэффициента пористости (рис. 7 и 8, табл. 6), плотность суглинков мала, а для глин ее значение нормально.



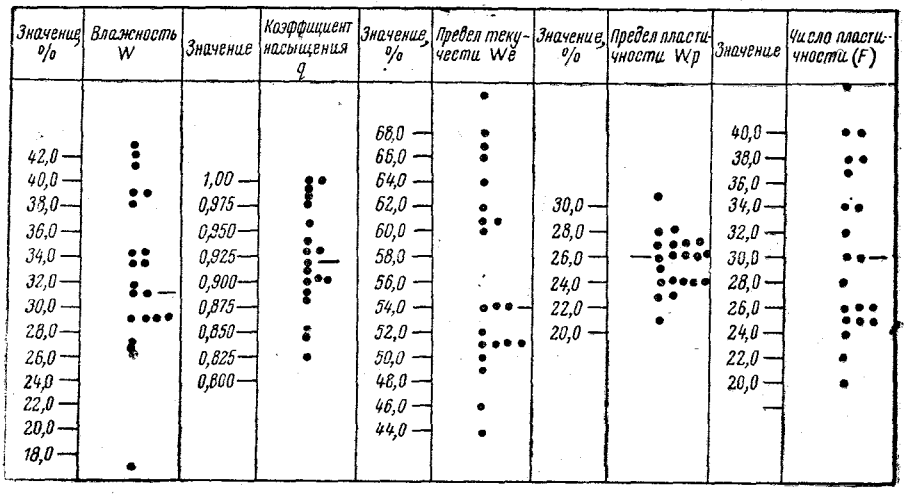


Рис. 8. График показателей физических свойств глин

Влажность. Естественная влажность пород определялась параллельно с определением объемного и удельного веса по тем же образцам. Результаты исследований влажности и коэффициента насыщения пород приведены на рис. 7 и 8, а также в табл. 7.

Влажность суглинков изменяется в широких пределах. Медианное значение ее достигает 7%. Следует отметить, что не исключена воз-

можность некоторого подсыхания образцов грунта. Это, вероятно, несколько занизило приведенные данные. Медианное значение коэффициента насыщения суглинков, равное 0,44, фактически лежит на границе

Таблица 6

Значение	Пористость, %	Коэффициент пористости
	Суглинки	
Медианное	44,0	0,780
Максимальное	48,3	0,939
Минимальное	32,1	0,473
	Глины	
Медианное	49,0	0,980
Максимальное	57,0	1,325
Минимальное	44,1	0,802

сухого и влажного состояния грунта. Максимальные значения коэффициента насыщения (0,62) показывают, что некоторые разности пород толщи суглинков находятся во влажном состоянии, а часть их, по

Таблица 7

Значение	Естественная влажность, %	Коэффициент насыщения	Предел пластичности, %	Предел текучести, %	Число пластичности
		Суглинки			
Медианное	7,0	0,44	15,0	27,0	12
Максимальное	17,7	0,62	18,0	36,0	18
Минимальное	2,7	0,09	12,0	22,0	10
		Глины			
Медианное	31,0	0,92	26,0	53,0	27
Максимальное	43,4	1,00	31,0	71,0	40
Минимальное	26,4	0,84	21,0	44,0	23

данным минимальных значений (0,09), относится к категории сухих пород.

Глины находятся в насыщенном водой состоянии. Влажность глины на участке, где покрывающие их суглинки отсутствуют, естественно ниже (17—25%).

Консистенция. Суглинки при естественной влажности имеют твердую, реже тугопластичную консистенцию. Они, как правило, мелкопесчанистые, имеют низкую плотность, легко разламываются на мелкие кусочки.

Пределы пластичности суглинков хорошо увязываются с их гранулометрическим составом (рис. 7, табл. 7). Они имеют нормальные значения влажности при пределах текучести и пластичности.

Как показывает сравнение, влажность суглинков при пределе пластичности несколько выше естественной влажности породы. Влажность

суглинков при пределе текучести значительно выше их естественной влажности. Толща суглинков, как видно из рис. 9, весьма неоднородна. Значения показателей естественной уплотненности K_d лежат в зоне уплотненных и недоуплотненных пород.

Глины естественной влажности (рис. 8, табл. 7) имеют тугопластичную консистенцию. Они жирные, на ощупь плотные, при изломе дают грубую раковистую поверхность.

Глины как породы высокопластичные характеризуются высоким значением влажности при пределах текучести и сравнительно невысоким значением при пределе пластичности.

Естественная влажность глин несколько выше, чем влажность при их пределе пластичности. Влажность глин при пределе текучести, как правило, намного выше их естественной влажности.

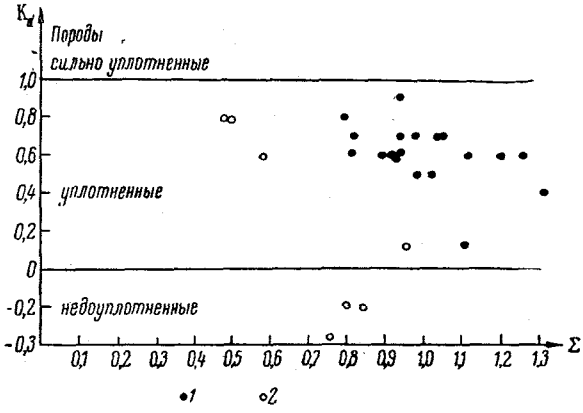


Рис. 9. График, характеризующий степень естественной уплотненности пород:
1 — глины; *2* — суглинки

Все значения показателя естественной уплотненности глин выше нуля, что позволяет отнести породы этой толщи к категории уплотненных (рис. 9). Перемятые образцы таких глин при их естественной влажности могут образовать тугопластичную или пластичную массу.

5. Водные свойства пород

Размокание. Важным показателем оценки устойчивости исследуемых пород является их поведение при воздействии воды. Лабораторные исследования размокания пород показали, что скорость разрушения их в воде неодинакова. Образцы суглинков в форме цилиндров диаметром 30 *мм* и такой же высоты, а также в виде кубиков размером $5 \times 5 \times 5$ *см* разрушались в течение нескольких минут. Образцы глин тех же размеров при погружении в воду разрушались через 2—5 суток. Процесс разрушения их неодинаков. В тех случаях, когда глины представлены тонкослоистыми разностями (чередование песчаных и глинистых прослоек), при погружении образцов в воду сразу начинается отделение мелких частиц из песчаных прослоев и отчетливо обнаруживается слоистость. Образцы постепенно приобретают вид «слоеного пирога», затем растрескиваются и распадаются на две-три части, после чего начинается медленное отделение чешуек глины. В дальнейшем появляются новые трещинки и крупные кусочки распадаются на мелкие, интенсивность отделения чешуйчатых частичек воз-

растает и образцы полностью разрушаются. Если же образцы глин представлены неслоистыми разностями, то процесс разрушения в воде несколько иной: в начале опыта наблюдается отделение мелких чешуек, а иногда и небольших кусочков с верхних частей образцов, затем образуются две-три трещины, по которым образцы распадаются на крупные кусочки; иногда трещин не возникает, а разрушение происходит по всему периметру образцов; в дальнейшем разрушение происходит аналогично изложенному выше.

Скорость разрушения образцов зависит также от влажности глин. Глины с низкой влажностью разрушаются быстрее.

Набухание. Одним из показателей водоустойчивости глинистых разностей пород является их склонность к набуханию. Изучение этого явления проводилось в специальном приборе конструкции А. М. Васильева [1]. Результаты исследования (табл. 8) показывают, что общее набухание для суглинков может достигать 12%, в большинстве же случаев не превышает 5—6%. Величина набухания при увеличении влажности на 1% (удельное набухание) изменяется от 0,1 до 0,4% и в среднем составляет 0,25%. Влажность, соответствующая моменту

Таблица 8

Результаты набухания суглинков и глин

Начальная влажность, %	Конечная влажность, %	Увеличение влажности при набухании, %	Общее набухание, %	Набухание при увеличении влажности на 1%	Начальная влажность, %	Конечная влажность, %	Увеличение влажности при набухании, %	Общее набухание, %	Набухание при увеличении влажности на 1 %
		Суглинки			22,2	40,9	18,7	6,3	0,3
					26,0	33,0	7,0	5,3	0,7
					28,6	61,5	32,9	33,7	1,0
9,5	33,0	22,5	5,9	0,2	30,6	44,8	14,2	15,1	1,0
16,1	28,0	11,9	5,7	0,4	35,9	48,9	13,0	6,1	0,4
7,8	37,0	1-,2	4,0	0,2	25,3	60,3	35,0	33,5	1,0
6,6	30,2	23,6	2,8	0,1	30,6	46,3	15,7	10,0	0,6
10,5	33,1	22,6	10,2	0,4	27,2	39,0	11,8	9,8	0,8
7,6	33,7	26,1	8,9	0,3	26 8	46,6	18,8	18,6	1,0
6,4	33,6	27,2	10,0	0,4	11,2	58,0	46,8	26,6	0,6
2,7	30,5	27,8	2,3	0,1	15,4	55,6	40,2	24,8	0,7
5,7	35,4	30,4	4,0	0,1	31 9	55,2	23,3	13,3	0,6
6,5	31,8	25,3	0,9	0 4	10,7	47,1	36,4	9,0	0,3
2,0	28,1	26,1	2,5	0,1	24,8	52 3	27,5	14,5	0,5
2,7	29,7	27,0	4,6	0,2	3,7	22,1	18,4	1,0	0,1
3,1	25,6	22,5	0,9	0,04	26,7	64,4	37,7	21,8	0,6
7,8	38,0	30,2	2,7	0,1	21,5	60,0	38,5	25,3	0,7
8,1	28,6	20,5	5,5	0.3	16,0	42,3	26,3	13,3	0,5
6,6	34,3	27,7	6,6	0,2	31,4	68,1	36,7	34,0	0,9
3,8	37,1	33,3	5,2	0,2	34,4	46,3	11,9	19,1	1,6
5,4	32,5	27,1	11,8	0,4	29,0	61,1	32,1	34,7	1,1
8,2	33,8	25,6	8,5	0,3	26,1	68,7	42,6	25,2	0,5
					27,0	60,9	33,9	15,4	0,5
					33,2	64,5	31,3	18,1	0,6
					29,2	50 2	21,0	10,0	0,5
		Глины			27,1	52,3	25,2	14,4	0,6
					26,8	51,7	24,9	11,8	0,5
21,8	50,7	28.9	33,2	1,1	35,0	41,5	6,5	10,3	1,6
36,4	45,5	9,1	4,8	0,5	28,4	67,2	38,8	21.8	0,6
32,6	43,4	10,8	4,9	0,4	25,4	66,8	41.4	21,4	0,5
37,4	43,2	5,8	1,3	0,2	23,2	55,8	32,6	23,8	0,7

полной стабилизации процесса набухания породы, во всех случаях больше влажности, соответствующей пределу их текучести.

Процесс набухания суглинков в общем сводится к следующему: в течение первого часа происходит небольшой прирост высоты образца; в интервале 1—5 час. — значительное увеличение высоты, а затем прирост замедляется; весь процесс набухания длится от 3 до 5 дней.

Для глин общее набухание достигает почти 35%. Чаще оно не превышает 12—15%. Величина набухания глин при увеличении влажности на 1% (удельное набухание) изменяется от 0,2 до 1,6%, в среднем 0,7%.

Влажность, соответствующая моменту полной стабилизации процесса набухания этих пород, почти во всех случаях значительно выше влажности при пределе пластичности и несколько ниже влажности при пределе текучести.

Как показали наблюдения, в начале набухания происходит интенсивный прирост высоты образца, затем резкое замедление; для большинства образцов стабилизация наступает через 150—180 час.

Усадка. Высыхание влажной глинистой породы в той или иной мере сопровождается уменьшением ее объема. Это явление обычно характеризуется величиной объемной усадки и пределом усадки (табл. 9 и 10). Данные лабораторных исследований усадки

Таблица 9

Результаты определения величины усадки для суглинков и глин

Начальная влажность, грунта, %	Объемная усадка, %	Предел усадки	Начальная влажность, грунта, %	Объемная усадка, %	Предел усадки
Суглинки			Глины		
23,94	20,05	11,19	39,03	30,20	15,9
17,16	3,68	15,01	37,44	30,75	13,94
21,11	16 36	11,54	32,18	26,50	13,58
23,15	15,35	13,74	28,93	27,90	8,8
23,35	18,31	12,21	30,00	21,23	15,80
16,15	11,15	9,98	46,55	36,00	16,31
20,33	15,35	11,40	39,37	33,24	13,36
19.20	16,37	9,42	31,35	28,34	10,80
24,38	17,43	13,24	38,21	34,00	11,97
20,16	13,98	12,18	38,59	32,50	13,66
			35,18	29,23	13,67
			42,62	35,63	13,70
			41,56	34,62	14,28

Таблица 10

Значение	Объемная усадка, %	Предел усадки	Значение	Объемная усадка, %	Предел усадки
Суглинки			Глины		
Медианное . . .	16,00	12,00	Медианное . .	30,20	13,67
Максимальное .	20,05	13,74	Максимальное	36,00	16,31
Минимальное .	3,68	9,98	Минимальное .	21,23	8,80

показывают, что для глин ее значение велико и хорошо увязывается с их гранулометрическим составом.

Максимальная молекулярная влагоемкость. Максимальная малекулярная влагоемкость является условной физической константой, определяющей границу перехода глинистой породы из пластичного состояния в твердое. Лабораторное определение максимальной молекулярной влагоемкости для суглинков (табл. 11 и 12) характеризуются следующими данными: максимальное значение достигает 15,1%, минимальное —10,0% и медианное — 11,8%. Естественная влажность суглинков почти во всех случаях ниже максимальной молекулярной влагоемкости, что подтверждает быстрый ход размокания этих грунтов.

Таблица 11

Естественная влажность, %	Влажность при пределе пластичности %	Влажность при пределе текучести, %	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	Естественная влажность, %	Влажность при пределе пластичности, %	Влажность при пределе текучести, %	Максимальная молекулярная влагоемкость, %
Суглинки				Глины			
9,5	16,0	30,0	12,3	39,3	31,0	68.0	25,1
16,1	14,0	26,0	11,6	34,3	26,0	71,0	20,0
10,0	15.0	31,0	12,1	33,9	23,0	61,0	19,3
7,8	17.0	36,0	13,3	26,4	24.0	50,0	18,8
7,1	13,0	27,0	10,5	43,4	28,0	62,0	22,3
7,8	15,0	29,0	10,5	17,2	23,0	49,0	16,4
10,8	14,0	26,0	11,5	34,5	27,0	61,0	24,1
17,4	18,0	41,0	15,1	29,1	25,0	51,0	18,9
4,2	12,0	27,0	10,0	39.6	26,0	66,0	20,1
				30,9	28,0	60,0	24,5
				29,7	21,0	51,0	19,7
				29,2	26,0	64,0	18,4
				31,0	24,0	54,0	22,8

Таблица 12

Значение	Естественная влажность, %	Влажность при пределе пластичности, %	Влажность при пределе текучести, %	Максимальная молекулярная влагоемкость, %
	Суглинки			
Медианное	7,0	15,0	27,0	11,8
Максимальное . . .	17,7	18,0	36,0	15,1
Минимальное	2,7	12,0	22,0	10,0
	Глины			
Медианное	31,0	26,0	53,0	20,0
Максимальное . . .	43,4	31,0	71,0	25,1
Минимальное	26,4	21,0	44,0	16,4

Как видно из анализа исследования максимальной молекулярной влагоемкости глин (табл. 11 и 12), естественная влажность во всех случаях значительно выше максимальной молекулярной влагоемкости, которая довольно близка к пределу пластичности. Среднее (медианное) значение максимальной молекулярной влагоемкости 20%, а предельные значения соответствуют 25,1 и 16,4%. Относительная устойчивость глин в воде подтверждается данными табл. 10.

Водопроницаемость. С целью более полного суждения о водоустойчивости суглинков и глин изучалось изменение их водопроницаемости во времени. Опыты проводились с образцами нарушенного сложения[1] при плотности, близкой к оптимальной, на приборе конструкции Г. Н. Каменского. При заданных градиентах суглинки испытывались на фильтрацию в течение 52—212 час., глины — от 45 до 58 час.

Таблица 13

Результаты определения водопроницаемости суглинков и глин

Время от начала опыта, час.	Коэффициент фильтрации, *см/сек*	Время от начала опыта, час.	Коэффициент фильтрации, *см/сек*	Время от начала опыта, час.	Коэффициент фильтрации, *см/сек*
Суглинки					
		—	0,00068	—	0,0016
		4	0,00056	2	0,000053
—	0,000023	28	0,00060	22	0,000050
44	0,000025	52	0,00067	58	0,000037
68	0,000024				
92	0,000026				
140	0,000024	—	0,00041	—	0,014
164	0,000022	20	0,00058	2	0,0073
		68	0,00060	22	0,0048
—	0,000072	92	0,00064	56	0,0043
20	0,000059				
40	0,000065	—	0,00028	—	0,00060
68	0,000066	20	0,00026	22	0,00024
140	0,000065	68	0,00026	46	0,00012
		92	0,00028		
—	0,000024			—	0,0039
20	0,000024	—	0,000058	2	0,0011
44	0,000029	20	0,000038	23	0,00028
92	0,000023	68	0,000036	39	0,00019
140	0,000021	116	0,000033	45	0,00014
164	0,000022				
		—	0,000066	—	0,0159
		20	0,000060	1,5	0,0031
—	0,0023	72	0,000110	22	0,0027
4	0,0023	120	0,000022	25	0,0024
6	0,0021			56	0,0032
22	0,0020				
70	0,0020	Глины		—	0,00077
74	0,0020			2	0,00046
		—	0,0145	22	0,00040
—	0,000034	1	0,0102	56	0,00038
20	0,000020	1,5	0,0078		
68	0,000019	22	0,0040	—	0,00086
92	0,000024	42	0,00031	22	0,00031
		48	0,00020	46	0,00019
—	0,00026				
20	0,000285	—	0,0065	—	0,000077
44	0,00029	4	0,0061	22	0,000043
72	0,00028	22	0,0059	46	0,000043
		41	0,0079		
—	0,00010	45	0,0077	—	0,0043
20	0,00013			22	0,0002
44	0,00015	—	0,00027	46	0,00015
92	0,00012	2	0,00013		
140	0,00011	24	0,000098		
164	0,000084	42	0,000080		
212	0,000044	45	0,000072		

[1] Высота испытуемого образца 6 *см*, площадь — 86,5 *см*^{2}.

Как видно из табл. 13, водопроницаемость суглинков и глин обычна для пород подобного гранулометрического состава. Водопроницаемость суглинков практически во времени не изменяется. Как породы водонепроницаемые, при увлажнении они быстро теряют связность — размокают, а набухают сравнительно слабо. Поэтому и водопроницаемость их практически не изменяется.

Водопроницаемость же глин при фильтрации через них воды в начале опыта больше, в конце — меньше. Это вполне согласуется с их повышенной влагоемкостью и набухаемостью. Глины разбухают, сжимают поры и тем затрудняют фильтрацию воды.

6. Механические свойства пород

Сжимаемость. Лабораторные исследования сжимаемости пород проводились испытанием на компрессию. Уплотнению подвергались образцы пород естественного и нарушенного сложения, насыщенные водой. Как видно из табл. 14, суглинки при нагрузке 3 *кг/см²* в основном относятся к категории сильносжимаемых пород, некоторые образцы — к среднесжимаемым. Слабая сжимаемость отмечается лишь при нагрузке 0,5 *кг/см²*.

Величина коэффициента сжимаемости в интервале нагрузок 0,5—3,0 *кг/см²* изменяется от 0 до 0,066 *см²/кг*. Относительная деформация в этих же интервалах нагрузок в среднем 4,8% при максимальном значении 7,56% и минимальном значении 1,45%. Таким образом, плотность суглинков сравнительно невелика и толща в целом неоднородна.

Как видно из табл. 14, глины можно отнести к среднесжимаемым породам. Медианное значение коэффициента сжимаемости в интервалах нагрузок 0,5—3,0 *кг/см²* не превышает 0,034 *см²/кг*. Эффективное давление для глин естественного сложения 1—1,5 *кг/см²*. Относительная деформация для этих пород при нагрузках 0,5—3,0 *кг/см²* равна 2—6%.

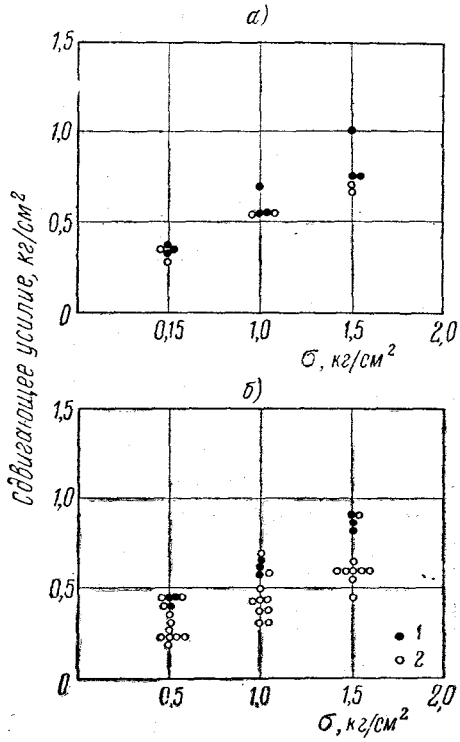


Рис. 10. Сводный график зависимости сопротивления суглинков (*а*) и глин (*б*) сдвигу от нормальной нагрузки. Образцы:
1 — естественного сложения и влажности; *2* — нарушенного сложения

Сопротивление сдвигу. Испытания суглинков и глин на сдвиг проводились на образцах естественного и нарушенного сложения в насыщенном водой состоянии (рис. 10, 11, табл. 15).

Медианное значение сцепления 0,10 *кг/см²*, предельные значения 0,005 и 0,60 *кг/см²*. Медианная величина коэффициента внутреннего трения достигает 0,465, максимальная — 0,6, минимальная — 0,325. Угол внутреннего трения изменяется от 18 до 31°, медианное значение его может быть принято 23°.

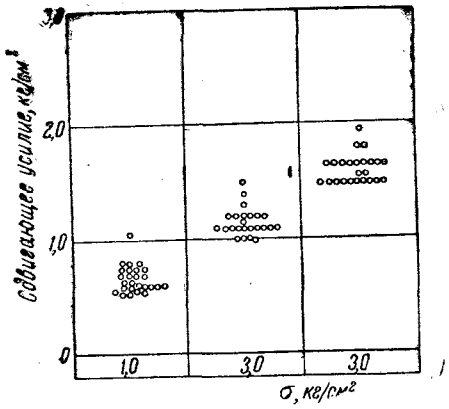


Рис 11. Сводный график зависимости сопротивления суглинков сдвигу от нормальной нагрузки (по образцам нарушенного сложения)

Значение	Сопротивление сдвигу при нормальных нагрузках, *кг/см²*		
	1,0	2,0	3,0
Число определений	26	24	24
Медианное	0,62	1,00	1,55
Максимальное	0,80	1,30	1,80
Минимальное	0,55	1,00	1.50

Значение	Сцепление, *кг/см²*	Коэффициент внутреннего трения	Угол внутреннего трения	Коэффициент сдвига при нормальных нагрузках, *кг/см²*		
				1,0	2,0	3,0
Медианное	0,10	0,465	23°00′	0,620	0,550	0,577
Максимальное	0,60	0,600	31 00	0,800	0,650	0,600
Минимальное	0,005	0,325	18 00	0,550	0,500	0,500

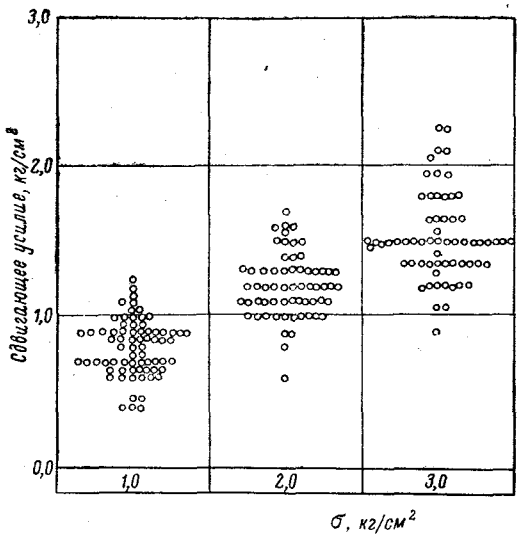


Рис. 12. Сводный график зависимости сопротивления глин сдвигу от нормальной нагрузки (по образцам нарушенного сложения)

Значение	Сопротивление сдвигу при нормальных нагрузках, кг/см²		
	1,0	2,0	3,0
Число определений	74	63	63
Медианное	0,70	1,10	1,35
Максимальное	1,10	1,50	1,95
Минимальное	0,45	0,90	1,20

Значение	Сцепление, кг/см²	Коэффициент внутреннего трения	Угол внутреннего трения	Коэффициент сдвига при нормальных нагрузках, кг/см²		
				1,0	2,0	3,0
Медианное	0,20	0,325	18°00′	0,700	0,550	0,450
Максимальное	0,900	0,600	31 00	0,100	0,750	0,650
Минимальное	0,080	0,175	10 30	0,450	0,450	0,400

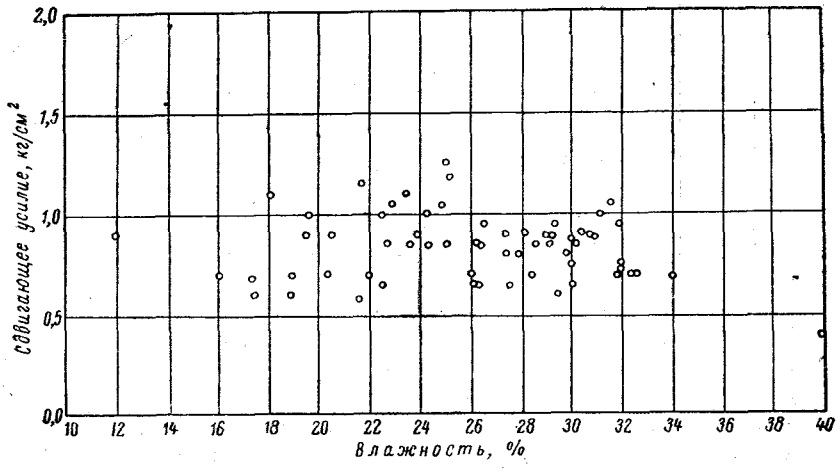


Рис. 13. Сводный график зависимости сопротивления глин сдвигу от влажности при нормальной уплотняющей нагрузке в 1 кг/см² (по образцам нарушенного сложения)

Таблица 14

Результаты определения компрессионных свойств суглинков и глин

Глубина отбора проб, *м*	Коэффициент пористости при нагрузках, *кг/см²*						Коэффициент сжимаемости (*см²/кг*) в интервалах нагрузок, *кг/см²*						Относительное сжатие (%) в интервалах нагрузок, *кг/см²*				Сложение
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	0–0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	1,5–2,0	2,0–3,0	0,0–0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	1,5–2,0	2,00–3,00	
Суглинки																	
1,00—1,20	0,773	0,773	0,760	0,727	0,693	0,640	0	0,026	0,066	0,068	0,053	0,00	0,75	2,60	4,56	7,56	Ненарушенное
1,15—1,35	0,810	0,809	0,802	0,791	0,785	0,722	0,002	0,014	0,022	0,012	0,063	0,05	0,42	1,00	1,35	4,85	То же
0,90—1,10	0,755	0,753	0,747	0,745	0,739	0,727	0,002	0,001	0,004	0,012	0,012	0,00	0,30	0,45	0,75	1,45	Нарушенное
1,60—1,80	0,560	0,552	0,538	0,530	0,524	0,516	0,016	0,028	0,016	0,012	0,008	0,50	1,40	1,90	2,30	2,80	То же
0,70—0,85	0,868	0,868	0,867	0,855	0,836	0,775	0	0,002	0,024	0,038	0,061	0,00	0,20	0,65	1,70	4,95	„
Глины																	
4,50—4,76	0,889	0,889	0,888	0,883	0,872	0,840	0	0,002	0,010	0,022	0,032	0,00	0,05	0,30	0,90	2,57	Ненарушенное
4,50—4,70	1,113	1,113	1,113	1,111	1,104	1,081	0	0	0,004	0,014	0,023	0,00	0,00	0,05	0,40	1,55	То же
8,00—8,19	0,948	0,948	0,942	0,931	0,918	0,890	0	0,012	0,022	0,026	0,028	0,00	0,27	8,50	1,50	2,95	„
4,50—4,67	0,995	0,991	0,963	0,939	0,907	0,863	0,008	0,056	0,028	0,064	0,044	0,20	1,60	2,80	4,40	6,65	Нарушенное
1,50—1,69	0,911	0,907	0,890	0,876	0,847	0,829	0,008	0,034	0,028	0,058	0,018	0,20	1,10	1,80	2,42	4,55	То же
6,50—7,00	1,083	1,082	1,071	1,053	1,032	0,995	0,020	0,022	0,036	0,042	0,036	0,05	0,05	1,40	2,45	4,20	„

Таблица 15

Результаты испытаний глин на сдвиг

Глубина отбора проб, *м*	Вертикальная нагрузка, *кг/см²*	Срезывающее усилие, *кг/см²*	Коэффициент сдвига	Коэффициент внутреннего трения	Угол внутреннего трения	Сцепление, *кг/см²*	Влажность после сдвига, %	Примечание
3,3—3,5	0,5	0,400	0,800				41,0	Структура ненарушенная
	1,0	0,600	0,600	0,400	21°50′	0,23	35,0	
	1,5	0,900	0,600				33,0	
4,5—4,7	0,5	0,450	0,900	0,300	16 40	0,30	37,0	
	1,0	0,600	0,600				36,0	
6,0—6,1	0,5	0,450	0,900				36,0	
	1,0	0,650	0,650	0,400	21 50	0,25	31,0	
	1,5	0,850	0,550				32,0	
4,5—4,67	0,5	0,450	0,900				36,8	Структура нарушенная
	1,0	0,650	0,650	0,400	21°50′	0,25	36,2	
	1,5	0,850	0,550				36,2	
4,5—4,7	0,5	0,275	0,550				28,0	
	1,0	0,400	0,400	0,325	18 00	0,09	27,0	
	1,5	0,600	0,400				25,0	
2,5—2,65	0,5	0,250	0,500				39,0	
	1,0	0,450	0,450	0,350	19 20	0,08	37,0	
	1,5	0,600	0,400				35,0	
4,5—4,7	0,5	0,250	0,500				47,0	
	1,0	0,400	0,400	0,280	15 50	0,13	44,0	
	1,5	0,600	0,400				42,0	
1,5—1,69	0,5	0,400	0,800				33,8	
	1,0	0,450	0,450	0,200	11 30	0,28	32,3	
	1,5	0,600	0,400				31,3	
8,0—8,19	0,5	0,450	0,900				32,2	
	1,0	0,700	0,700	0,450	26 35	0,23	34,5	
	1,5	0,900	0,600				35,0	
6,0—6,2	0,5	0,300	0,600				39,3	Структура ненарушенная
	1,0	0,450	0,450	0,300	16°40′	0,13	37,5	
	1,5	0,600	0,400				36,4	
7,0—7,15	0,5	0,225	0,450				43,0	
	1,0	0,300	0,300	0,225	12 40	0,10	42,0	
	1,5	0,450	0,300				41,0	
3,25—3,45	0,5	0,300	0,400				40,0	
	1,0	0,500	0,400	0,400	21 50	0,10	40,0	
6,5—7,0	0,5	0,350	0,700				21,5	
	1,0	0,500	0,500	0,300	16 40	0,20	21,0	
	1,5	0,650	0,430				20,0	

Исследование суглинков на сдвиг по методу Н. Н. Маслова (табл. 16) показывает, что время консолидации повышает общее сопротивление пород сдвигу. Сопротивление суглинков сдвигу характеризуется значительной изменчивостью как величины сцепления и угла внутреннего трения, так и коэффициента сдвига, что характеризует толщу суглинков как весьма неоднородную.

Результаты испытаний глин на сдвиг, приведенные на рис. 12, 13 и в табл. 16 и 17, характеризуются некоторым «разбросом» показателей. Это, вероятно, обусловлено тонкослоистым сложением толщи глин. Надо полагать, что там, где плоскость среза совпадала с песчаными прослоями, углы внутреннего трения и величина сцепления

Таблица 16

Результаты испытаний суглинков на сдвиг

Сдвиг после уплотнения в течение	Сдвигающее усилие (кг/см²) при нормальных нагрузках, кг/см²			Влажность (%) при нормальных нагрузках, кг/см²			Коэффициент сдвига при нормальных нагрузках, кг/см²			Коэффициент внутреннего трения	Угол внутреннего трения	Сцепление, кг/см²
	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
	0,60	1,10	1,50	15,7	15,8	15,8	0,60	0,55	0,50	0,450	24°30′	0,17
	0,65	1,10	1,50	13,3	13,7	13,1	0,65	0,55	0,50	0,425	23 00	0,23
	0,625	1,15	1,50	14,9	15,1	14,6	0,625	0,575	0,50	0,437	23 30	0,22
	0,60	1,10	1,65	11,6	11,6	11,3	0,60	0,55	0,55	0,525	27 30	0,07
	0,60	1,10	1,65	12,0	12,0	11,6	0,60	0,55	0,55	0,525	27 30	0,07
	0,80	1,20	1,65	13,4	14,6	11,8	0,80	0,60	0,55	0,425	23 00	0,37
	0,70	1,10	1,65	11,0	12,0	11,5	0,70	0,55	0,55	0,475	25 30	0,20
	0,55	1,00	1,50	10,0	10,0	10,0	0,55	0,50	0,50	0,475	25 30	0,07
	0,80	1,30	1,65	16,3	16,3	17,4	0,80	0,65	0,55	0,425	23 00	0,40
	0,70	1,10	1,65	11,3	11,0	10,9	0,70	0,55	0,55	0,475	25 30	0,20
	1,05	1,50	1,95	11,5	12,1	11,2	1,05	0,75	0,65	0,450	24 30	0,60
16 час.	0,60	1,20	1,80	10,0	10,0	10,0	0,60	0,60	0,60	0,600	31 00	0,00
	0,60	1,10	1,50	13,9	14,0	13,7	0,60	0,55	0,50	0,450	24°30′	0,17
	0,60	1,00	1,55	15,2	15,3	14,5	0,60	0,50	0,52	0,475	25 30	0,10
	0,75	1,40	1,80	14,0	14,3	14,4	0,75	0,70	0,60	0,525	27 30	0,27
	0,75	1,20	1,65	10,0	10,0	10,1	0,75	0,60	0,55	0,450	24 30	0,30
	0,55	1,20	1,65	12,5	12,6	13,0	0,55	0,60	0,55	0,550	29 00	0,03
	0,70	1,20	1,65	13,1	13,0	13,0	0,70	0,60	0,55	0,475	25 30	0,23
	0,75	1,10	1,50	14,1	14,8	15,4	0,75	0,55	0,50	0,750	37 00	
	0,70	1,00	1,50	15,2	17,6	15,3	0,70	0,50	0,50	0,400	22 00	0,27
	0,75	1,20	1,55	13,9	13,5	14,0	0,75	0,60	0,52	0,400	22 00	0,37
	0,65	1,10	1,50	11,3	11,3	11,5	0,65	0,55	0,50	0,425	23 00	0,23
	0,55	1,00	1,50	10,0	10,0	10,0	0,55	0,50	0,50	0,475	25 30	0,07
	0,80	1,10	1,50	13,7	13,2	13,8	0,80	0,55	0,50	0,350	19 30	0,43
15 мин.	0,60	1,20	1,65	15,9	15,7	15,9	0,60	0,60	0,55	0,525	27°30′	0,10
2 час.	0,55	1,20	1,65	16,2	15,8	15,5	0,55	0,60	0,55	0,550	29 00	0,03
16 час.	0,65	1,20	1,80	16,7	15,6	15,7	0,65	0,60	0,60	0,575	30 00	0,07
15 мин.	0,50	1,10	1,50	18,9	17,5	16,8	0,50	0,55	0,50	0,500	26 30	0,03
2 час.	0,60	1,10	1,50	18,4	17,2	17,1	0,60	0,55	0,50	0,450	24 00	0,17
16 час.	0,60	1,10	1,65	18,6	17,9	16,9	0,60	0,55	0,55	0,525	27 30	0,07
15 мин.	0,60	1,10	1,65	16,8	16,0	15,5	0,50	0,55	0,55	0,525	27°30′	0,07
2 час.	0,60	1,20	1,65	17,0	16,2	15,6	0,60	0,60	0,55	0,525	27 30	0,10
16 час.	0,60	1,30	1,80	16,7	15,5	15,3	0,60	0,65	0,60	0,600	31 00	0,03
15 мин.	0,40	1,20	1,80	20,6	17,2	17,0	0,40	0,60	0,60	0,700	35°00′	
2 час.	0,50	1,10	1,65	19,1	18,5	17,3	0,50	0,55	0,55	0,575	30 00	
16 час.	0,60	1,10	1,50	18,4	17,5	16,7	0,60	0,55	0,50	0,450	24 00	0,17
15 мин.	0,55	1,00	1,50	14,4	15,3	14,3	0,55	0,50	0,50	0,475	25°30′	0,07
2 час.	0,50	1,00	1,43	15,4	14,5	14,6	0,65	0,50	0,48	0,465	25 00	0,05
16 час.	0,60	1,10	1,50	13,9	14,0	13,7	0,60	0,55	0,50	0,450	24 00	0,17
15 мин.	0,75	1,30	1,65	14,4	14,1	14,6	0,75	0,65	0,55	0,450	24°00′	0,33
2 час.	0,80	1,30	1,65	14,4	14,5	14,5	0,80	0,65	0,55	0,425	23 00	0,40
16 час.	0,75	1,40	1,80	14,0	14,3	14,4	0,75	0,70	0,60	0,525	27 30	0,27
15 мин.	0,65	1,00	1,35	16,6	16,8	16,5	0,65	0,50	0,45	0,350	19°30′	0,30
2 час.	0,65	1,10	1,50	15,3	15,7	15,9	0,65	0,55	0,50	0,425	23 00	0,23
16 час.	0,60	1,10	1,50	15,7	15,8	15,8	0,60	0,55	0,50	0,450	24 00	0,17

Результаты испытаний глин на сдвиг[1]

Сдвигающее усилие (*кг/см²*) при нормальной нагрузке *кг/см²*			Влажность (%) при нормальной нагрузке, *кг/см²*			Коэффициент сдвига при нормальной нагрузке, *кг/см²*			Коэффициент внутреннего трения	Угол внутреннего трения	Сцепление, *кг/см²*
1	2	3	1	2	3	1	2	3			
0,90	1,30	1,65	30,7	31,2	30,5	0,90	0,65	0,55	0,375	20°30′	0,53
1,05	1,30	1,50	24,9	26,9	26,9	1,05	0,65	0,50	0,225	12 30	0,83
0,65	0,90	1,20	26,4	25,0	25,9	0,65	0 45	0,40	0,275	15 30	0,37
0,95	1,30	1,65	31,9	31,6	31,4	0,95	0,65	0,55	0,350	19 30	0,60
0,65	1,10	1,35	26,2	26,6	27,0	0,65	0,55	0,45	0,350	19 30	0,33
1,20	1,55	1,95	25,2	25,1	25,1	1,20	0,77	0,65	0,375	20 30	0,82
0,95	1,30	1,50	29,3	29,0	28,1	0,95	0,65	0,50	0,275	15 30	0,70
1,00	1,30	1,50	31,5	31,1	32,0	1,00	0,65	0,50	0,250	14 00	0,77
0,85	1,20	1,65	22,7	21,7	21,9	0,85	0,60	0,55	0,400	22 00	0,43
0,70	1,20	1,575	20,4	21,5	22,4	0.70	0,60	0,525	0,437	23 30	0,28
0,60	1,10	1,50	17,5	18,1	17,9	0,60	0,55	0,50	0,450	24 00	0,17
0,70	1,10	1,425	31,9	31,5	30,3	0,70	0,55	0,475	0,362	20 00	0,35
1,25	1,50	2,10	25,0	21,1	24,0	1,25	0,75	0,70	0,425	23 00	0,77
0,90	1,10	1,35	30,5	30,7	32,0	0,90	0,55	0,45	0,225	12 30	0,67
0,85	1,00	1,50	25.0	25,2	24,7	0,85	0,50	0,50	0,325	18 00	0,45
1,10	1,60	2,25	18,1	16,0	17,4	1,10	0,80	0,75	0,575	30 00	0,50
0,70	1,20	1,65	17,4	19,0	17,3	0,70	0,50	0,55	0,475	25 30	0,23
0,40	0,60	0,90	39,9	37,4	36,7	0,40	0,30	0,30	0,250	14 00	0,13
0,75	1,00	1,20	30,0	31,0	29,0	0,75	0,50	0,40	0,225	12 30	0,53
1,00	1,70	2,25	24,3	23,0	24,0	1,00	0,85	0,75	0,625	32 00	0,40
0,60	0,80	1,05	29,5	28,9	27,8	0,60	0,40	0,35	0,225	12°30′	0,37
0,90	1,30	1,50	29,1	30,4	29,0	0,90	0,65	0,50	0,300	16 30	0,63
1,05	1,60	1,95	22,5	23,5	23,4	1,05	0,80	0,65	0,450	24 00	0,63
0,70	1,10	1,65	19,0	17,9	18,2	0,70	0,55	0,55	0,475	25 30	0,20
0,60	1,10	1,50	18,9	20,4	18,8	0,60	0,55	0,50	0,450	24 00	0,17
0,65	1,20	1,35	22,5	22,5	22,8	0,65	0,60	0,45	0,350	19 30	0,37
0,85	1,30	1,80	23,6	24,8	23,8	0,85	0,65	0,60	0,475	25 30	0,37
0,90	1,40	1,50	19,5	19,7	20,6	0,90	0,70	0,50	0,300	16°30′	0,67
0,70	1,00	1,20	22,0	23,4	22,4	0,70	0,50	0,40	0,250	14 00	0,47
0,60	1,00	1,50	21,2	21,2	19,2	0,60	0,50	0,50	0,450	24 00	0,13
0,90	1,20	1,35	20,5	20,4	20,5	0,90	0,60	0,45	0,225	12 30	0,70
0,90	1,50	2,10	12,0	12,9	11,2	0,90	0,75	0,70	0,600	31 00	0,30
0,70	1,10	1,50	16,1	15,9	15,8	0,70	0,55	0,50	0,400	22 00	0,30
1,15	1,40	1,50	21,7	20,4	21,4	1,15	0,70	0,50	0,175	10 00	1,00
0,85	1,00	1,30	30,0	29,1	30,7	0,85	0,50	0,65	0,225	12 30	0,60
0,85	1,60	1,95	26,4	24,3	24,1	0,85	0,80	0,65	0,550	29 00	0,37
0,80	1,10	1,35	27,4	27,3	28,0	0,80	0,55	0,45	0,275	15 30	0,53
1,10	1,30	1,50	23,5	22,6	23,9	1,10	0,65	0,50	0,200	11 30	0,90
0,85	1,50	1,80	29,2	28,7	28,7	0,85	0,65	0.60	0,475	25 30	0,43
1,00	1,20	1,50	19,6	18,6	19,1	1,00	0,60	0,50	0,250	14 00	0,73
0,70	0,90	1,05	34,0	32,6	32,9	0,70	0,45	0,35	0,175	10 00	0,53
0,90	1,50	1,65	23,9	23,0	23,2	0,90	0,75	0,55	0,375	20 30	0,60
0,70	1,00	1,35	28,5	29,0	29,0	0,70	0,50	0,45	0,325	18 00	0,37
0,90	1,20	1,35	29,0	29,0	30,0	0,90	0,60	0,45	0,225	12 30	0,70
0,85	1,00	1,20	30,2	30,2	30,0	0,85	0,50	0,40	0,175	10 00	0,67
0,85	1,10	1,35	24,3	24,4	24,4	0,85	0,55	0,45	0,250	14 00	0,60
0,85	1,40	1,80	26,2	26,2	25,9	0,85	0,70	0,60	0,475	25 30	0,40
0,80	1,00	1,20	29,8	30,6	26,9	0,80	0,50	0,40	0,200	11 30	0,60
0,90	1,20	1,50	30,7	30,8	31,8	0,90	0,60	0,50	0,300	16 30	0,60

[1] Сдвиг проводился после 16-часового уплотнения грунта.

Продолжение табл. 17

Сдвигающее усилие ($кг/см^2$) при нормальной нагрузке, $кг/см^2$			Влажность (%) при нормальной нагрузке, $кг/см^2$			Коэффициент сдвига при нормальной нагрузке, $кг/см^2$			Коэффициент внутреннего трения	Угол внутреннего трения	Сцепление, $кг/см^2$
1	2	3	1	2	3	1	2	3			
0,70	1,20	1,50	26,0	25,0	26,0	0,70	0,60	0,50	0,400	22°00′	0,33
0,85	1,10	1,35	28,5	31,0	29,4	0,85	0,55	0,45	0,250	14 00	0,60
0,75	1,20	1,35	32,0	33,0	33,1	0,75	0,60	0,45	0,300	16 30	0,50
0,70	1,00	1,20	32,3	31,9	31,1	0,70	0,50	0,40	0,250	14 00	0,47
1,00	1,20	1,35	31,1	32,4	30,6	1,00	0,60	0,45	0,175	10 00	0,83
0,70	1,00	1,20	32,3	31,9	31,1	0,70	0,50	0,40	0,250	14 00	0,47
1,00	1,30	1,80	22,6	23,1	23,7	1,00	0,65	0,60	0,400	11 00	0,57
0,65	1,10	1,50	30,0	28,9	27,0	0,65	0,55	0,50	0,425	23 00	0,23
0,65	1,30	1,50	27,6	28,5	28,7	0,65	0,65	0,50	0,425	23 00	0,30
0,90	1,20	1,80	28,1	27,9	29,7	0,90	0,60	0,60	0,450	24 00	0,40
0,95	1,30	1,65	26,6	27,5	28,1	0,95	0,65	0,55	0,350	19 30	0,60
0,90	1,30	1,80	27,4	27,8	28,4	0,90	0,65	0,60	0,450	24 00	0,43

значительно отличались от данных срезов по глинистой части породы. Медианное значение коэффициента сцепления глин достигает 0,2 $кг/см^2$, предельные — 0,9 и 0,08 $кг/см^2$. Коэффициент внутреннего трения изменяется от 0,600 до 0,175, медианное значение его 0,325. Величина угла внутреннего трения лежит в пределах 10—31°, при медианном значении — 18°.

7. Результаты специальных лабораторных исследований суглинков и глин

Специальными лабораторными исследованиями было изучено изменение: 1) механических свойств глин после пребывания их в воде; 2) пористости глин нарушенного сложения от нагрузки.

В фильтрационный прибор конструкции Тима-Каменского, наполненный до сливного отверстия водой, набрасывались мелкие кусочки грунта диаметром 1—3 *см*. Грунт в воде выдерживался в течение 30 дней, затем вода сливалась, а образовавшийся «монолит» грунта испытывался на компрессию и сдвиг.

Для опытов были использованы две разности глин. Первая была представлена сильнотрещиноватыми глинами. Эта проба была составлена из образцов, отобранных из зоны выветривания, т. е. из тех мест, где покровная толща суглинков отсутствует и глины непосредственно выходят на дневную поверхность. Вторая разность была представлена типичными для этого месторождения строительных материалов глинами. Каждая из проб была составлена из образцов, отобранных от 8—12 различных проб, т. е. являлась пробой комплексной, отражающей в той или иной степени свойства породы в целом.

Пребывание глин в воде в продолжение 30 дней показало, что образцы, отобранные из зоны выветривания, представленные сильно-

трещиноватыми разностями, сохранились в виде отдельных кусочков (рис. 14). Образцы же нетрещиноватые с высокой естественной влажностью за тот же промежуток времени из отдельных мелких кусочков превратились в монолитную породу (рис. 15).

Определение физических свойств исследуемых образцов показало значительное увеличение влажности, снижение объемного веса и объемного веса скелета, а также некоторое уменьшение удельного веса. Влажность особенно значительно возросла у глин нетрещиноватых (59—65%).



Рис. 14. Глина сильнотрещиноватая (выветрелая) после 30-дневного пребывания в воде



Рис. 15. «Монолит» глины, образовавшийся из отдельных кусочков после 30-дневного пребывания в воде

После однодневной подсушки на воздухе (после сливания воды) образцы проб подвергались испытаниям на компрессию и сдвиг (рис. 16, табл. 18).

Очень высокий до приложения нагрузки коэффициент пористости после приложения нагрузки, равной 3 *кг/см²*, стал близок медианному значению коэффициента пористости толщи глин.

Как и следовало ожидать, коэффициент сжимаемости этих пород очень высокий. Наиболее сжимаемы образцы, характеризующие нетрещиноватые разности глин. Наибольшая сжимаемость для всех трех образцов отмечена в интервале нагрузок 0—0,5 и 0,5—1,0 *кг/см²*, где величина коэффициента сжимаемости достигает 0,66—0,82 *см²/кг*. Относительное сжатие пород достигает 24—27%.

Как показывают результаты определения сопротивления пород сдвигу (рис. 17, табл. 19), угол внутреннего трения несколько

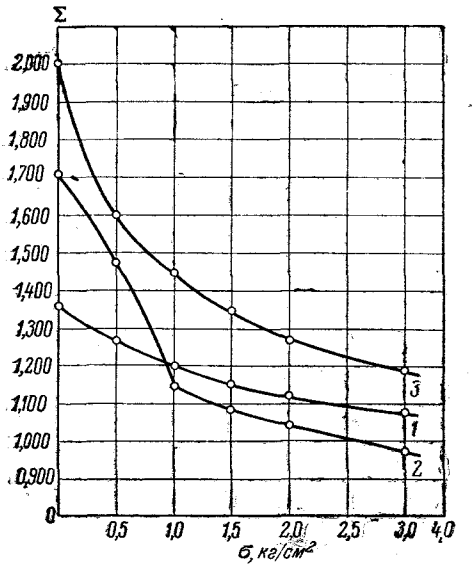


Рис. 16. Компрессионные кривые глины после специальной подготовки:

1, 2, 3 — наиболее характерных образцов

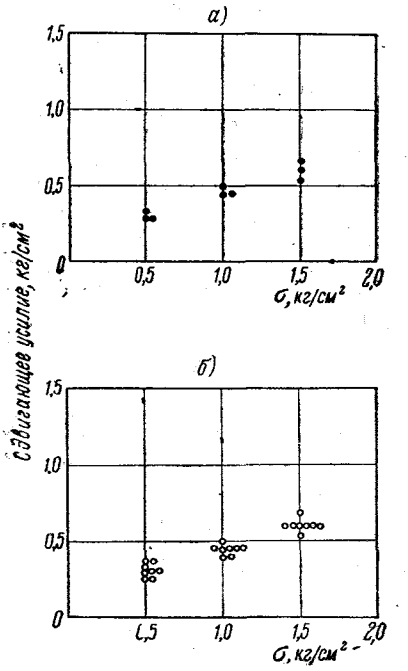


Рис. 17. Сводный график зависимости сопротивления глин сдвигу после специальной подготовки:

а — образцы естественной влажности в виде отдельных кусочков уплотнялись при нагрузке 0,25 *кг/см²*, затем поступали на испытания; *б* — образцы естественной влажности в виде отдельных кусочков набрасывались в сосуд с водой, где выдерживались в продолжении 30 дней, затем вода сливалась, а слегка подсушенный грунт испытывался

Таблица 18

Коэффициент пористости при нагрузках, кг/см²					Коэффициент сжимаемости (см²/кг) в интервалах нагрузок, кг/см²				Относительное сжатие (%) в интервалах нагрузок, кг/см²				
0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	0—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—3,0	0—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—3,0
1,363	1,272	1,205	1,156	1,128	1,080	0,182	0,135	0,098	0,056	0,048	3,98	6,68	8,78	9,98	12,00
1,717	1,479	1,147	1,092	1,045	0,974	0,474	0,664	0,105	0,094	0,071	14,08	19,51	23,02	24,74	27,37
2,009	1,598	1,449	1,348	1,277	1,193	0,822	0,298	0,202	0,142	0,084	13,33	18,63	21,97	24,33	27,12

Таблица 19

Вертикальная нагрузка, *кг/см²*	Срезывающее усилие, *кг/см²*	Коэффициент сдвига	Коэффициент внутреннего трения	Угол внутреннего трения	Сцепление, *кг/см²*	Влажность после сдвига, %
0,5	0,300	0,600	0,375	20°30′	0,11	39,0
1,0	0,500	0,500				38,0
1,5	0,675	0,450				35,0
0,5	0,325	0,650	0,275	15°30′	0,18	38,0
1,0	0,450	0,450				37,0
1,5	0,600	0,400				37,0
0,5	0,300	0,600	0,180	10°20′	0,25	40,9
1,0	0,450	0,450				39,1
1,5	0,525	0,350				38,0

уменьшается по сравнению с данными испытаний образцов глин по обычной методике. Величина сцепления по сравнению с теми же данными остается без изменения. Коэффициент сдвига несколько понижается.

Вторая группа опытов состояла из пяти исследований комплексных проб, из которых каждая состояла из смеси пяти-шести различных проб глин. Приборами для уплотнения служили стеклянные банки (диаметром 16—18 *см*, высотой 20—30 *см*). Давление на испытуемый грунт передавалось через 3-сантиметровый слой влажного песка посредством деревянного штампа и гирь. На дне банки, в основании уплотняемого

Таблица 20

Результаты определения физических свойств глин нарушенного сложения после специальной подготовки

Удельная нагрузка, *кг/см²*	Влажность после уплотнения, %	Объемный вес, *г/см³*	Объемный вес скелета, *г/см³*	Удельный вес, *г/см³*	Пористость, %	Коэффициент пористости	Полная влагоемкость, %	Степень насыщения
0,25	38,78	1,73	1,25	2,71	52,88	1,122	43,10	0,899
0,25	43,12	1,67	1,17	2,71	56,83	1,316	48,57	0,887
0,25	43,08	1,67	1,17	2,72	56,99	1,325	48,71	0,884
0,25	43,92	1,74	1,21	2,72	55,52	1,248	45,88	0,957
0,25	44,56	1,63	1,13	2,77	59,21	1,451	52,39	0,850
0,50	54,02	1,63	1,06	2,71	60,89	1,556	57,43	0,941
0,50	54,39	1,63	1,06	2,71	60,89	1,556	57,43	0,947
0,50	37,53	1,66	1,21	2,74	55,84	1,264	46,14	0,813
0,60	33,13	1,81	1,36	2,75	50,55	1,022	37,16	0,891
0,75	33,20	1,86	1,40	2,73	48,72	0,950	34,79	0,954
0,75	47,30	1,66	1,13	2,73	58,61	1,416	51,86	0,912
0,75	40,90	1,74	1,23	2,73	54,95	1,219	44,77	0,913
0,75	39,50	1,78	1,27	2,80	54,64	1,204	43,03	0,917
0,75	40,70	1,73	1,23	2,74	55,12	1,228	44,80	0,908
0,75	33,20	1,86	1,40	2,73	48,72	0,950	34,79	0,954
0,75	37,80	1,75	1,27	2,74	53,65	1,157	42,24	0,894
0,75	34,50	1,77	1,32	2,73	51,65	1,068	39,12	0,881
1,00	33,52	1,72	1,29	2,75	53,10	1,132	41,15	0,814
1,00	39,06	1,82	1,31	2,75	52,37	1,099	39,97	0,977
1,00	42,64	1,74	1,22	2,71	54,99	1,221	45,06	0,946
1,00	43,30	1,75	1,22	2,71	54,99	1,221	45,06	0,961
1,00	40,50	1,75	1,24	2,70	54,08	1,177	43,60	0,929
1,00	44,12	1,77	1,23	2,70	54,45	1,195	44,26	0,997
1,00	33,63	1,86	1,39	2,74	49,28	0,972	35,44	0,948

грунта, лежал слой влажного песка мощностью 4— 5 *см*. Высота столбика грунта в банке после уплотнения не превышало 5—6 *см*. Продолжительность уплотнения 30 дней.

Кроме того, было проведено 19 исследований единичных проб. При нагрузках 0,5; 0,6 и 0,75 *кг/см*^{2} прибором для уплотнения служил компрессионный прибор конструкции Е. Е. Керкиса (диаметр прибора 5 *см*, высота столбика грунта после уплотнения 4—5 *см*), а при нагрузке 1 *кг/см*^{2} — прибор конструкции Гидропроекта (диаметр коробки 5 *см*, высота столбика грунта после уплотнения 3,5—4,5 *см*). Продолжительность уплотнения в обоих приборах 30 дней.

Для испытаний были использованы образцы естественной влажности. Для уплотнения грунт ненарушенного сложения размельчался на отдельные мелкие кусочки (диаметром от 1 до 1,5 *см*) и слегка увлажнялся. Нагрузка на исследуемый грунт прикладывалась ступенями в продолжение 30 мин.

Физическое состояние исследуемых проб после уплотнения их нагрузками характеризуется данными табл. 20.

Из монолитов, образовавшихся в результате проведения второй группы опытов, были отобраны образцы для определения сопротивления глин сдвигу. Сопоставление результатов этих испытаний (рис. 17, табл. 21) с данными исследований образцов естественного и нарушенного сложения показывает некоторое уменьшение угла внутреннего трения и коэффициента сдвига. Сцепление осталось неизменным.

Таблица 2

Вертикальная нагрузка, *кг/см*^{2}	Срезывающее усилие, *кг/см*^{2}	Коэффициент сдвига	Коэффициент внутреннего трения	Угол внутреннего трения	Сцепление, *кг/см*^{2}	Влажность после сдвига, %
0,5	0,300	0,600				36,0
1,0	0,450	0,450	0,300	16°40′	0,15	32,0
1,5	0,600	0,400				31,0
0,5	0,250	0,500				47,0
1,0	0,400	0,400	0,350	19°20′	0,07	46,0
1,5	0,600	0,400				46,0
0,5	0,350	0,700				40,0
1,0	0,450	0,450	0,250	14°00′	0,21	39,0
1,5	0,600	0,400				39,0
0,5	0,350	0,700				39,0
1,0	0,450	0,450	0,250	14°00′	0,21	38,0
1,5	0,600	0,400				36,0
0,5	0,250	0,500				45,0
1,0	0,400	0,400	0,350	19°20′	0,07	41,0
1,5	0,600	0,400				38,0

8. Уплотняемость суглинков и глин

Для оценки породы с точки зрения использования в качестве строительного материала для возведения земляной плотины необходимо установить ее способность уплотняться под действием динамической нагрузки. Поэтому глины и суглинки были подвергнуты исследованиям методом стандартного уплотнения (по Н. В. Коломенскому [2]).

В процессе исследований порода раздроблялась (крошилась в мелкую щебенку — «крошку»), увлажнялась или подсушивалась и затем уплотнялась в специальном приборе. Уплотнение производилось при четырех начальных степенях влажности при работе уплотнения 2, 5, 10, 20, 30, 20, и 40 *кгм*. Основной практической задачей лабораторного изучения способности пород уплотняться под действием динамической нагрузки, как известно, является определение оптимальной влажности и выяснение зависимости между степенью уплотнения и их влажностью при определенной работе. За меру уплотненности пород принимались значения объемного веса γ и объемного веса скелета δ. Было исследовано 25 проб суглинков и 64 глин. Так как уплотняемость определялась при четырех начальных степенях влажности, то общее число опытов составило 356. По каждому циклу опытов для каждой пробы суглинков и глин строились рабочие графики, по которым определялись оптимальная влажность и зависимость степени уплотнения от влажности (с определением пределов эффективной работы). Данные, обработанные методами математической статистики, приведены в табл. 22.

Таблица 22

Показатель	Глины			Суглинки		
	Оптимальная влажность, %	Объемный вес, $г/см^3$	Объемный вес скелета, $г/см^3$	Оптимальная влажность, %	Объемный вес, $г/см^3$	Объемный вес скелета, $г/см^3$
Число определений	25	25	25	64	64	64
Среднеарифметическое . .	12,40	2,10	1,86	26,4	1,98	1,56
Квадратичное отклонение .	8,53	0,139	0,126	5,26	0,096	0,115
Мода	13,0	1,15	1,95	29,0	1,97	1,51
Медиана	13,0	2.15	1,89	29,0	1,97	1,53
Максимальное	19.2	2,26	2,0	35,0	2,31	1,93
Минимальное	9,5	1,74	1,59	13,6	1,85	1,4

Откуда следует, что по степени уплотняемости суглинки менее однородны, чем глины. Однако при затрате соответствующей работы уплотнения они могут быть доведены до состояния достаточно высокой плотности. В качестве исходных показателей для расчетов суглинков и глин могут быть рекомендованы медианные значения; они близки к наиболее часто встречающимся значениям. При сравнении этих значений с естественными (соответствующими условиям залегания на месторождении) видно, что суглинки при укладке в тело плотины должны несколько увлажняться. Оптимальная влажность их выше естественной. Глины же достигают наибольшей плотности при влажности несколько меньшей, чем их средняя плотность. Критическая работа, характеризующая расчетные показатели оптимальной влажности и плотности, для суглинков 30 *кгм*, для глин 50 *кгм*.

Заключение

1. Месторождения строительных материалов на р. Эмбе в районе урочища Арал-Тюбе представлены суглинками и глинами.

2. Суглинки в основном светло-бурые и светло-коричневые, нередко покрыты пятнами окислов железа, которые придают породе своеобразную пятнистость. Часто они имеют рельефные пятна, прожилки и выцветы карбонатов. Сложение суглинков обычно массивное, иногда слоистое. При растирании в руках легко распадаются на отдельные грубые

агрегаты. Некоторые разности сильно мучнистые. Все разности суглинков хорошо вскипают с соляной кислотой, некоторые — весьма бурно. Влажность суглинков мала, в основном они сухие и трещиноватые.

Глины представляют собой породу светло-бурого и светло-коричневого цвета. Присутствие окислов железа придает им пятнистость. Макроскопически в них наблюдается кристаллический гипс (друзы и отдельные кристаллы), а также выцветы солей (по трещинам). Сложение глин массивное, с неясно выраженной микрослоистостью. Часто они переслаиваются тонкими прослоями песка. По физическому состоянию глины — монолитная, плотная порода, тугопластичной консистенции. В сухом состоянии твердые, мучнистые на ощупь.

3. Гранулометрический состав суглинков неоднороден. Заметнее преобладают тяжелые разности. Гранулометрический состав глин более постоянен. Они почти полностью относятся к тяжелым пылеватым разностям.

По гранулометрическому составу как суглинки, так и особенно глины не могут считаться породами, полностью пригодными для возведения насыпных плотин. Они, особенно глины, больше пригодны для экранов, чем для возведения тела плотины.

4. Минеральный состав тонкодисперсной части суглинков и глин относится к типу гидрослюдисто-монтмориллонитовых. По содержанию воднорастворимых солей они принадлежат к породам засоленным. Среднее содержание воднорастворимых солей в суглинках достигает 1,1%, в глинах —2% и не превышает допустимых норм для материалов, используемых для отсыпки земляных плотин.

5. Суглинки в условиях естественного залегания имеют незначительную влажность и сравнительно малую уплотненность. Естественная влажность их, как правило, значительно ниже влажности при пределе пластичности. Пластичность суглинков соответствует их гранулометрическому и минеральному составам.

Естественная влажность глин нормальная, а уплотненность умеренная. Естественная влажность глин обычно выше влажности при пределе пластичности. Пластичность глин повышенная, соответствует их гранулометрическому и минеральному составам.

6. Суглинки быстро и легко размокают в воде, в основной массе мало набухают и дают небольшую усадку. Водопроницаемость их во времени практически не изменяется.

Глины в воде размокают медленно, набухают умеренно, хотя встречаются разности сильно набухающие, усадка глин большая. Водопроницаемость глин во времени несколько уменьшается.

7. Суглинки по своим механическим свойствам относятся к категории сильно сжимаемых, хотя при достаточном уплотнении приобретают прочность, нормальную для подобного типа пород. Принимая во внимание сравнительно большую неоднородность состава и свойств суглинков, которые хорошо подтверждаются данными петрографических исследований, а также легкую их размокаемость, в качестве расчетных показателей на сдвиг для этих пород следует рекомендовать сцепление 0,01 *кг/см*^{2}, коэффициент трения 0,30.

Глины — породы среднесжимаемые, обладают прочностью, нормальной для подобного генетического типа пород. При расчетах значение сцепления для них может быть принято равным 0,1 *кг/см*^{2}, а коэффициент трения 0,25.

8. По степени уплотняемости под действием динамической нагрузки суглинки менее однородны, чем глины. Однако при затрате соответствующей работы они могут быть доведены до состояния достаточ-

ной плотности. В качестве исходных показателей оптимальной влажности и плотности для суглинков и глин могут быть рекомендованы медианные значения. Они близки к наиболее часто встречающимся значениям при затрате наименьшей работы уплотнения. При сравнении этих значений с естественными, соответствующими карьерным условиям, видно, что суглинки при укладке в тело плотины должны несколько увлажняться. Оптимальная влажность их ниже естественной. Наоборот, глины достигают наибольшей плотности при влажности, несколько меньшей средней естественной. Критическая работа, при затрате которой должны быть достигнуты расчетные значения оптимальной влажности и плотности, для суглинков примерно 30 *кгм*, для глин 50 *кгм*.

9. Анализ данных инженерно-геологических свойств древнеаллювиальных глинистых пород показывают, что суглинки целесообразно использовать для возведения тела плотины, а глины — экрана.

Использованная литература

1. Васильев А. М. Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов. Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1953.

2. Коломенский Н. В. Исследование рыхлых горных пород как материала для насыпей. Тр. ин-та геологии АН СССР. Серия инженерной геологии, 1940, вып. 24.

3. Лебедев А. Ф. Уплотнение грунтов при различной их влажности. Стройвоенмориздат, 1949.

4. Лобасов П. Д. Опыт использования плотных структурных глин для возведения профильных земляных сооружений. Сб. тр. (вопросы механики грунтов) Всесоюзн. научно-исслед. ин-та гидротехнич. и санитарно-технич. работ, 1953, № 4.

5. Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеолиздат, 1952.

6. Маслов Н. Н. Прикладная механика грунтов. Машстройиздат, 1949.

7. Новожилов В. Н. и Шульц И. Н. Влияние способа подготовки породы к анализу на определение гранулометрического состава, удельного веса и пределов пластичности. Зап. ЛГИ, 1955, т. XXXII, вып. 2.