

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ВЕРХНЕЙ ПЕСТРОЦВЕТНОЙ СВИТЫ ГЛАВНОГО ДЕВОНСКОГО ПОЛЯ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В. Д. Ломтадзе

Распространение, стратиграфия и условия залегания

Среди широко распространенных на Русской платформе девонских отложений существенно глинистые породы встречаются только в ее северо-западной части — в пределах Ленинградской, Новгородской, Псковской, Великолукской областей, Эстонской и Латвийской ССР. Эта область распространения девонских отложений известна под названием Главного девонского поля, которое тянется широкой полосой от берегов Онежского и Ладожского озер на юго-запад до Западной Двины. Исследованиями [1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 14, 15] установлено, что девонские породы этой территории в основном прикрыты ледниковыми, поздне- и послеледниковыми отложениями и на дневную поверхность выступают лишь по долинам рек, но во многих местах вскрыты разведочными выработками. К востоку и юго-востоку они погружаются под каменноугольные отложения.

В пределах рассматриваемого района девон представлен только средним и верхним отделами, отличается значительной сложностью стратиграфического разреза и большой изменчивостью литологического состава пород. Отложения среднего девона развиты в западной части района. К востоку от р. Волхова они не обнаружены (рис. 1). Средне-девонские отложения подразделяются на две самостоятельные свиты: нижнюю — наровские слои, представленные мергелями и доломитами с пропластками глин и песчаников, и верхнюю — красноцветную песчано-глинистую толщу — лужские и оредежские слои.

Инженерно-геологического изучения пород среднего девона почти не производилось. Полевыми и лабораторными исследованиями этих пород занимались только в связи с проектированием и строительством Кегумской гидроэлектростанции на Западной Двине (Даугаве) и ряда районных станций на малых реках. Материалы этих исследований очень ограничены.

Отложения верхнего девона, так же как и среднего, подразделяются на две свиты: нижнюю — известковистую и верхнюю — пестроцветную.

Известковистая свита расчленяется Р. Ф. Геккером [6, 7] на под-
снетогорские, снетогорские, псковские, чудовские, шелонские, свинорд-

ские, ильменские и бургские слои и имеет общую мощность около 100 м. Все эти слои слагаются преимущественно морскими образованиями, которые представлены главным образом известняками и доломитами. Породы этой свиты по направлению на северо-восток целиком выклиниваются, замещаясь песчано-глинистыми красноцветными породами.

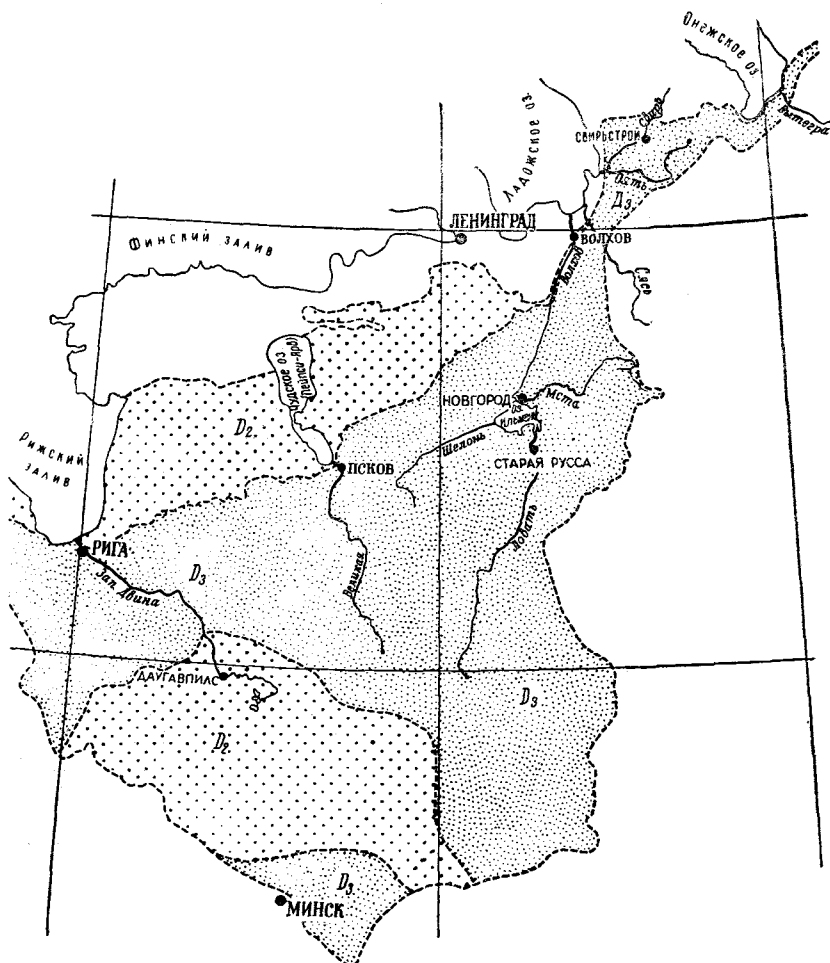


Рис. 1. Схематическая геологическая карта района Главного девонского поля Русской платформы

Во вторую половину верхнего девона (фаменский век) палеогеографические условия района Главного девонского поля изменяются и известняки сменяются отложениями красноцветных песков и глин того же типа, что и среднедевонские. Море покидает эту площадь и она вновь превращается в низменный континент.

Отложения верхней пестроцветной толщи представляют собой в основной массе типичные континентальные осадки, отлагавшиеся на верхнедевонской суше — в ее озерах, реках и эоловым путем [3]. В момент небольших морских трансгрессий отдельные участки этой суши частично покрывались морем, о чем свидетельствует наличие прослоев известняков в толще красноцветных континентальных песков и глин.

Отложения верхней пестроцветной толщи — в основном типичные континентальные образования — характеризуются невыдержанностью состава в вертикальном и горизонтальном направлениях, непостоянством мощности отдельных серий и всей толщи в целом и яркостью окраски.

В северо-восточной части Главного девонского поля, на рр. Сясь и Свирь, отложения верхней пестроцветной толщи сложены песками и песчаниками и чередующимися с ними линзами и пропластками глин и мергелей. Пески оранжево-зеленые и голубые, обычно косослоистые,

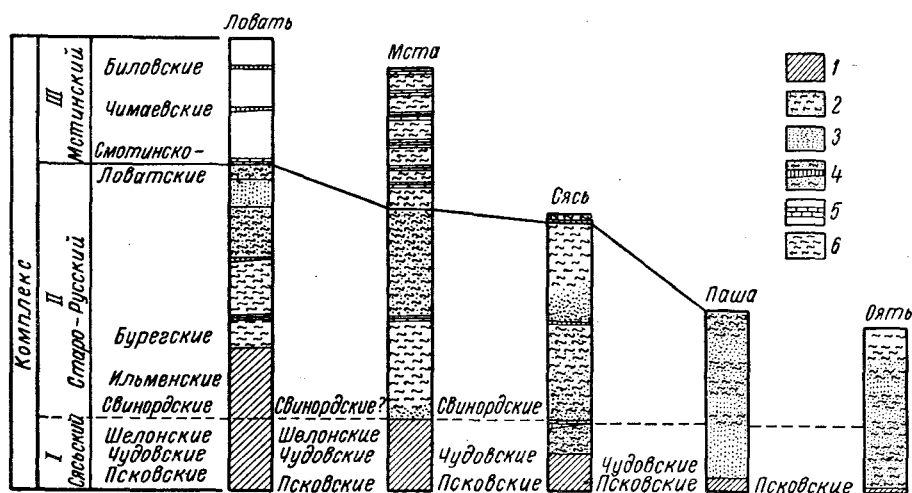


Рис. 2. Сопоставление разрезов пестроцветной толщи по данным М. Ф. Хашовой:
1 — карбоонатная толща верхнего девона, представленная известняками, мергелями, доломитами, глинами и т. п.; 2 — глины с песками; 3 — пески; 4 — прослои известняков; 5 — мергели; 6 — глины и алевроиты

часто сильно слюдястые, содержащие обломки костей рыб. Песчаники обычно имеют ту же окраску, известковистые, сильно слюдястые, косослоистые. Глины также пестроцветные, обычно сильно слюдястые, песчаные, иногда известковистые, редко доломитизированные. Мергели обычно пестро окрашены, образуют слои мощностью до 3,5 м. Наиболее распространены глинистые разности мергелей, которые иногда имеют неоднородное конкреционное сложение, и мергели песчаные.

В многочисленных разрезах по р. Мсте пестроцветная толща может быть разделена на два комплекса слоев: нижний — глинисто-песчаный и верхний — мергельный. Мергели, преобладающие в верхней части пестроцветной толщи, представляют собой отложения пресноводные или лагунные. Нижний глинисто-песчаный комплекс совершенно подобен отложениям верхней пестроцветной толщи на р. Сясь, где полная мощность этой толщи не менее 150 м, а по данным буровой скважины близ ст. Окуловка ее мощность не менее 250—280 м.

В отличие от описанного выше, по р. Ловать и ее притокам в верхней части разреза, к югу от г. Холма, в пестроцветную песчано-глинистую толщу вклиниваются с юга серии карбонатных пород с морской и лагунной фауной. Эти серии получили название (снизу): Смотинско-Ловатской, Чимаевской и Биловской.

Схема сопоставления разрезов пестроцветной толщи, по данным М. Ф. Хашовой [11], показана на рис. 2.

Девонские отложения Главного поля имеют слабый наклон на юго-восток, поэтому отдельные горизонты их располагаются широкими по-

лосами северо-восточного простирания, причем более древние породы замещаются более молодыми по мере движения с северо-запада на юго-восток.

С инженерно-геологической точки зрения из всех девонских отложений Главного девонского поля наиболее подробно изучены породы верхней пестроцветной свиты. Отложения этой свиты широко распространены и именно на них осуществлено строительство гидроэлектростанций на р. Свирь и ряда других районных гидростанций на малых реках. На этих же отложениях проектируются гидротехнические сооружения на р. Мсте. Детальное инженерно-геологическое изучение девонских отложений района Свирских ГЭС осуществлено коллективом геологов института Гидроэнергопроект, а в бассейне р. Мсты — коллективом геологов Гидропроекта. Свойства пород пестроцветной свиты верхнего девона исследовались и в инженерно-геологической лаборатории Ленинградского горного института по заданиям геологов Гидропроекта и в небольшом объеме — для института Гидроэнергопроект.

Пестроцветная свита верхнего девона широко распространена в пределах Главного девонского поля и залегает на меньшей глубине от поверхности, чем все другие свиты этой системы. Поэтому породы этой свиты представляют наибольший практический интерес. Глинистые породы в ее составе занимают значительную часть разреза и главным образом они определяют инженерно-геологические свойства свиты в целом.

Внешние признаки, текстура и структура

Образование осадков пестроцветной свиты верхнего девона происходило на плоском низменном континенте в озерах, реках и эоловым путем. Частично эти осадки отлагались в условиях мелководной полосы моря, в разной степени опресненного, при участии континентальных агентов. Разрез пестроцветных отложений чрезвычайно сложен — характерно частое переслаивание пестрых глин, мергелей и песков, образующих слои мощностью от нескольких метров до миллиметров.

Глинистые породы (глины и мергели) в комплексе этих отложений занимают значительную часть разреза и главным образом определяют инженерно-геологические свойства свиты в целом. По окраске они подразделяются на темные — кирпично-красные, буровато-красные и коричневые, часто с фиолетовым оттенком, и светлые — серые, зеленовато-серые и голубовато-серые с тонкими и неясно ориентированными зонами, прослоями или пятнами бурого, коричневого или фиолетового цвета. Темные разности глинистых пород окрашены то в более темные, густые, то в более светлые тона, причем окраска часто однородная, равномерно распределенная. При неравномерно распределенной окраске порода имеет яркий пестрый вид. Песчанистость и известковистость этих пород изменяются от значительной до весьма слабой. При незначительных примесях карбонатов некоторые разности с HCl вскипают слабо, другие — с повышенным содержанием карбонатов вскипают бурно и по своему составу близки к глинистым или чистым мергелям.

Текстура темных разностей пород неоднородна. В естественных обнажениях у них четко выражена часто неправильная слоистость. В некоторых образцах эти разности бывают массивные с оскольчатим изломом, с признаками сланцеватости, при срезе ножом поверхность получается гладкой, блестящей. В таких образцах часто видна характерная «жилковатая» текстура, при которой порода коричнево-красной или кирпично-красной окраски пересекается тонкими, самым различным образом ориентированными или ветвящимися жилками карбонат-

ного вещества белого цвета с легким желтоватым или розоватым оттенком. Карбонатное вещество нередко в породе распределено в виде стяжений неправильных очертаний или в виде разводов, неравномерно пронизывающих породу. Такая порода внешне неоднородна, а окраска ее пестрая, пятнистая. Среди темных разностей пород встречаются разности с комковатой текстурой, неоднородные, пестрые, пятнистые по окраске, с землистым изломом.

Структура темных разностей глинистых пород в большинстве случаев алевропелитовая (рис. 3). Основную ткань породы составляет бурая, окрашенная окислами железа, микрозернистая и микрочешуйчатая пелитовая масса, в которой, как в базальном цементе, более или менее равномерно рассеяны многочисленные обломки алевроитовых зерен. В большинстве случаев в породе заметны примеси карбонатного вещества, распределенного неравномерно — гнездами (рис. 4, а) или равномерно, и тогда это обуславливает пелитоморфную структуру (рис. 4, б). Любопытно, что карбонаты иногда в породе образуют мелкие (до 0,5 мм) округлые образования (сфероиды) мелкокристаллического строения (рис. 4, в). Реже породы приобретают типично пелитовую структуру, переходящую в микролиподобластовую (рис. 4, г) или алевроитовую (рис. 5, а и б). Когда в основную пелитовую массу включены ожелезненные темно-бурые угловатые обломки с резкими очертаниями, структура имеет псевдобрекчиевидный вид (рис. 5, в). В нескольких случаях отмечено, что в результате обогащения глинистой пелитовой массы углистыми частицами, полосами и пятнами (рис. 5, г) структура оказалась фитагмопелитовой.

Таким образом, темные разности глинистых пород по внешнему виду, текстуре и структуре весьма неоднородны, хотя физическое состояние их в большинстве случаев остается постоянным. Это уплотненные, слабовлажные породы, с трудом разламывающиеся и растирающиеся в руках, имеющие раковистый или неровный излом.

Светлые разности глинистых пород распространены несравненно меньше, чем темные. Они обычно встречаются отдельными прослоями небольшой мощности среди темных. Окраска их более однородна и равномерна — серая, зеленовато-серая или синеватая. Местами наблюдаются пятна или разводы красного, фиолетового или розоватого тона. Иногда окраска таких пород становится светлой белесоватой или пятнистой.

Светлые разности глинистых пород отличаются большей песчаностью, чем темные, неравномерно карбонатные и имеют слоистую или массивную текстуру. Структура их достаточно неоднородна, в основном алевропелитовая (рис. 6), переходящая в алевроитовую (рис. 7), реже в пелитовую (рис. 8, а). На глубине более 50 м алевропелитовая структура начинает сменяться микролиподобластовой (рис. 8, б и в), а микротекстура приобретает признаки сланцеватости.

По физическому состоянию светлые разности мало отличаются от темных. Они плотные, слабовлажные, трудно ломаются и растираются в руках.

Вещественный состав

В исследуемой толще пестроцветных пород по комплексу литологических признаков (внешнему виду, структуре, текстуре, гранулометрическому, минеральному и химическому составам) среди глинистых разностей выделяются глины, глины известковистые, мергели глинистые и мергели; причем в подавляющей массе они представлены глинами и глинами известковистыми. Так, например, из 147 исследованных образцов из скважины, пройденной в долине р. Мсты, 72 оказались глинами,

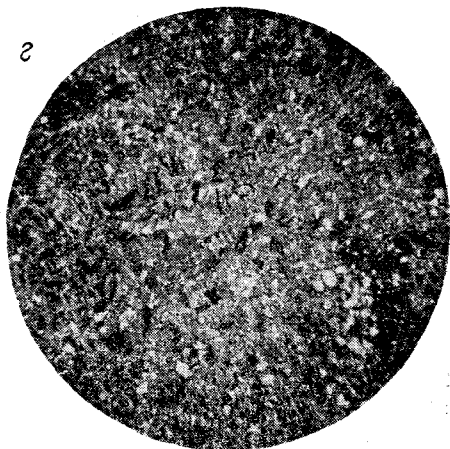
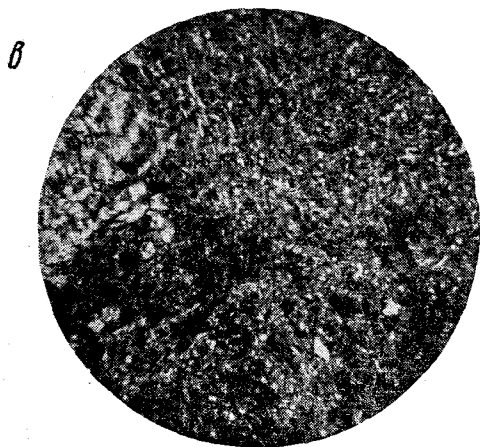
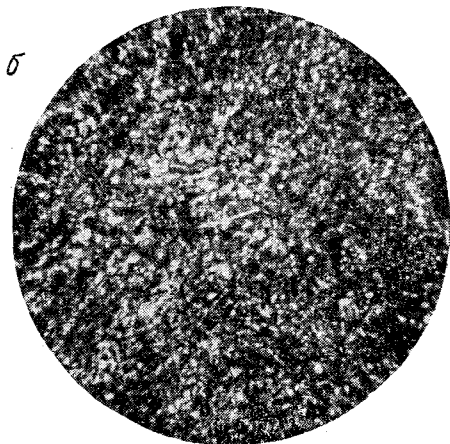
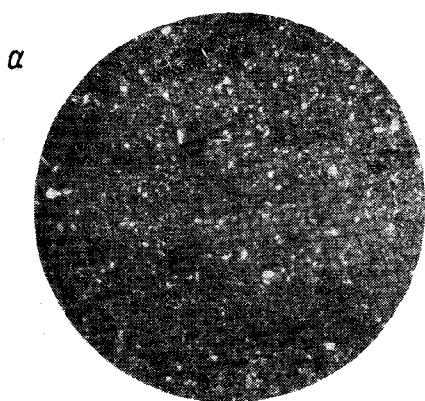


Рис. 3. Глина пестроцветной свиты верхнего девона:

a — бурая, структура алевропелитовая, площадка Свирской ГЭС; *б* — коричнево-темно-красная, структура алевропелитовая, долина р. Мсты; *в* — коричнево-темно-красная, структура алевропелитовая, долина р. Мсты; *г* — пестроцветная, буровато-коричневая, структура алевропелитовая, долина р. Мсты. Увеличение 20. Николи X.

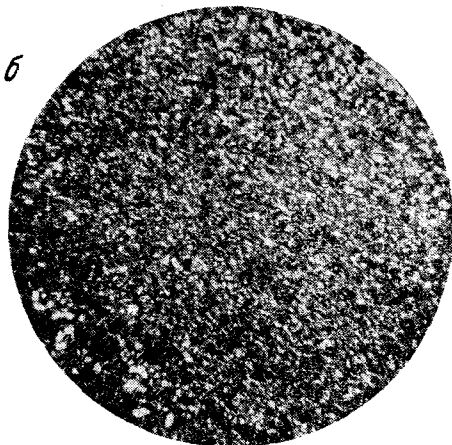
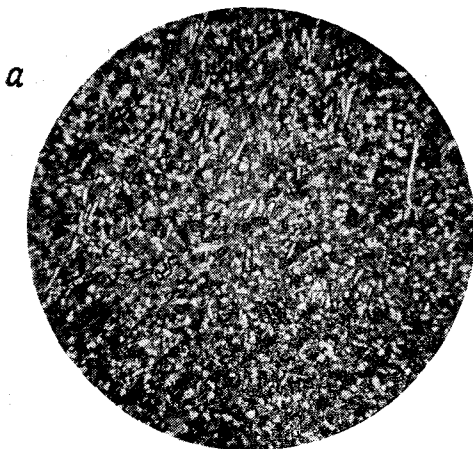


Рис. 5. Глина пестроцветной свиты

a — сланцеватая, песчанистая, структура алевроитовая; *б* — пестроцветная, красно-бурая, структура алевроитовая, буроватая, структура

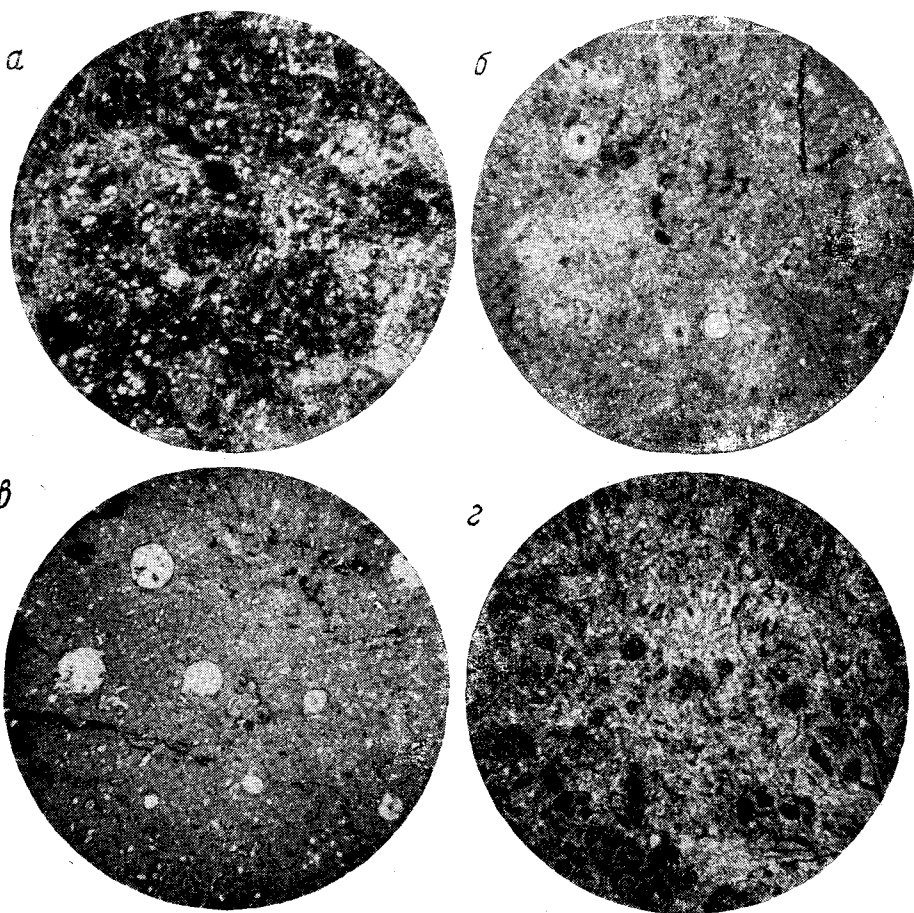
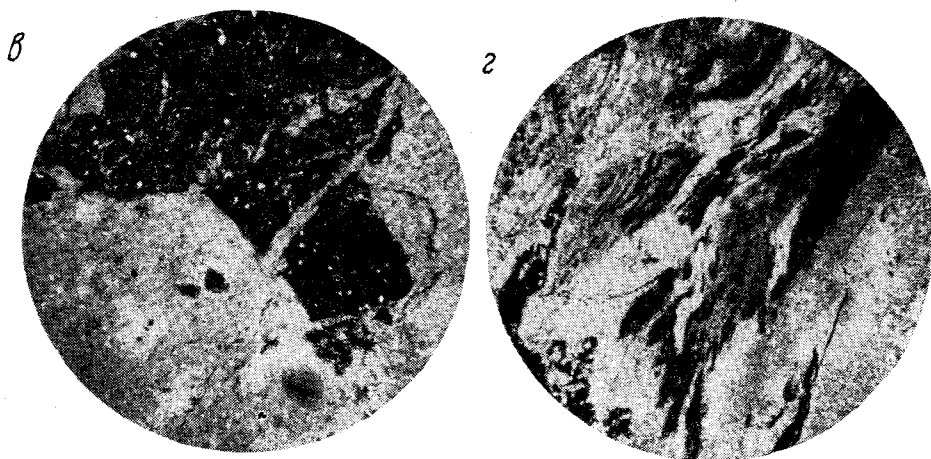


Рис. 4. Породы пестроцветной свиты верхнего девона (долина р. Мсты):

а — глина пятнистая, пестроцветная, кирпично-красная, сильноизвестковистая; *б* — мергель пестроцветный, буровато-красный, структура пелитоморфная, *в* — мергель пестроцветный, розовато-красный, структура алевропелитовая, в основной пелитовой массе рассеяны стяжения — сферонды карбоната; *г* — глина пестроцветная, буровато-коричневая, структура пелитовая, переходящая в микропелитобластовую. Увеличение 20. Николи ×.



верхнего девона (долина р. Мсты):

а — пестроцветная, в основном темно-красная, структура псевдобрекчиевидная; *б* — пестроцветная, фитагмопелитовая. Увеличение 20. Николи ×

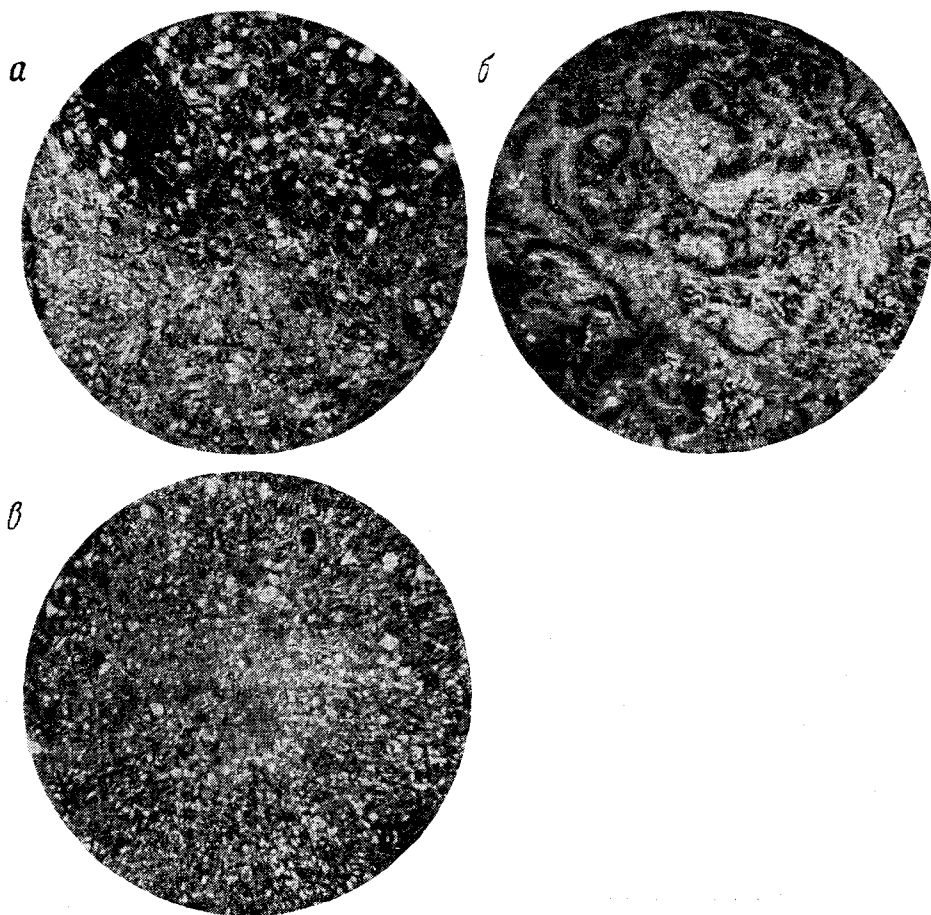


Рис. 6. Глина пестроцветной свиты верхнего девона (долина р. Мсты):
a — пестроцветная, светлая, структура алевропелитовая; *б* — голубовато-серая, структура алевропелитовая;
в — зеленовато-серая, структура алевропелитовая

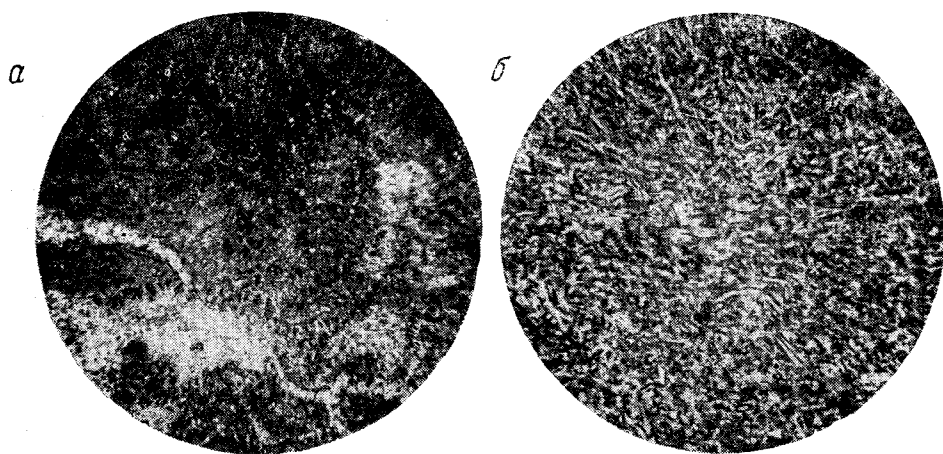


Рис. 8. Породы пестроцветной свиты верхнего девона
a — глина голубовато-зеленая, структура пелитовая; *б* — алевролит глинистый, серовато-зеленый, структура
 лубовато-серый, структура микропелитовая.

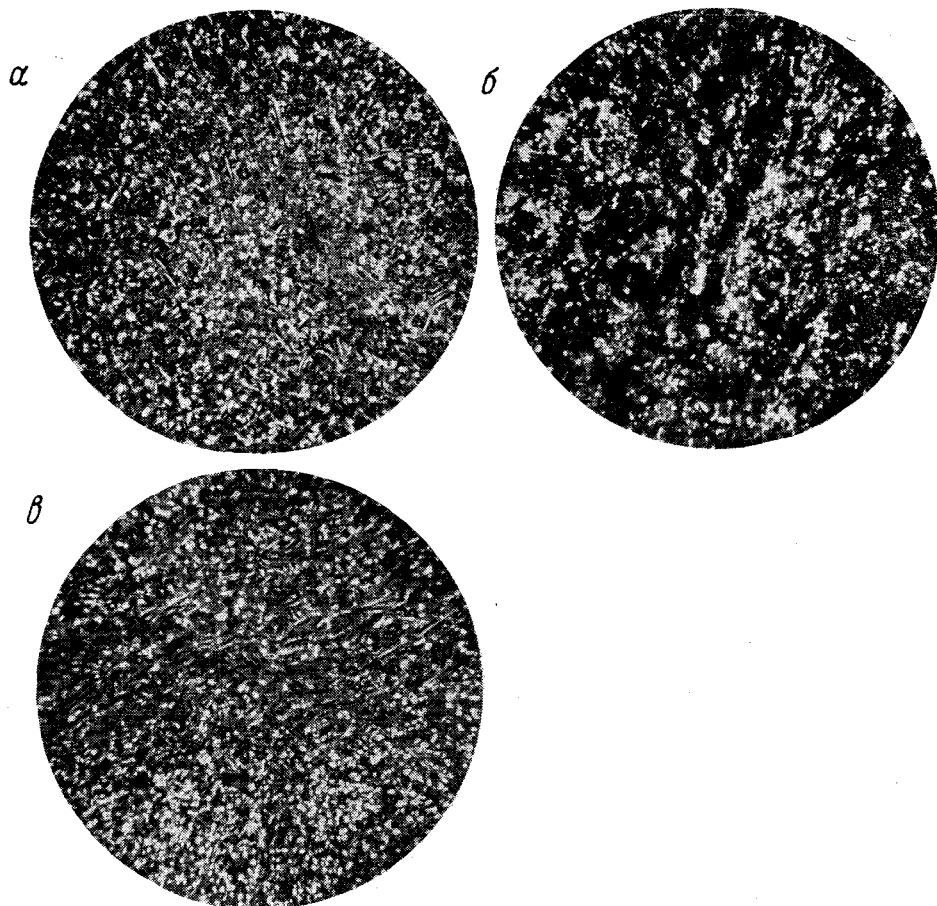
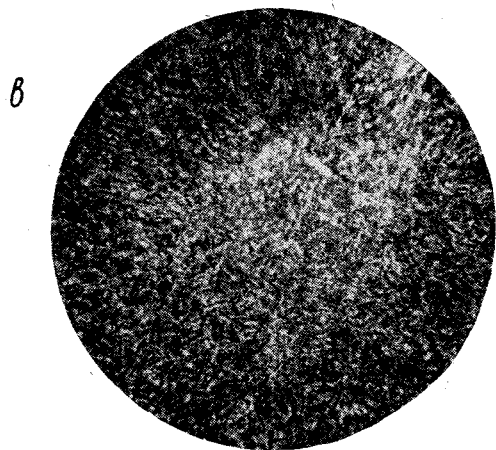


Рис. 7. Глина пестроцветной свиты верхнего девона (долина р. Мсты):
a — зеленовато-голубая, структура близка к алевритовой; *б* — серовато светло-зеленая, структура близка к алевритовой; *в* — зеленовато-серая, структура алевритовая. Увеличение 20. Николи ×.



(долина р. Мсты):
 микролепидобластная; *в* — алевролит глинистый, го-
 Увеличение 20. Николи ×

57 — глинами известковистыми, 15 — мергелями глинистыми и только 3 — типичными мергелями. Такие же соотношения сохраняются и в других пунктах Главного девонского поля.

Глины — исключительно уплотненные, в той или иной степени песчанистые и известковистые. Основным литологическим признаком этих пород, позволяющим подразделять их на группы, является окраска. Остальные, очень важные признаки этих пород, как состав, структура, текстура и др., весьма изменчивы и выражают большую неоднородность, являющуюся следствием условий и способа отложения.

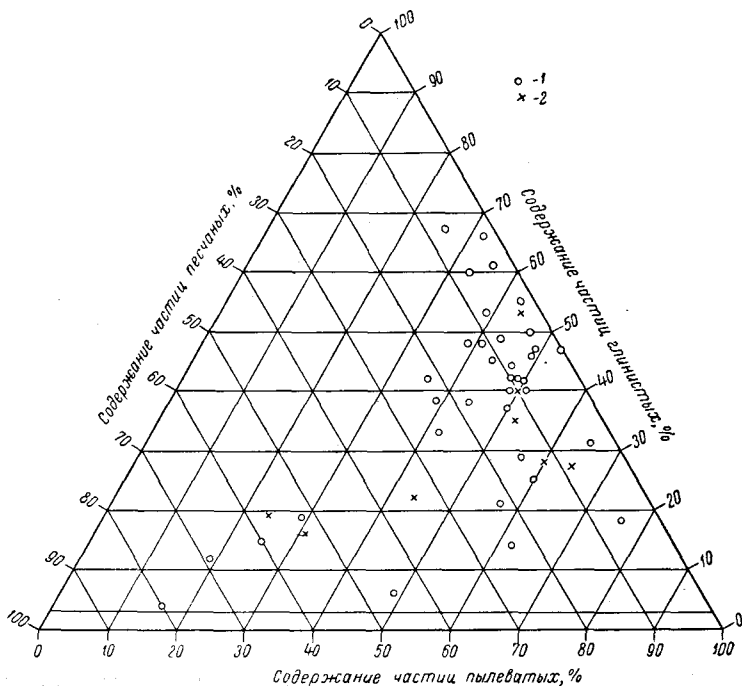


Рис. 9. Гранулометрический состав темных (1) и светлых (2) разновидностей глин пестроцветной свиты верхнего девона района долины р. Мсты

Гранулометрический состав. Как видно из рис. 9, 10 и 11, глины из долины р. Мсты ничем не отличаются от глин Свири и Вытегры. Это преимущественно легкие разности с неоднородным гранулометрическим составом, причем темные глины менее песчанистые, чем светлые. Те и другие почти всегда пылеватые. Содержание глинистых фракций (при обычном полудисперсном способе подготовки пород к анализу) изменяется от 10 до 40%, песчаных в темных разностях редко превышает 20—30%, а в светлых их содержание изменяется в широких пределах. В составе песчаных фракций у тех и других глин почти исключительно преобладают тонкие (0,1—0,05 мм) и мелкие (0,25—0,1 мм) фракции. Более крупные фракции встречаются редко и составляют доли или единицы процента. Содержание пылеватых фракций в составе глин обычно превышает 50%.

При исследовании гранулометрического состава глин с применением дисперсного способа подготовки к анализу содержание песчаных и пылеватых фракций заметно уменьшается, а выход глинистых фракций увеличивается [8].

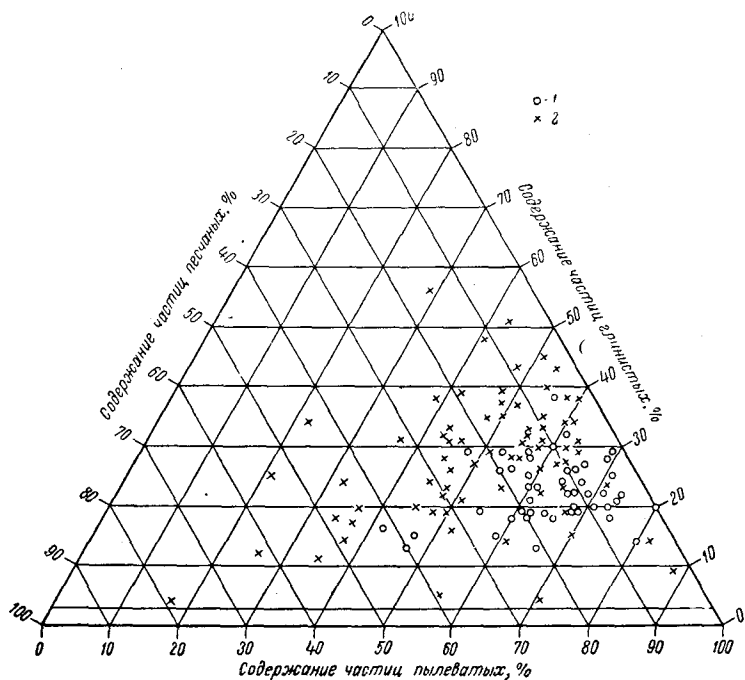


Рис. 10. Гранулометрический состав темных разностей глин пестроцветной свиты верхнего девона района долин рр. Свири (1) и Вытегры (2)

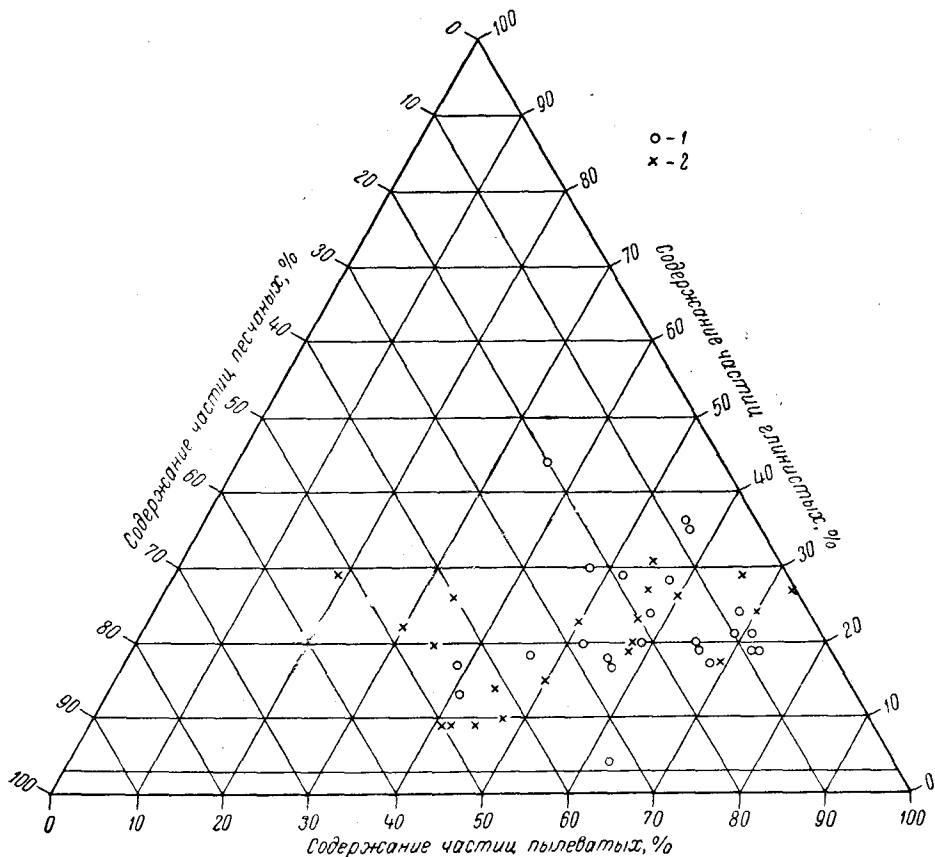


Рис. 11. Гранулометрический состав светлых разностей глин пестроцветной свиты верхнего девона района рр. Свири (1) и Вытегры (2)

Следовательно, девонские глинистые породы достаточно уплотнены, под влиянием процессов литификации изменена степень их дисперсности, благодаря образованию микроагрегатов (в том числе достаточно прочных).

При классификации таких пород руководствоваться только их granulometricким составом нельзя.

Минеральный состав. В составе грубодисперсной части глин как темных, так и светлых разностей преобладает кварц. Зерна кварца имеют оскольчато-угловатую форму, плохо окатаны. В резко подчиненных количествах присутствуют зерна роговой обманки, чешуйки биотита и хлорита. В единичных зернах присутствуют полевые шпаты, карбонат, эпидот и рудные минералы. Еще реже (в отдельных шлифах) обнаружены зерна турмалина, циркона и дистена. Цементирующая часть породы состоит из пелитового материала, у темных разностей глин обильно и неравномерно окрашенного бурыми окислами железа — по видимому, продуктами окисления рудных минералов (пирита). В составе цемента почти всегда в том или ином количестве присутствуют примеси карбонатного вещества. Пелитоморфное карбонатное вещество развивается в породе полосами, гнездами, центр которых иногда имеет мелкозернистое строение, или оно равномерно рассеяно в породе. Пелитовая масса породы местами загрязнена скоплениями углистых частиц, придающих этим участкам черты фитагмопелитовой структуры.

Минеральный состав грубодисперсной части свидетельствует о том, что формирование глин происходило за счет сноса материала из питающей провинции, сложенной кислыми породами. Исследования минерального состава фракций 0,25—0,1; 0,1—0,05; 0,05—0,01 мм из глин района р. Вытегры, выполненные Ленинградским государственным университетом (1953 г.), показали, что легкая фракция составляет 97—98%, а тяжелая, как правило, не превышает 2—3%. В составе легкой фракции 84—88% кварца и 8—11% полевых шпатов. Установлено присутствие мусковита, реже — биотита, в единичных случаях — карбоната и часто — кремнистых агрегатов. Тяжелая фракция представлена исключительно рудными минералами, но встречаются циркон, рутил, турмалин, ставролит, дистен, гранат и др.

Минеральный состав отдельных фракций глин района р. Свири [10] аналогичен составу глин района рр. Вытегры и Мсты, а также составу девонских глин Боровичского и Тихвинского районов. В районе р. Свири во всех фракциях (от $> 0,25$ до $< 0,005$ мм) преобладает кварц, причем чем мельче фракция, тем менее окатаны его зерна: во фракции $< 0,01$ мм зерна кварца совершенно не окатаны. В мелких фракциях наблюдается большое содержание слюд (мусковит, биотит).

Таким образом, минеральный состав грубодисперсной части глин пестроцветной свиты девона в пределах Главного девонского поля постоянен, что подтверждает принадлежность глин к единому комплексу осадочных образований.

Минеральный состав тонкодисперсной части глин довольно однообразен. Опробование керна скважин в долине р. Мсты через каждые 10, 20 или 30 см (окрашиванием органическими красителями) показало, что в глинистой части пород преобладают гидрослюды с примесью каолинита или бейделлита. Признаки, указывающие на присутствие в глинах монтмориллонита, отсутствуют. О том же свидетельствуют данные термических (табл. 1) и рентгеновских (табл. 2) исследований тонких фракций этих пород.

Аналогичные выводы можно найти и у Б. М. Гуменского [4].

Таблица 1

Минеральный состав тонкодисперсной части девонских глин по данным термического анализа
(по данным В. Д. Никитина)

Глубина от поверхности земли, м	Минеральный состав	Глубина от поверхности земли, м	Минеральный состав
14,17	Гидрослюда	43,75	Гидрослюда (монотермит)
25,72	Гидрослюда (иллит)	51,00	Гидрослюда
34,15	Гидрослюда	58,20	Гидрослюда + каолинит

Таблица 2

Минеральный состав тонкодисперсной части девонских глин по данным рентгеновского анализа
(по данным И. В. Михеевой)

Глубина от поверхности земли, м	Минеральный состав, %		Глубина от поверхности земли, м	Минеральный состав, %	
	гидрослюда (иллит)	каолинит		гидрослюда (иллит)	каолинит
14,17	36	65	51,00	50	50
25,72	75	25	52,15	55	65*
34,15	75	25	58,20	50	50
43,75	50	50			

* В этом образце встречено также незначительное количество гетита.

Из результатов всех этих исследований видно, что минеральный состав тонкодисперсной части глин по разрезу пестроцветной свиты в районе долины р. Мсты примерно одинаков. Имеющиеся различия заключаются главным образом в количественных соотношениях основных компонентов, слагающих породу, — гидрослюды и каолинита. По совокупности полученных данных исследуемые глины следует отнести к типу каолинитово-гидрослюдистых. К этому же типу отнесены глины районов долины р. Вытегры (по данным Ленинградского государственного университета, 1953).

Следовательно, и по минеральному составу тонкодисперсной части, глины пестроцветной свиты относятся к единому комплексу осадочных образований.

Таблица 3

Состав обменных катионов в глинах пестроцветной свиты района долины р. Мсты

Окраска породы	Глубина, м	Обменные катионы, мг/экв			Емкость поглощения, мг/экв
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	
Коричневая	24,24—24,35	0,57	0,33	0,59	1,49
Серовато-зеленая	31,10—31,90	0,43	4,34	5,37	10,14
Буро-коричневая	39,15—39,35	0,36	6,09	5,14	11,59
Темно-бурая	41,65—41,80	0,43	3,37	1,71	5,51
Красно-бурая	44,10—44,30	0,57	3,02	0,18	3,77

Химический состав. По В. М. Тимофееву, химический состав девонских глин района р. Свири сходен с химическим составом глин той же свиты района г. Тихвина [10]. Как в том, так и в другом случае

глины отличаются сравнительно невысоким содержанием глинозема и повышенным содержанием кремнезема, что соответствует присутствию в породе кварца. В темных разностях глин наблюдается более высокое содержание окислов железа, чем в светлых. Отношение SiO_2 к R_2O_3 отвечает существенно гидрослюдистому составу глин. Содержание воднорастворимых составляющих в девонских глинах ничтожно.

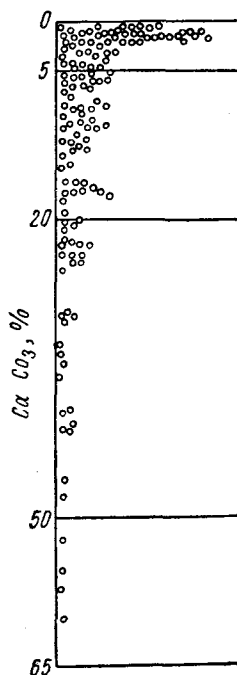


Рис. 12. Распределение CaCO_3 в глинах пестроцветной свиты района долины р. Мсты

Мстинские глины, в отличие от свирьских и тихвинских, содержат больше карбонатов (по данным макро- и микроскопического изучения пород и по данным химических анализов), поэтому они часто должны классифицироваться как известковистые (рис. 12).

Девонские глины обладают низкой обменной способностью, не превышающей 12 мг/экв на 100 г породы (табл. 3). Из обменных катионов в их составе преобладает магний.

Итак, глины пестроцветной свиты по гранулометрическому составу неоднородны и в значительной своей части псевдопесчанистые и псевдоалевритистые благодаря содержанию микроагрегатов и в том числе прочных. Минеральный состав грубодисперсной части глин на всей площади распространения однотипен. По составу тонкодисперсной части глины относятся к типу каолиново-гидрослюдистых с низкой обменной способностью. Это Са- или главным образом Mg-глины. В южных районах они более карбонатные, в северных — менее карбонатные.

Все это позволяет считать, что пестроцветная свита в пределах Главного девонского поля представляет собой единый самостоятельный комплекс осадочных образований примерно с одинаковыми условиями образования и существования.

Физические свойства

Естественная влажность. Девонские глины — породы достаточно уплотненные, имеют сравнительно умеренную естественную влажность (табл. 4), практически одинаковую для светлых и темных разностей.

Таблица 4

Естественная влажность глин района долины р. Мсты

Наименование значений	Естественная влажность глин, %		Наименование значений	Естественная влажность глин, %	
	темных	светлых		темных	светлых
Число определений	150	24	Медиана	20	19
Среднеарифметическое	19	18	Мода	21	19
Квадратическое отклонение	4,6	3,1	Максимальное ¹	24	23
			Минимальное ¹	13	14

¹ Здесь, как и в последующих таблицах, минимальные и максимальные значения даны без учета 10 % определений.

Естественная влажность глин районов долин рр. Свири и Вытегры (табл. 5) также соответствует уплотненным разностям пород и повсеместно отличается сравнительно небольшой изменчивостью. Коэффициент насыщения девонских глин в большинстве случаев достигает 0,8—0,9 или равен единице и практически указывает на полное насыщение их водой. В долине р. Мсты в пределах разведанной зоны (до 70 м) с глубиной естественная влажность несколько уменьшается.

Таблица 5

Естественная влажность глин районов долин рр. Свири и Вытегры

Наименование значений	Естественная влажность глин, %			
	р. Свири		р. Вытегра	
	темных	светлых	темных	светлых
Число определений	116	63	72	18
Среднеарифметическое	20	18	13	14
Квадратическое отклонение	4,6	4,0	3,7	3,7
Медиана	20	18	13	13
Мода	21	17	13	13
Максимальное	25	24	17	19
Минимальное	13	15	8	10

Удельный и объемный вес. Из данных табл. 6 и 7 видно, что удельный вес глин вполне соответствует их минеральному составу. У темных глин он выше, у светлых ниже, что связано с более высоким содержанием окислов железа в темных разностях.

Таблица 6

Удельный и объемный вес глин района долины р. Мсты

Наименование значений	Удельный вес, г/см ³		Объемный вес, г/см ³		Объемный вес скелета, г/см ³	
	темных	светлых	темных	светлых	темных	светлых
Число определений	83	19	152	22	149	20
Среднеарифметическое	2,75	2,63	2,07	2,08	1,74	1,76
Квадратическое отклонение	0,11	0,09	0,08	0,08	0,11	0,11
Медиана	2,76	2,72	2,07	2,07	1,71	1,75
Мода	2,78	2,72	2,05	2,03	1,67	1,72
Максимальное	2,81	2,79	2,18	2,24	1,92	1,96
Минимальное	2,69	2,69	1,98	1,98	1,60	1,66

Объемный вес глин и скелета глин высокий и соответствует их плотным разностям. Даже минимальные значения этих показателей указывают на сравнительно высокую уплотненность пород. Наиболее типичным значением объемного веса темных и светлых разностей глин надо считать 2,07 г/см³. Важно обратить внимание, что уплотненность глин неравномерна, поэтому интервал изменения значений объемного веса глин и скелета глин все же велик. Так, например, объемный вес темных разностей глин изменяется от 1,98 г/см³ (р. Мста), 2,08 г/см³ (р. Свири) и 2,12 г/см³ (р. Вытегра) до соответственно 2,18; 2,29; 2,30 г/см³. Примерно в тех же пределах изменяется значение объемного веса светлых глин. Минимальные значения объемного веса скелета темных глин соответственно равны 1,66; 1,60; 1,74 г/см³, а максимальные 1,96; 1,88; 2,00 г/см³. Такая неоднородность плотности глин, так же как и извест-

ная неоднородность состава, является природным свойством, связанным со всей историей их образования и последующего существования в недрах земной коры (табл. 7).

Таблица 7

Удельный и объемный вес глин районов долин рр. Свири и Вытегра
(По исследованиям Ленгидэпа и Ленинградского государственного университета)

Наименование значений	Удельный вес, г/см ³				Объемный вес, г/см ³				Объемный вес скелета, г/см ³			
	р. Свири		р. Вытегра		р. Свири		р. Вытегра		р. Свири		р. Вытегра	
	тем-ных	свет-лых	тем-ных	свет-лых	тем-ных	свет-лых	тем-ных	свет-лых	тем-ных	свет-лых	тем-ных	свет-лых
Число определений	115	64	44	11	114	64	68	19	111	62	67	19
Среднеарифметическое	2,80	2,71	2,76	2,69	2,16	2,18	2,21	2,15	1,70	1,76	1,96	1,84
Квадратическое отклонение	—	0,01	0,05	0,03	0,08	0,11	0,08	0,09	0,16	0,10	0,10	0,12
Медиана	2,80	2,71	2,75	2,69	2,12	2,11	2,23	2,15	1,78	1,79	1,97	1,91
Мода	2,80	2,71	2,71	2,69	2,12	2,15	2,24	2,16	1,76	1,87	1,99	1,91
Максимальное	2,83	2,74	2,84	2,72	2,29	2,18	2,30	2,26	1,99	1,88	2,09	2,00
Минимальное	2,71	2,68	2,70	2,66	2,01	2,00	2,12	2,02	1,63	1,60	1,82	1,74

Таблица 8

Пористость и коэффициент пористости девонских глин
(по исследованиям Ленинградского горного института, Ленгидэпа и Ленинградского государственного университета)

Наименование значений	Пористость, %						Коэффициент пористости					
	р. Мста		р. Свири		р. Вытегра		р. Мста		р. Свири		р. Вытегра	
	тем-ных	свет-лых	тем-ных	свет-лых	тем-ных	свет-лых	тем-ных	свет-лых	тем-ных	свет-лых	тем-ных	свет-лых
Число определений	77	14	114	63	4	12	79	14	117	63	42	12
Среднеарифметическое	36	35	36	35	0,30	0,31	0,57	0,56	0,56	0,61	0,43	0,45
Квадратическое отклонение	4,53	2,76	5,16	3,19	—	—	0,10	0,08	0,12	0,11	0,08	0,08
Медиана	37	35	36	35	—	—	0,59	0,57	0,58	0,52	0,43	0,41
Мода	37	35	36	33	—	—	0,61	0,57	0,58	0,49	0,43	0,41
Максимальное	43	39	42	41	—	—	0,74	0,64	0,73	0,69	0,54	0,58
Минимальное	29	30	28	30	—	—	0,40	0,42	0,37	0,42	0,32	0,36

Пористость. Как видно из табл. 8, плотность сложения глин повышенная, но неодинаковая. Средняя пористость глин 35—36 %, а интервал изменения пористости между ее максимальным и минимальным значениями довольно велик. Наибольшее число определений пористости глин приходится на интервал от 31 до 40 % при наиболее часто встречающемся значении 36—37 %. С изменением глубины залегания несколько уменьшается пористость и соответственно повышается плотность сложения. Среднее значение коэффициента пористости глин можно принять равным 0,56—0,57. Различия в плотности сложения между темными и светлыми разностями глин нет.

Консистенция. Для глин пестроцветной свиты девона, достаточно уплотненных, характерна полутвердая консистенция и только в отдель-

ных случаях, по-видимому, тугопластичная. Пределы пластичности глин различных районов примерно одинаковы (табл. 9, 10). Это указывает на сравнительную однотипность глин при большой неоднородности их внутри каждого района, поэтому значения квадратических отклонений от среднеарифметических значений и интервалы изменений значений от максимальных к минимальным довольно велики.

Таблица 9

Пределы пластичности девонских глин района долины р. Мсты

Наименование значений	Предел пластичности		Предел текучести		Число пластичности	
	темных	светлых	темных	светлых	темных	светлых
Число определений . . .	50	9	50	8	48	9
Среднеарифметическое .	21	17	38	29	13	11
Квадратическое отклонение	3,0	2,5	4,0	3,9	3,3	3,3
Медиана	20	16	34	27	12	10
Мода	19	16	32	27	12	10
Максимальное	26	20	43	31	18	10
Минимальное	15	15	27	26	9	8

Таблица 10

Пределы пластичности девонских глин районов долин рр. Свири и Вытегры (по данным Ленгидэпа и Ленинградского государственного университета)

Наименование значений	р. Свирь						р. Вытегра					
	Предел пластичности		Предел текучести		Число пластичности		Предел пластичности		Предел текучести		Число пластичности	
	темных	светлых	темных	светлых	темных	светлых	темных	светлых	темных	светлых	темных	светлых
Число определений	63	17	63	17	63	17	37	22	30	20	30	20
Среднеарифметическое	19	19	36	30	15	12	18	18	31	30	13	12
Квадратическое отклонение	2,5	3,7	6,1	4,5	4,3	4,6	2,2	3,1	3,5	3,9	—	—
Медиана	18	18	35	29	16	11	18	17	30	30	12	13
Мода	18	18	36	31	16	11	18	17	29	27	11	10
Максимальное	22	25	42	36	22	15	22	22	36	35	14	13
Минимальное	15	14	26	25	9	6	15	15	25	24	10	9

Таблица 11

Структурная прочность девонских глин естественного сложения

Лабораторные номера образцов	Влажность, %	Структурная прочность кг/см ²	Лабораторные номера образцов	Влажность, %	Структурная прочность кг/см ²
4336	24	22,4	4364	18	248,2
4350	20	7,1	4366 (1)	21	7,2
4346	16	21,3	4366 (2)	10	23,4
4347	19	25,2	4369	17	109,6
4348	20	16,6	4341	22	26,3
2350	21	25,9	4354	21	25,4
4356	23	66,6	4360	21	128,3
4357 (1)	18	33,7	4362 (1)	7	675,8
4357 (2)	22	171,1	4362 (2)	19	25,7
4355	11	86,0	4363	18	31,8
4361	14	237,8			

Как видно из сравнения, естественная влажность обычно меньше предела пластичности или близка к нему. Следовательно, даже при нарушении естественного сложения глин при естественной влажности они должны сохранять полутвердую консистенцию. Однако, если учесть, что глины уплотнены и структурные связи их имеют значительную прочность, то полутвердое состояние глин, устанавливаемое визуально, подтверждается и данными лабораторных исследований.

Структурная прочность глин определялась коническим пластомером по методу П. А. Ребиндера. Как видно на рис. 13, условное сопротивление сдвигу глин нарушенного сложения P_m , характеризующее их структурную прочность, при средней влажности, соответствующей пределу пластичности w_p , достигает 12 кг/см^2 , а соответствующее средней естественной влажности w — 22 кг/см^2 .

Структурная прочность глин естественного сложения (табл. 11), несравненно более высокая, чем глин нарушенного сложения. Условное сопротивление глин сдвигу измеряется килограммами и десятками, а иногда и сотнями килограммов на квадратный сантиметр. Все это, несомненно, указывает на полутвердое и твердое состояние глин, высокую их уплотненность и значительную структурную прочность.

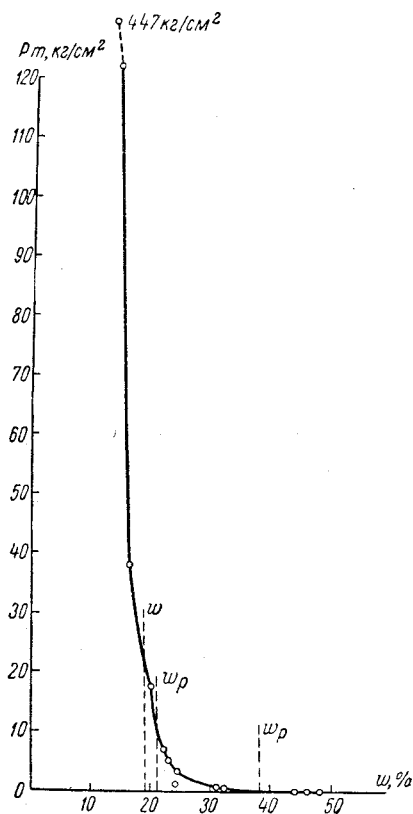


Рис. 13. Зависимость пластической прочности глин от влажности

Водные свойства

Размокание. Скорость размокания глин различна: у некоторых образцов полное размокание наступает через один-два часа, у других — через двое-трое суток. Характер размокания во всех случаях примерно одинаков. Вначале отделяются мелкие частицы по граням и ребрам образца, обозначается слоистость и выявляются трещины. Затем образец разваливается на несколько кусков, которые разрушаются дальше до полного размокания.

Следовательно, неоднородность состава и структуры девонских глин сказывается и на их устойчивости в воде. Если образец девонских глин прикрыть слоем песка, то, несмотря на продолжительное хранение под водой (в течение 23 суток), размокнет лишь поверхностная часть толщиной не более $1,5 \text{ мм}$ [10]. Под песчаной оболочкой глины хорошо сохраняют свое сложение и плотность.

Набухание. Показателем водоустойчивости глинистых пород является также их склонность к набуханию. Девонские глины не относятся к значительно набухающим (рис. 14); из 16 специально поставленных опытов максимальное набухание только в одном случае достигло 11% , в ше-

сти случаях общее набухание превысило 5% и в девяти — оказалось еще меньшим. В течение первых часов глины набухают более интенсивно, а затем приращение высоты образца (в процентах от начальной)

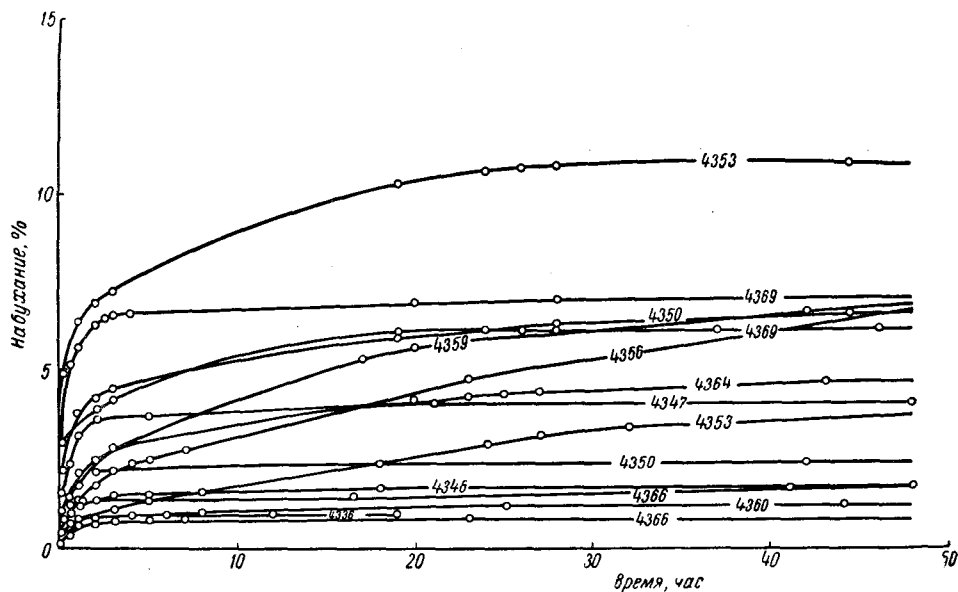


Рис. 14. Кривые набухания глин

ничтожно. Практически набухание завершается быстро после начала впитывания глинами воды. При этом увеличение влажности глин, как правило, очень незначительное, а структурная прочность их изменяется существенно. Так, после 18-часового нахождения в воде влажность глин увеличилась на 9,9%, а условное сопротивление сдвигу (структурная прочность) уменьшилось с 22,9 до 0,6 кг/см² (табл. 12). При подсушивании глин на воздухе структурная прочность их значительно возрастает. Так, например, при уменьшении влажности глин на 5% (с 17,8 до 12,8%) условное сопротивление сдвигу увеличилось с 22,9 до 447,8 кг/см². Следовательно, даже при незначительном изменении влажности глин их структурная прочность изменяется заметно.

Таблица 12
Изменение структурной прочности глин при набухании (естественная влажность 17,8 %)

Продолжительность набухания	Влажность после набухания, %	Структурная прочность кг/см ²
—	—	22,9
1 ч 20 мин	23,8	1,1
18 ч	27,7	0,6

Механические свойства

Сжимаемость. Для всестороннего суждения о сжимаемости девонских глин испытаниям на компрессию подвергались образцы глин темных и светлых тонов различной степени плотности. Испытания проводились по четырем схемам: при естественной влажности, при насыщении водой без возможности набухания, при насыщении водой после свободного набухания и для сравнения были взяты образцы нарушенного сложения (перемятые), но затем уплотненные до естественного состояния плотности.

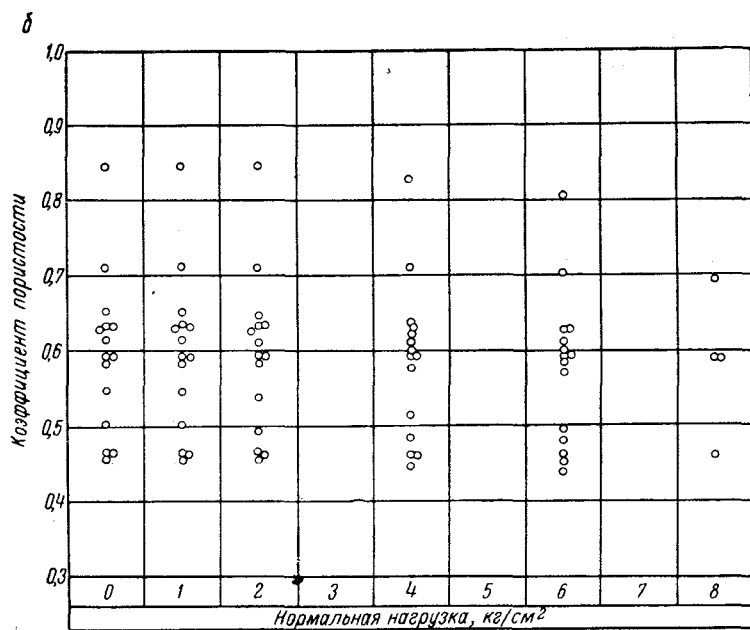
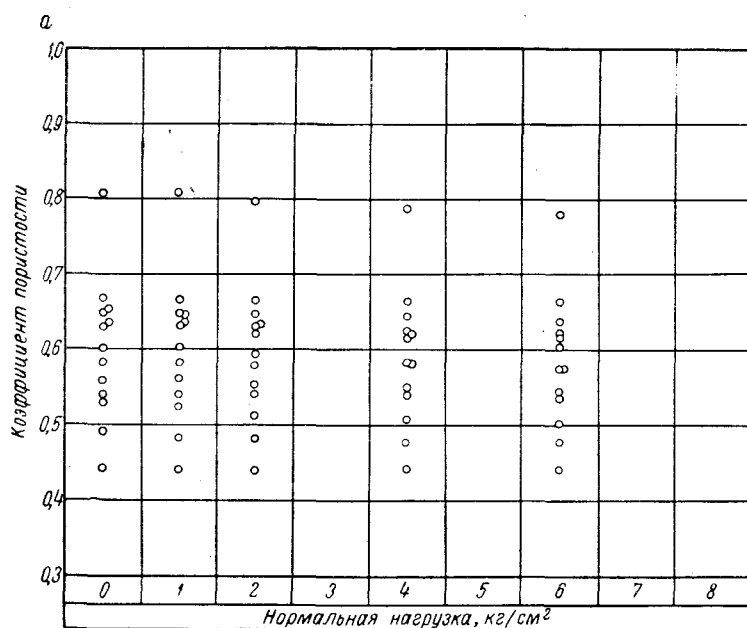
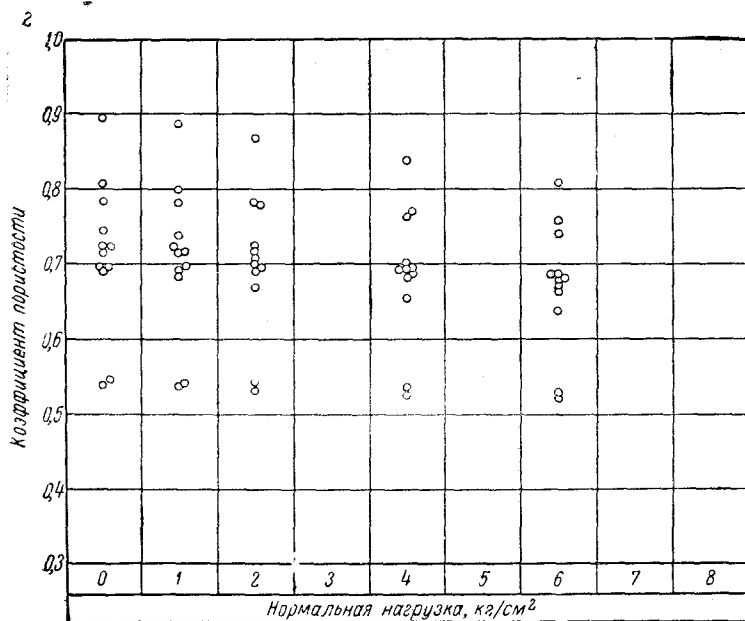
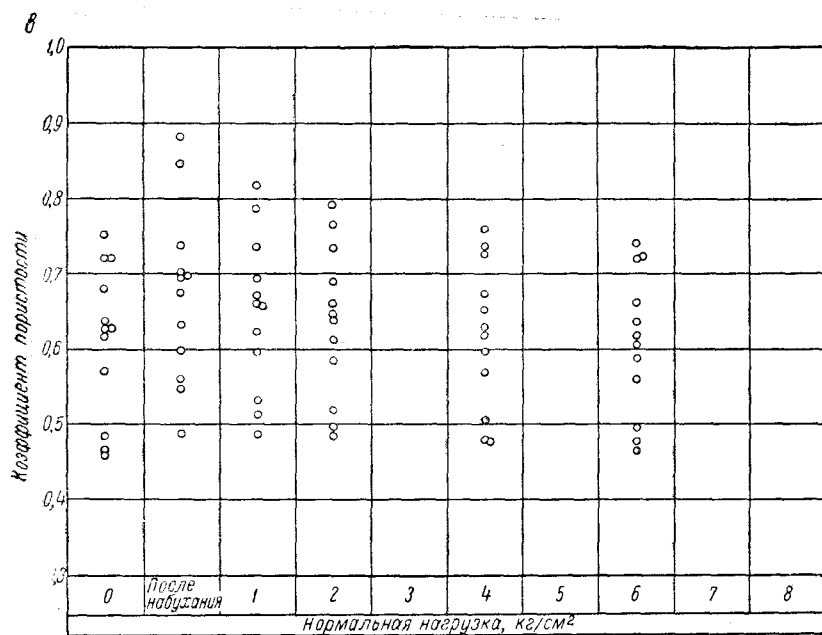


Рис. 15. Результаты испытания
а — с глинами естественного сложения и влажности; *б* — с глинами, насыщенными водой
 набухания; *в* — с глинами нарушенного сложения,



девонских глин на компрессию:

без возможности набухания; в — с глинами, насыщенными водой после свободного
но при плотности, близкой к естественной

Компрессионные свойства глин района долины р. Мсты

Наименование значений	Коэффициент сжимаемости (в интервале нагрузок, кг/см^2), $\text{см}^2/\text{кг}$				Относительное сжатие (в интервале нагрузок, кг/см^2), %			
	0—1	1—2	2—4	4—6	0—1	0—2	0—4	0—6

Глины, естественного сложения и влажности

Число определений	13	13	13	13	13	13	13	13
Среднеарифметическое	0,002	0,006	0,003	0,003	0,09	0,42	0,73	1,09
Квадратичное отклонение	0,002	0,005	0,002	0,002	0,16	0,37	0,55	0,63
Медиана	0,001	0,005	0,003	0,003	0,00	0,35	0,70	1,05
Мода	0,001	0,001	0,001	0,003	0,00	0,00	0,00	0,65
Максимальное	0,009	0,014	0,0055	0,0065	0,557	1,341	1,999	2,404
Минимальное	0	0	0	0	0	0	0	0

Глины, насыщенные водой без возможности набухания

Число определений	15	15	15	15	15	15	15	15
Среднеарифметическое	0,001	0,003	0,004	0,004	0,02	0,18	0,68	1,15
Квадратичное отклонение	0,001	0,003	0,003	0,003	0,04	0,21	0,66	0,91
Медиана	0,001	0,001	0,003	0,003	0,00	0,05	0,65	1,15
Мода	0,001	0,001	0,001	0,003	0,00	0,00	0,00	0,05
Максимальное	0,005	0,010	0,0115	0,0105	0,174	0,73	2,217	3,375
Минимальное	0	0	0	0,0002	0	0	0	0

Глины, насыщенные водой после свободного набухания

Число определений	12	12	12	12	12	12	12	12
Среднеарифметическое	0,026	0,012	0,008	0,006	1,50	0,74	1,01	0,775
Квадратичное отклонение	0,022	0,008	0,004	0,002	2,13	1,25	0,61	1,44
Медиана		0,011	0,007	0,005				0,80
Мода		0,011	0,007	0,005	0,30		0,95	0,80
Максимальное	0,066	0,026	0,0155	0,0035	3,76	1,444	1,818	1,071
Минимальное	0	0	0,002	0,0025	0	0	0,272	0,545

Глины нарушенного сложения при плотности, близкой к естественной

Число определений	13	13	13	13	13	13	13	13
Среднеарифметическое	0,004	0,007	0,007	0,007	0,26	0,68	1,49	2,31
Квадратичное отклонение	0,004	0,007	0,004	0,003	0,22	0,61	0,94	1,31
Медиана	0,001	0,003	0,007	0,007	0,15	0,40	1,35	2,30
Мода	0,001	0,001	0,011	0,007	0	0,05	0,75	
Максимальное	0,014	0,019	0,0155	0,014	0,808	1,718	3,158	4,65
Минимальное	0,000	0,0006	0,001	0,0025	0,025	0,05	0,15	0,50

Как следует из табл. 13 и рис. 15, девонские глины — достаточно уплотненные разности пород — при нагрузках до 6 кг/см^2 испытывают очень незначительные деформации. Средний коэффициент сжимаемости глин при испытании по первым схемам оказывается равным тысячным

долям. Даже максимальные значения коэффициента сжимаемости у глин естественного сложения и влажности равны тем же величинам. Среднее относительное сжатие глин 1%, а максимальное едва достигает 2%. При испытании глин под водой средняя сжимаемость их не

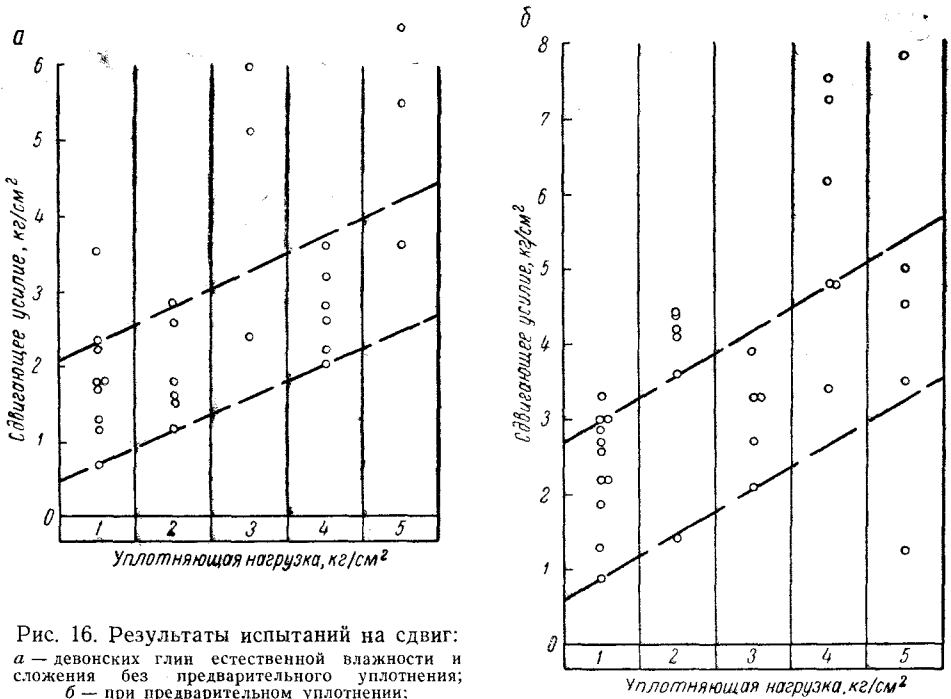


Рис. 16. Результаты испытаний на сдвиг:
а — девонских глин естественной влажности и сложения без предварительного уплотнения;
б — при предварительном уплотнении;

Наименование значений	Сопротивление сдвигу (при нормальных нагрузках, кг/см²), кг/см²				
	1	2	3	4	5
<i>а</i>					
Число определений	9	6	3	6	3
Медиана	1,535	1,98	2,43	2,90	3,33
Максимальное	2,35	2,80	3,25	3,75	4,20
Минимальное	0,7	1,15	1,60	2,05	2,45
<i>б</i>					
Число определений	11	6	5	6	5
Медиана	1,95	2,53	3,13	3,73	4,33
Максимальное	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40
Минимальное	0,90	1,47	2,07	2,67	3,25

изменяется, однако максимальное значение относительной деформации увеличивается до 3%. У глин нарушенного сложения при плотности, близкой к естественной, сжимаемость остается умеренной, но значительно большей, чем у образцов естественного сложения.

Прочность. В соответствии с повышенной уплотненностью и сравнительно высокой прочностью структурных связей прочность глин в целом значительна.

Временное сопротивление девонских глин сжатию, по данным 26 опытов, следующее:

Число определений	26	Мода	от 6,5
Среднее арифметическое . . .	12,5		до 13,5
Квадратическое отклонение . .	6,4	Максимальное	29,0*
Медиана	10,0	Минимальное	4,5**

Сопротивление сдвигу. Испытание сопротивления глин сдвигу производилось по семи схемам. Данные 168 опытов показали, что наиболь-

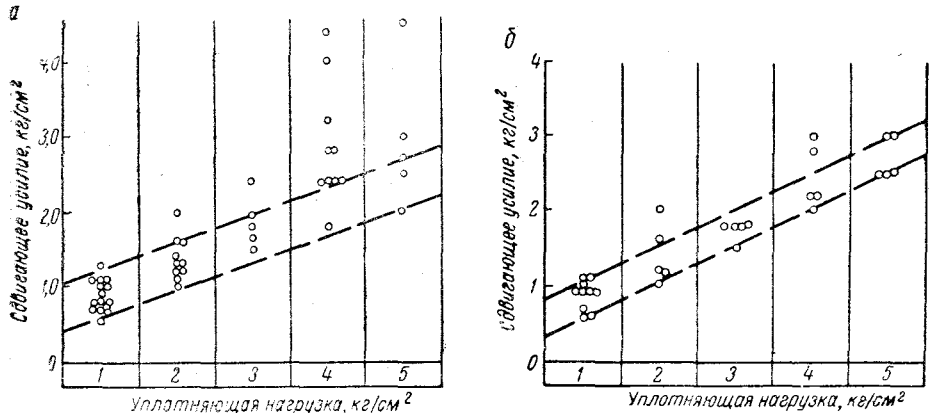


Рис. 17. Результаты испытаний на сдвиг девонских глин, уплотненных под водой: а — по обычной схеме; б — большой нагрузкой и сдвиге при меньшей нагрузке:

Наименование значений	Сопротивление сдвигу (при нормальных нагрузках, кг/см^2), кг/см^2				
	1	2	3	4	5
а					
Число определений	15	10	5	10	5
Медиана	0,93	1,28	1,63	2,03	2,38
Максимальное	1,25	1,60	1,96	2,35	2,70
Минимальное	0,60	0,95	1,30	1,70	2,05
б					
Число определений	10	5	5	5	5
Медиана	0,80	1,30	1,75	2,25	2,75
Максимальное	1,05	1,55	2,00	2,50	3,00
Минимальное	0,55	1,05	1,50	2,00	2,50

шей прочностью глины обладают в том случае, когда они подвергаются сдвигающим усилиям при естественной влажности. При испытании глин без предварительного уплотнения средний угол внутреннего трения ϕ достигает 24° , а сцепление C равно $1,2 \text{ кг/см}^2$; при предварительном уплотнении глин $\phi = 30^\circ$, а $C = 1,15 \text{ кг/см}^2$. При этом сопротивление глин сдвигу при нормальной нагрузке изменяется в сравнительно широких пределах, что соответствует неоднородности их состава, структуры и текстуры (рис. 16).

При уплотнении глин под водой (рис. 17) общее сопротивление их сдвигу снижается. Так, например, при испытании по обычной схеме

* При влажности образца 15%.
 ** При влажности образца 22,4%.

(рис. 17, а) $\varphi=20^\circ$, а $C=0,76 \text{ кг/см}^2$. При уплотнении глин большей нагрузкой и сдвиге при меньшей нормальной нагрузке (рис. 17, б) $\varphi=26^\circ$, а $C=0,51 \text{ кг/см}^2$. В этих двух сериях опытов интервалы изменений сопротивления глин сдвигу при соответствующих нормальных нагрузках меньше, чем в предыдущих опытах. Здесь глины проявляют большую однородность прочности на сдвиг.

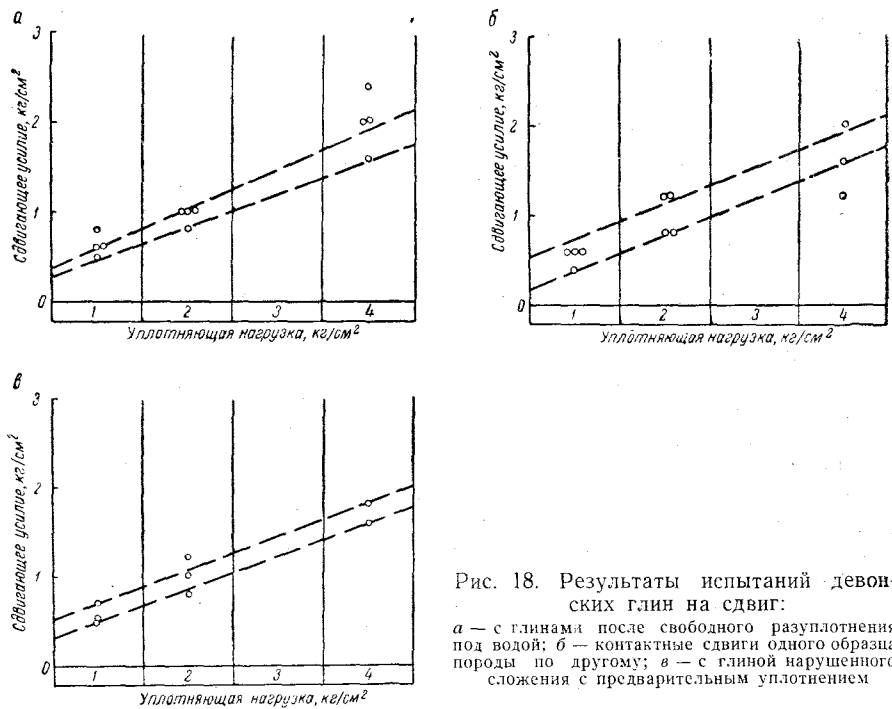


Рис. 18. Результаты испытаний девонских глин на сдвиг:

а — с глинами после свободного разуплотнения под водой; б — контактные сдвиги одного образца породы по другому; в — с глиной нарушенного сложения с предварительным уплотнением

Наименование значений	Сопротивление сдвигу (при нормальных нагрузках, кг/см²), кг/см²				Наименование значений	Сопротивление сдвигу (при нормальных нагрузках, кг/см²), кг/см²			
	1	2	3	4		1	2	3	4
а					б				
Число определений	4	4	—	4	Максимальное . .	0,70	1,10	—	1,83
Медиана	0,51	0,92	—	1,75	Минимальное . .	0,50	0,80	—	1,60
Максимальное . .	0,57	1,00	—	1,93					
Минимальное . . .	0,45	0,83	—	1,56					
в					в				
Число определений	3	3	—	3	Число определений	4	4	—	4
Медиана	0,60	0,95	—	1,72	Медиана	0,57	0,97	—	1,77
					Максимальное . .	0,73	1,13	—	1,93
					Минимальное . .	0,40	0,80	—	1,60

Если глины имеют возможность свободно разуплотняться под водой (рис. 18, а) или сложение их будет нарушено механически (рис. 18, б и в), то общее сопротивление их сдвигу снижается еще больше, главным образом за счет уменьшения прочности структурных связей и ослабления сцепления.

Таким образом, сопротивляемость глин сдвигающим усилиям согласуется со всеми остальными их свойствами. При естественной влажности прочность их повышена, как у глин уплотненных, но изменчива бла-

годаря неоднородности структуры, текстуры и состояния. Так как глины недостаточно водоустойчивы, то это заметно сказывается на снижении их сопротивления сдвигу при воздействии воды.

Заключение

Глины верхней пестроцветной свиты девона являются континентальными. Они — уплотненные, пылеватые, каолиново-гидроослюдистого состава, занимают значительную часть разреза, где часто переслаиваются с мергелями, песками и слабыми песчаниками.

По окраске эти глины подразделяются на темные (кирпично-красные, буровато-красные и коричневые, часто с фиолетовым оттенком) и светлые (серые, зеленовато-серые и голубовато-серые). В долине р. Мсты они в той или иной степени карбонатны. Структура глин преимущественно алевропелитовая, текстура слоистая, реже — массивная. Глины обладают низкой обменной способностью; из обменных катионов в их составе преобладает магний, на втором месте стоит кальций.

Верхнедевонские глины — плотные, слабо влажные, с трудом разламываются и растираются в руках, имеют раковистый или неровный излом, разрабатываются только ударными инструментами или взрывным способом. Консистенция их главным образом полутвердая и только в отдельных случаях тугопластичная. В воде глины размокают с различной скоростью, при увлажнении набухают слабо. Они слабосжимаемы (коэффициент сжимаемости измеряется тысячными долями квадратного сантиметра на килограмм); эффективная нагрузка $1-2 \text{ кг/см}^2$; имеют повышенное сопротивление сдвигу. На предварительных стадиях проектирования сооружений в качестве обобщенных показателей следует рекомендовать средние значения, отвечающие нормальной схеме испытаний: $\varphi=20^\circ$, $C=0,7 \text{ кг/см}^2$. Временное сопротивление сжатию изменяется от 3—4 до 25—29 кг/см^2 .

Пески и слабые песчаники, залегающие в глинах, водоносны, содержат воду с большим напором и характеризуются высокой производительностью. При котлованных работах необходимо учитывать возможность вскрытия этих вод и влияние их гидростатического напора на устойчивость пород в котлованах. Для предупреждения деформаций пород должны осуществляться соответствующие мероприятия (вскрытие котлованов одновременно не на всю площадь, искусственное водопонижение, искусственное снижение напора подземных вод и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Асаткин Б. П. Докембрийские образования, кембрийские и нижнесилурийские отложения Ленинградской области. Тр. ЛГРТ, 1937, вып. 15.
2. Асаткин Б. П. Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 1 000 000. Объяснительная записка к листам 0—34, вост. поля 0—35, 1944.
3. Асаткин Б. П., Котлуков В. А. Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 1 000 000. Объяснительная записка к листу 0-36, 1941.
4. Гуменский Б. М. Влияние глинистых минералов на свойства грунтов. Автореф. докт. дисс., ЛГУ, 1951.
5. Геккер Р. Ф., Филиппова М. Ф., Бархатова В. П. Отложения Главного девонского поля. Тр. ЛГРТ, 1932, вып. 2.
6. Геккер Р. Ф., Обручев Д. В., Филиппова М. Ф. Отложения Главного девонского поля. Тр. ЛГРТ, 1935, вып. 9.
7. Геккер Р. Ф. К палеогеографии русского девона. Изв. Гос геогр. об-ва, 1934, т. 66, вып. 2.
8. Лысенко М. П. Гранулометрический состав глинистых отложений северо-восточной части Главного девонского поля. Вестн. ЛГУ, 1955, № 4.
9. Обручев Д. В. Значение ихтиофаций для стратиграфии северо-западного девона. Изв. ГГРУ, 1930, т. XLIX, № 9.

10. Тимофеев В. М. Гидрогеологические данные о месте Нижнесвирского сооружения. Свирьстрой, 1932.
 11. Хашова М. Ф. Очерк пестроцветной толщи верхнего девона. Уч. зап. ЛГУ. Серия геол.-почв. наук, 1949, вып. 17.
 12. Янишевский М. Э. Геологический очерк западной части 41-го листа десятиверстной карты. Тр. ГГРУ, 1931, № 78.
 13. Янишевский М. Э. Геологическая карта окрестности Ленинграда. Описание геологического строения окрестностей г. Слуцка. Тр. ВГРО, 1932, вып. 126.
 14. Янишевский М. Э. Очерк геологического строения южной части Ленинградской области. Сб. «Полезные ископаемые Ленинградской области и Карельской АССР». Гос. науч.-техн. геол.-развед. изд-во, 1936.
 15. Янишевский М. Э. Основные черты геологической истории Ленинградской области и сопредельных стран Прибалтики. Уч. зап. ЛГУ. Серия геол.-почв. наук, 1949, вып. 17.
-